



**COORDINACIÓN DE CALIDAD Y ECOLOGIA DEL AGUA**  
SUBCOORDINACIÓN DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO Y REUTILIZACIÓN  
DE AGUAS RESIDUALES

PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003

PROYECTO No.309621

**CC2114.5 “DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA OPERACIÓN DE  
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL”**

**INFORME**

**JEFE DE PROYECTO**

Liliana García Sánchez

**PARTICIPANTES**

Luciano Sandoval Yoval  
Gabriela Mantilla Morales  
Edson Baltazar Estrada Arriaga  
Axel Falcón Rojas  
Alberto González Sánchez  
César Calderón Mólgora  
Norma Hernández Cruz  
Carlos David Silva Luna  
Esperanza Ramírez Camperos

Julia Elena Prince Flores  
Ana Cecilia Tomasini Ortíz  
Tania Gutiérrez Macías  
Karla Ivonne Espinoza Guerrero  
Antonio Javier García López  
Juan Leodegario García Rojas  
Humberto García Ficundo  
Leopoldo Martínez Montes  
Guillermo Galicia Soberanes

**Diciembre 2023**

## INDICE

|     |                                       |      |
|-----|---------------------------------------|------|
| 1.  | Diagnóstico PTAR Cerro de la Estrella | 3    |
| 2.  | Diagnóstico PTAR Zaragoza             | 156  |
| 3.  | Diagnóstico PTAR Torreón              | 303  |
| 4.  | Diagnóstico PTAR Tenorio              | 417  |
| 5.  | Diagnóstico PTAR Oriente              | 539  |
| 6.  | Diagnóstico PTAR Atotonilco           | 675  |
| 7.  | Diagnóstico PTAR Aguascalientes       | 797  |
| 8.  | Diagnóstico PTAR León                 | 953  |
| 9.  | Diagnóstico PTAR Desbaste             | 1060 |
| 10. | Diagnóstico PTAR El Ahogado           | 1156 |
| 11. | Diagnóstico PTAR Agua Prieta          | 1279 |
| 12. | Diagnóstico PTAR Firiob               | 1404 |
| 13. | Diagnóstico PTAR Norte                | 1570 |
| 14. | Sistema de Información Geográfico     | 1694 |

**PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

**PROYECTO No.309621**

**“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES  
CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-  
SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE  
DESCARGA”**

**DIAGNÓSTICO DE LA PTAR**

**“CERRO DE LA ESTRELLA”**

**IZTAPALAPA, CDMX**

## INDICE

|            |  |    |
|------------|--|----|
| 1.         | INFORMACIÓN DE LA PTAR .....                                   | 12 |
| 1.1.       | Datos generales .....  | 12 |
| 1.2.       | Ubicación .....  | 12 |
| 1.3.       | Descripción del proceso .....                                  | 13 |
| 2.         | REVISIÓN DOCUMENTAL .....                                      | 16 |
| 2.1.       | Planos .....   | 16 |
| 2.2.       | Permiso de descarga .....                                      | 16 |
| 2.3.       | Análisis de la memoria de cálculo .....                        | 17 |
| 2.3.1.     | Datos de diseño .....  | 18 |
| 2.3.1.1.   | Caudal .....   | 18 |
| 2.3.1.2.   | Características del influente .....                            | 18 |
| 2.3.2.     | Criterios de diseño .....                                      | 18 |
| 2.3.2.1.   | Pretratamiento .....   | 19 |
| 2.3.2.2.   | Sedimentadores primarios .....                                 | 19 |
| 2.3.2.3.   | Selectores anóxicos .....                                      | 20 |
| 2.3.2.4.   | Reactor biológico .....  | 20 |
| 2.3.2.4.1. | Requerimientos de aire .....                                   | 21 |
| 2.3.2.5.   | Sedimentador secundario .....                                  | 22 |
| 2.3.2.6.   | Filtros .....  | 23 |
| 2.3.2.7.   | Tanque de contacto de cloro .....                              | 23 |
| 2.3.2.8.   | Comentarios generales .....                                    | 23 |
| 2.4.       | Análisis de la información histórica de calidad del agua ..... | 23 |
| 2.4.1.     | pH .....   | 28 |
| 2.4.2.     | Coliformes fecales .....                                       | 28 |
| 2.4.3.     | Grasas y Aceites .....   | 28 |
| 2.4.4.     | Sólidos sedimentables .....                                    | 28 |
| 2.4.5.     | Sólidos suspendidos totales (SST) .....                        | 28 |
| 2.4.6.     | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) .....                      | 29 |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 2.4.7.   | Nitrógeno Total (NT) .....                         | 29  |
| 2.4.8.   | Fósforo Total (PT) .....                           | 29  |
| 2.4.9.   | Metales y Cianuro.....                             | 30  |
| 2.4.10.  | Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....             | 30  |
| 2.5.     | Análisis de la información del Proceso.....        | 30  |
| 2.5.1.   | Análisis rutinarios.....                           | 30  |
| 2.5.2.   | Manual de operación.....                           | 33  |
| 2.5.3.   | Reportes de operación (bitácoras) .....            | 34  |
| 2.5.4.   | Mantenimiento.....                                 | 34  |
| 3.       | ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR.....   | 35  |
| 3.1.     | Descripción de las unidades de proceso.....        | 35  |
| 3.1.1.   | Tren norte.....                                    | 36  |
| 3.1.2.   | Tren Sur.....                                      | 41  |
| 3.1.2.1. | Unidades 9-12 .....                                | 41  |
| 3.1.2.2. | Unidades 13 y 14 .....                             | 46  |
| 3.1.3.   | Estado de las unidades de proceso.....             | 50  |
| 3.1.3.1. | Sedimentadores primarios.....                      | 50  |
| 3.1.3.2. | Reactores biológicos .....                         | 52  |
| 3.1.3.3. | Sedimentadores secundarios.....                    | 63  |
| 3.1.3.4. | Filtros.....                                       | 63  |
| 3.1.3.5. | Tanque de contacto de cloro .....                  | 64  |
| 3.1.4.   | Estado físico de las instalaciones de la PTAR..... | 65  |
| 3.1.5.   | Equipos electromecánicos.....                      | 67  |
| 3.2.     | Muestreo y calidad del agua residual.....          | 69  |
| 3.2.1.   | Resultados del muestreo compuesto.....             | 72  |
| 3.2.2.   | Resultados de muestreo simple .....                | 76  |
| 3.2.3.   | Determinaciones de campo.....                      | 80  |
| 3.2.4.   | Influencia industrial.....                         | 105 |
| 4.       | DIAGNOSTICO DE PERSONAL.....                       | 108 |
| 4.1.     | Recursos Humanos .....                             | 108 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 4.2.   | Evaluación de conocimientos.....                 | 108 |
| 4.3.   | Capacitación.....                                | 109 |
| 4.3.1. | Cursos de capacitación recibidos .....           | 109 |
| 4.3.2. | Temas de capacitación solicitados .....          | 109 |
| 4.3.3. | Material didáctico entregado .....               | 109 |
| 5.     | SEGURIDAD E HIGIENE .....                        | 120 |
| 6.     | LABORATORIO .....                                | 123 |
| 7.     | CAUSAS QUE LIMITAN EL Desempeño de la PTAR ..... | 125 |
| 7.1.   | Causas .....                                     | 125 |
| 7.2.   | Descripción de la causa y recomendaciones .....  | 126 |
| 7.2.1. | Nivel I.....                                     | 126 |
| 7.2.2. | Nivel II.....                                    | 129 |
| 7.2.3. | Nivel III.....                                   | 131 |
| 8.     | CONCLUSIONES.....                                | 134 |
|        | ANEXO 1. Plantilla de personal .....             | 140 |

## TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1 Datos generales .....   | 12 |
| Tabla 2 Ubicación y contacto .....  | 12 |
| Tabla 3 Condiciones particulares de descarga (CPD) de aguas residuales..      | 16 |
| Tabla 4 Calidad del agua de entrada de diseño .....                           | 18 |
| Tabla 5 Calidad del agua a la salida del sedimentador primario .....          | 19 |
| Tabla 6 Calidad del agua del efluente de la PTAR Cerro de la Estrella.....    | 25 |
| Tabla 7 Relación DBO/DQO PTAR Cerro de la Estrella.....                       | 30 |
| Tabla 8 Promedio mensual de caudal, alcalinidad y sólidos sedimentables ..... | 31 |
| Tabla 9 Medidas de los sedimentadores primarios Tren Norte .....              | 36 |
| Tabla 10 Medidas de los selectores anóxicos Tren Norte .....                  | 37 |
| Tabla 11 Medidas de los reactores biológicos Tren Norte.....                  | 38 |
| Tabla 12 Medidas de los sedimentadores secundarios Tren Norte .....           | 39 |
| Tabla 13 Medidas de los filtros Tren Norte .....                              | 40 |
| Tabla 14 Medidas de los sedimentadores primarios Tren Sur 9-12.....           | 42 |
| Tabla 15 Medidas de los selectores anóxicos Tren Sur 9-12.....                | 43 |
| Tabla 16 Medidas de los reactores biológicos Tren Sur 9-12.....               | 44 |
| Tabla 17 Medidas de los sedimentadores secundarios Tren Sur 9-12.....         | 45 |
| Tabla 18 Medidas de los filtros Tren Sur 9-12.....                            | 46 |
| Tabla 19 Medidas de los selectores anóxicos Tren Sur 13-14 .....              | 47 |
| Tabla 20 Medidas de los reactores biológicos Tren Sur 13-14 .....             | 48 |
| Tabla 21 Medidas de los sedimentadores secundarios Tren Sur 13-14 .....       | 49 |
| Tabla 22 Medidas de los filtros Tren Sur 13-14.....                           | 49 |
| Tabla 23 Parámetros evaluados.....  | 70 |
| Tabla 24 Resultados de laboratorio de muestra compuesta.....                  | 74 |
| Tabla 25 pH entrada y salida por tren de tratamiento.....                     | 76 |
| Tabla 26 SST entrada y salida por tren de tratamiento .....                   | 77 |
| Tabla 27 DBO y DQO entrada y salida por tren de tratamiento .....             | 78 |
| Tabla 28 NT y PT entrada y salida por tren de tratamiento .....               | 79 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 29 Calidad del agua diseño, muestra compuesta y simple.....             | 80  |
| Tabla 30 Tiempo de sedimentación (volumen de lodos en mL).....                | 81  |
| Tabla 31 Características de las pruebas de sedimentación.....                 | 84  |
| Tabla 32 Índice volumétrico de lodos (IVL) .....                              | 87  |
| Tabla 33 Determinaciones de OD y pH.....                                      | 90  |
| Tabla 34 Manto de lodos en sedimentadores primarios (cm) .....                | 101 |
| Tabla 35 Manto de lodos en sedimentadores secundarios (cm).....               | 103 |
| Tabla 36 Tipo de descarga y caudal por alcaldía .....                         | 106 |
| Tabla 37 Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR ..... | 125 |



## FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Tren de tratamiento de la PTAR Cerro de la Estrella..... | 14 |
| Figura 2 Tren de tratamiento general.....                         | 15 |
| Figura 3 Promedio mensual del caudal 2019.....                    | 32 |
| Figura 4 Promedio mensual de alcalinidad 2019.....                | 33 |
| Figura 5 Promedio mensual de sólidos sedimentables 2019.....      | 33 |
| Figura 6 Caja, canales de distribución y canales Parshall.....    | 35 |
| Figura 7 Sedimentadores primarios Norte.....                      | 36 |
| Figura 8 Selector anóxico.....                                    | 38 |
| Figura 9. Reactores aerobios de lodos activados.....              | 39 |
| Figura 10 Sedimentador secundario Norte.....                      | 40 |
| Figura 11 Rastras del sedimentador secundario Norte.....          | 40 |
| Figura 12 Filtros de arena Norte.....                             | 41 |
| Figura 13 Sedimentadores primarios Sur 9-12.....                  | 42 |
| Figura 14 Zona de celda anóxica tren Sur.....                     | 43 |
| Figura 15 Reactor de lodos activados Sur 9-10.....                | 44 |
| Figura 16 Sedimentador secundario Sur.....                        | 45 |
| Figura 17 Filtros de arena Sur 9-12.....                          | 46 |
| Figura 18 Celda anóxica módulo 13 y 14.....                       | 47 |
| Figura 19 Reactor de lodos activados Sur 13 y 14.....             | 48 |
| Figura 20 Sedimentador secundario Sur 13 y 14.....                | 49 |
| Figura 21 Filtros de arena Sur 13 y 14.....                       | 49 |
| Figura 22 Tanque de cloración general.....                        | 50 |
| Figura 23 Estado de sedimentadores primarios.....                 | 52 |
| Figura 24 Reactores biológicos Tren Norte.....                    | 53 |
| Figura 25 Manguera de purga de condensados.....                   | 54 |
| Figura 26 Reactores biológicos Tren Sur.....                      | 55 |
| Figura 27 Registro fotográfico de reactores (Parte 1).....        | 56 |
| Figura 28 Registro fotográfico de reactores (Parte 2).....        | 57 |
| Figura 29 Registro fotográfico de reactores (Parte 3).....        | 58 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 30 Registro fotográfico de reactores (Parte 4) .....                    | 59 |
| Figura 31 Registro fotográfico de reactores (Parte 5).....                     | 60 |
| Figura 32 Registro fotográfico de reactores (Parte 6).....                     | 61 |
| Figura 33 Registro fotográfico de reactores (Parte 7).....                     | 62 |
| Figura 34 Estado de sedimentadores secundarios.....                            | 63 |
| Figura 35 Estado de los filtros .....  | 64 |
| Figura 36 Estado de sedimentadores secundarios.....                            | 65 |
| Figura 37 Estado físico de las estructuras metálicas de la PTAR.....           | 66 |
| Figura 38 Estado de la obra civil de la PTAR.....                              | 66 |
| Figura 39 Falta de tapas de registros .....                                    | 66 |
| Figura 40 Equipos electromecánicos fuera de servicio.....                      | 67 |
| Figura 41 Etiquetas en equipos electromecánicos .....                          | 67 |
| Figura 42 Equipos electromecánicos en funcionamiento.....                      | 68 |
| Figura 43 Estado físico de los equipos electromecánicos y la obra civil .....  | 68 |
| Figura 44 Puntos de muestreo .....   | 69 |
| Figura 45 Parámetros de campo de muestra compuesta.....                        | 73 |
| Figura 46 Coliformes fecales y <i>E. coli</i> de muestra compuesta .....       | 73 |
| Figura 47 Toxicidad aguda ( <i>Vibrio fischeri</i> ) de muestra compuesta..... | 76 |
| Figura 48 Sedimentación Unidad I Reactores 1-4 .....                           | 82 |
| Figura 49 Sedimentación Unidad II Reactores 5-8.....                           | 82 |
| Figura 50 Sedimentación Unidad III Reactores 9-12 .....                        | 83 |
| Figura 51 Sedimentación Unidad IV Reactores 13 y 14.....                       | 83 |
| Figura 52 Lodos en prueba de sedimentación Unidad I, reactores 1-4 .....       | 85 |
| Figura 53 Lodos en prueba de sedimentación Unidad II, reactores 5-8 .....      | 86 |
| Figura 54 Lodos en prueba de sedimentación Unidad III reactores 9-12 .....     | 86 |
| Figura 55 Lodos en prueba de sedimentación Unidad IV reactores 13 y 14 .....   | 87 |
| Figura 56 Volumen de lodo final, SST e IVL .....                               | 89 |
| Figura 57 Equipos para la medición de pH y OD y determinaciones en campo ..... | 89 |
| Figura 58 pH y OD en el reactor 1 .....  | 92 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 59 pH y OD en el reactor 2 .....                         | 92  |
| Figura 60 pH y OD en el reactor 3.....                          | 93  |
| Figura 61 pH y OD en el reactor 4.....                          | 93  |
| Figura 62 pH y OD en el reactor 5 .....                         | 94  |
| Figura 63 pH y OD en el reactor 6 .....                         | 95  |
| Figura 64 pH y OD en el reactor 7.....                          | 95  |
| Figura 65 pH y OD en el reactor 8 .....                         | 96  |
| Figura 66 pH y OD en el reactor 9.....                          | 97  |
| Figura 67 pH y OD en el reactor 10 .....                        | 97  |
| Figura 68 pH y OD en el reactor 11.....                         | 98  |
| Figura 69 pH y OD en el reactor 12.....                         | 99  |
| Figura 70 Mezclador del reactor 12 .....                        | 99  |
| Figura 71 pH y OD en el reactor 13.....                         | 100 |
| Figura 72 pH y OD en el reactor 14 .....                        | 100 |
| Figura 73 Reactor 14.....                                       | 101 |
| Figura 74 Media caña en el sedimentador primario .....          | 102 |
| Figura 75 Media caña en el sedimentador secundario.....         | 104 |
| Figura 76 Tipos de descargas industriales en la CDMX.....       | 106 |
| Figura 77 Portada de los manuales .....                         | 110 |
| Figura 78 Infografías .....                                     | 115 |
| Figura 79 Manual de ejercicios prácticos .....                  | 116 |
| Figura 80 Kit de figuras .....                                  | 118 |
| Figura 81 Entrega de material didáctico.....                    | 119 |
| Figura 82 Zonas de riesgo en la PTAR Cerro de la Estrella ..... | 122 |
| Figura 83 Equipo de laboratorio .....                           | 124 |
| Figura 84 Seguridad en el laboratorio.....                      | 124 |

## 1. INFORMACIÓN DE LA PTAR

### 1.1. Datos generales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Cerro de la Estrella”, fue construida el año 1968 e inicio sus operaciones en 1971. La PTAR recibe las aguas residuales que se generan en las Alcaldías Benito Juárez, Iztacalco, Coyoacán e Iztapalapa. Está diseñada para un caudal de 3,000 L/s y actualmente opera con un gasto de 800 L/s mediante un proceso biológico aerobio conformado por dos trenes de tratamiento de lodos activados (Tren Norte y Tren Sur). El efluente de la PTAR es utilizado para riego de jardines, riego agrícola y recarga de cuerpos de agua en las Alcaldías de Iztapalapa, Xochimilco y Tláhuac. En la Tabla 1 se presentan algunos datos generales de la planta.

**Tabla 1 Datos generales**

| <b>Datos generales</b>                    |  |                     |                        |
|---|--|---------------------|------------------------|
| Año de construcción                       | <b>1968</b>  | Inicio de operación | <b>1971</b>            |
| Municipios de los cuales recibe descargas | <b>Benito Juárez, Iztacalco, Coyoacán e Iztapalapa</b> | Población servida   | <b>3,288,781</b>       |
| Actualización más reciente                | <b>2007</b>  | Tipo de tratamiento | <b>Lodos activados</b> |
| Gasto de diseño                           | <b>3,000 L/s</b>                                       | Gasto de operación  | <b>800 L/s</b>         |

### 1.2. Ubicación

La PTAR “Cerro de la Estrella” se encuentra ubicada en la Avenida San Lorenzo No. 312, colonia San Juan Xalpa, Alcaldía Iztapalapa en la Ciudad de México. La planta es operada por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX). En la Tabla 2 se muestran los datos de ubicación y contacto de la PTAR.

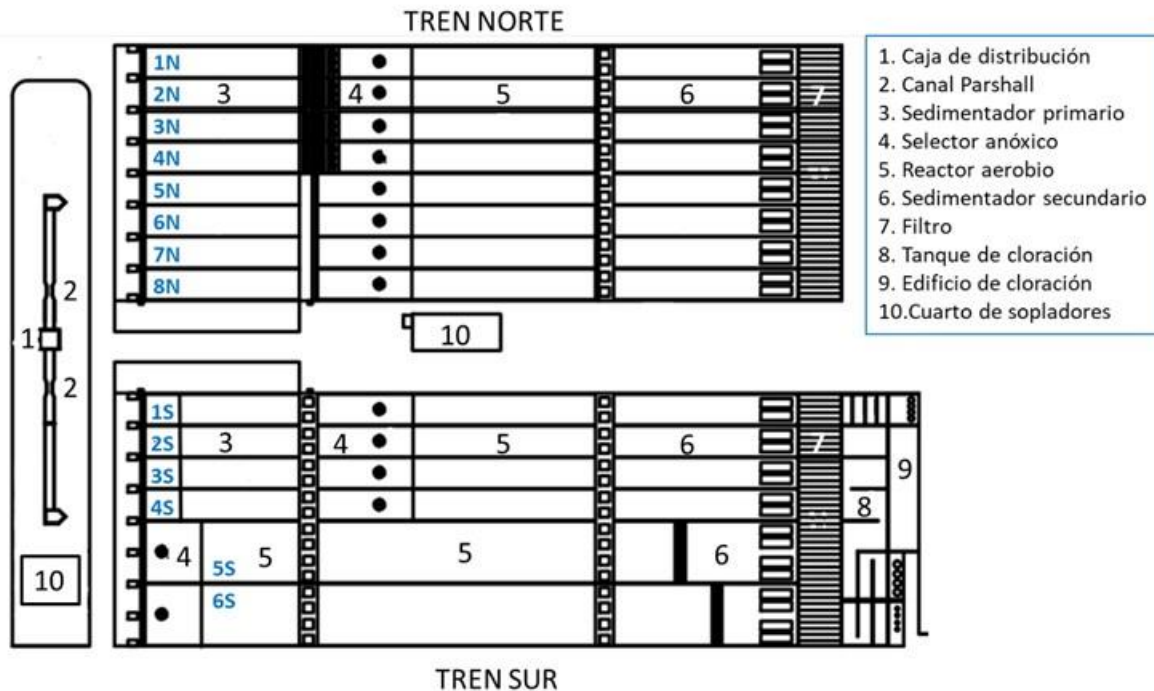
**Tabla 2 Ubicación y contacto**

| <b>Ubicación</b>   |   |  |                        |
|--------------------|---|--|------------------------|
| Nombre de la PTAR  | <b>Cerro de la Estrella</b>                     | <b>Mapa de ubicación</b><br> |                        |
| Calle y número     | <b>Av. San Lorenzo No. 312</b>                  |  |                        |
| Colonia y C.P.     | <b>San Juan Xalpa, 09839</b>                    |  |                        |
| Municipio y estado | <b>Iztapalapa, Ciudad de México</b>             |  |                        |
| Coordenadas        | <b>Lat. 19°20'11.84"N Long. - 99° 4'29.38"O</b> |  |                        |
| <b>Contacto</b>    |   |  |                        |
| Nombre             | <b>Ing. Sergio Núñez Arias</b>                  | Puesto   | <b>Jefe de oficina</b> |
| Correo electrónico | <b>sergionuas@gmail.com</b>                     | Teléfono   | <b>5525104680</b>      |

### 1.3. Descripción del proceso

La PTAR “Cerro de la Estrella” recibe el agua residual del rebombeo “Aculco-Cerro de la Estrella” a través de una línea de conducción de 8 Km, en dicho cárcamo de rebombeo el agua residual es tratada a través de rejillas gruesas y finas, por lo cual no existe una unidad de pretratamiento en la planta.

El sistema de tratamiento de la PTAR está conformado por dos trenes de tratamiento: Norte y Sur (Figura 1).



**Figura 1 Tren de tratamiento de la PTAR Cerro de la Estrella**

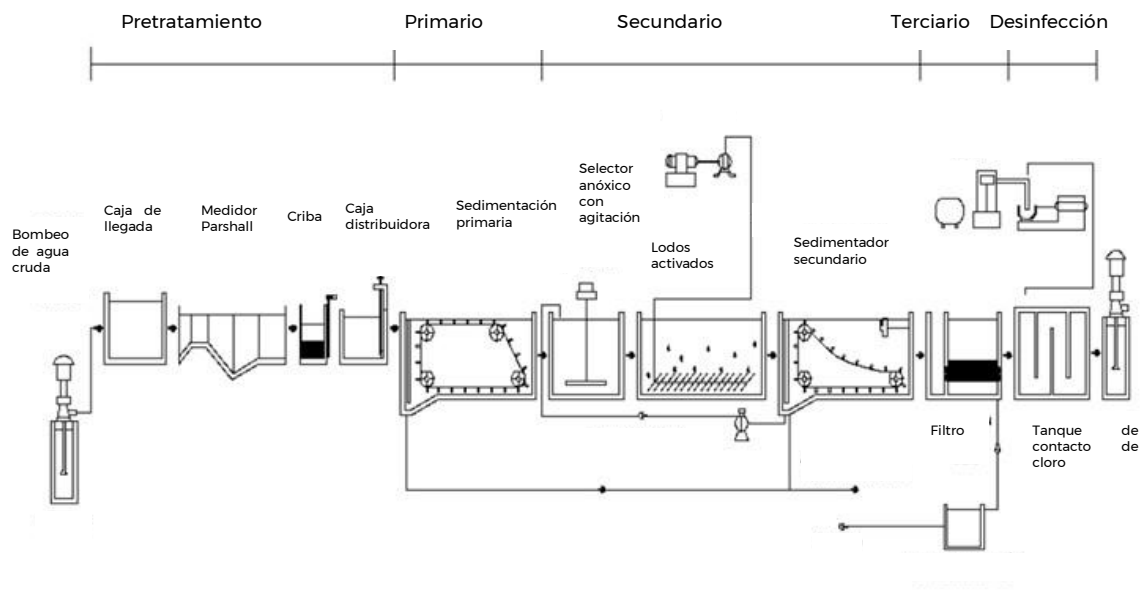
El tren Norte consta de 8 unidades conformadas cada una por un sedimentador primario, un selector anóxico, un reactor biológico de lodos activados convencional, un sedimentador secundario y un filtro de gravilla y arena sílica.

El tren Sur se encuentra conformado por 6 unidades, las cuatro primeras constan de un sedimentador primario con una zona de aeración al final del sedimentador (40%, 2/5 partes del reactor con aire), un selector anóxico, un reactor biológico de lodos activados convencional, un sedimentador secundario y un filtro de gravilla y arena sílica. Las dos unidades restantes constan de un selector anóxico, un reactor de lodos activados convencional, un segundo reactor de lodos activados convencional, un sedimentador secundario con recolector de lodos tipo Clari-Vac, y un filtro de gravilla y arena sílica.

El efluente de ambos trenes se une en un tanque de contacto de cloro. Después de la desinfección el agua es conducida a un cárcamo de bombeo para su posterior envío a los usuarios del agua residual tratada. En la Figura 2 se presenta un esquema del tren de tratamiento general proporcionado por la planta.

Cabe mencionar que los lodos producidos en la PTAR son enviados al drenaje, ya que no se cuenta con un tren de tratamiento de lodos *in situ*.

El reúso que se le da al agua tratada es para riego de camellones, parques recreativos y deportivos (Cuitláhuac, Santa Cruz Meyehualco, San José, El Triángulo, Ciudad Deportiva Francisco I. Madero, Santa Catarina), recarga de lagos y canales recreativos en Xochimilco y Tláhuac, uso en industrias papelera, metalmecánica, cartoneras, quimicofarmacéuticas, madereras, de empaques y lavado de vehículos automotores.



**Figura 2 Tren de tratamiento general**

## **2. REVISIÓN DOCUMENTAL**

### **2.1. Planos**

Se recopilaron 11 archivos con un tamaño de 3.4 MB relacionados a los planos generales de la PTAR Cerro de la Estrella. Los cuales se pueden consultar en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1O1C5IBhKh-rjScer0xRQT4H2igqwOK2Q?usp=sharing> y serán entregados en memoria extraíble al término del proyecto.

### **2.2. Permiso de descarga**

La planta de tratamiento no cuenta con Título de concesión de descarga otorgada por la Comisión Nacional del Agua. Aunque, tiene dos tomas de agua residual tratada de llenado de pipas, una ubicada dentro de las instalaciones de la PTAR y otra sobre la avenida San Lorenzo. Además, el agua es bombeada a la industria y a lagos en Cuemanco y Xochimilco.

Debido a que el agua tratada de la PTAR “Cerro de la Estrella” es utilizada para el riego de áreas verdes, recarga de lagos y en la industria, aplica la NOM-003-SEMARNAT-1997 “Servicios al público con contacto”.

La Tabla 3 muestra los Límites Máximos Permisibles (LMP) a las que deberán sujetarse las aguas residuales tratadas de la PTAR.

### **Tabla 3 Condiciones particulares de descarga (CPD) de aguas residuales**



| Parámetro               | Unidades                   | NOM-001-SEMARNAT-1996 |         | NOM-001-SEMARNAT-2021   |       | NOM-003-SEMARNAT-1997 |    |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------|---------|---|-------|-----------------------|----|
|                         |                            | PM                    | PD      | PM  | PD    | PM                    | PD |
| pH                      | UpH                        | 5 - 10                | 5 - 10  | 6 - 9   | 6 - 9 |                       |    |
| Tem.                    | °C                         | Na                    | NA      | 35  | 35    |                       |    |
| G y A                   | mg/L                       | 15                    | 25      | 15  | 18    | 15                    |    |
| Material Flotante       |                            | Ausente               | Ausente | NA  | NA    |                       |    |
| S. Sed.                 | ml/L                       | NA                    | NA      | NA  | NA    |                       |    |
| SST                     | mg/L                       | NA                    | NA      | 100   | 120   | 20                    |    |
| DBO                     | mg/L                       | NA                    | NA      | NA  | NA    | 20                    |    |
| NT                      | mg/L                       | NA                    | NA      | NA  | NA    |                       |    |
| PT                      | mg/L                       | NA                    | NA      | NA  | NA    |                       |    |
| As                      | mg/L                       | 0.2                   | 0.4     | 0.1   | 0.15  |                       |    |
| Cd                      | mg/L                       | 0.05                  | 0.1     | 0.1   | 0.15  |                       |    |
| CN                      | mg/L                       | 2.0                   | 3.0     | 1.0   | 1.50  |                       |    |
| Cu                      | mg/L                       | 4.0                   | 6.0     | 4.0   | 5.0   |                       |    |
| Cr                      | mg/L                       | 0.5                   | 1.0     | 0.5   | 0.75  |                       |    |
| Hg                      | mg/L                       | 0.005                 | 0.01    | 0.005   | 0.008 |                       |    |
| Ni                      | mg/L                       | 2.0                   | 4.0     | 2.0   | 3.0   |                       |    |
| Pb                      | mg/L                       | 5.0                   | 10.0    | 0.2   | 0.3   |                       |    |
| Zn                      | mg/L                       | 10.0                  | 20.0    | 10  | 15.0  |                       |    |
| CF                      | NMP/100 ml                 | 1000                  | 2000    |   |       | 240                   |    |
| HH                      | H/L                        | 1                     | 1       | 1   | 1     | ≥1                    |    |
| DQO                     | mg/L                       |                       |         | 150   | 180   |                       |    |
| COT                     | mg/L                       |                       |         | 38  | 45    |                       |    |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 ml                 |                       |         | 250   | 500   |                       |    |
| Color                   | Long. De onda              |                       |         | Coeficiente absorción Espectral máximo                            |       |                       |    |
|                         | 436 nm<br>525 nm<br>620 nm |                       |         | 7.0 m <sup>-1</sup><br>5.0 m <sup>-1</sup><br>3.0 m <sup>-1</sup> |       |                       |    |

PM: Promedio mensual

PD: Promedio diario

### 2.3. Análisis de la memoria de cálculo

A continuación, se muestran los datos que se utilizaron en el diseño de la PTAR. Así como un análisis técnico de la memoria de cálculo.

### 2.3.1. Datos de diseño

#### 2.3.1.1. Caudal

Los caudales utilizados para el diseño de la PTAR fueron:

- Medio de 3,000 L/s
- Unidades I, II y III: cada unidad es de 808 L/s, la unidad cuenta con cuatro módulos de 202 L/s cada uno.
- Unidad IV: es de 576 L/s, la unidad cuenta con dos módulos de 288 L/s cada uno.

#### 2.3.1.2. Características del influente

En la Tabla 4 se muestra la calidad del agua del influente y del efluente de la PTAR que se consideró para su diseño.

**Tabla 4 Calidad del agua de entrada de diseño**

| Parámetro                            | Influente | Efluente            |
|--------------------------------------|-----------|---------------------|
| pH                                   | 6.5 -8.5  | 6.5 -8.5            |
| Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) | 217.00    | 20                  |
| Demanda química de oxígeno (mg/L)    | 401.00    | 60                  |
| Nitrógeno amoniacal (mg/L)           | 37.50     | 20                  |
| Nitrógeno total Kjeldalh (mg/L)      | 50.00     |                     |
| Nitrógeno orgánico (mg/L)            | 12.50     |                     |
| Nitrógeno total (mg/L)               |           | 40                  |
| Fósforo total (mg/L)                 | 11.00     | 10                  |
| Sólidos suspendidos totales (mg/L)   | 180.00    | 20                  |
| Sólidos sedimentables (ml/L)         |           | <1                  |
| Coliformes fecales NMP/100 ml        |           | 1.0X10 <sup>3</sup> |

### 2.3.2. Criterios de diseño

Para el tratamiento de las aguas residuales municipales se optó por el proceso de lodos activados en su modalidad de sistema convencional.

La memoria de cálculo está dividida en dos partes, primero se presenta el diseño para las unidades I, II y III, y posteriormente para la unidad IV.

### 2.3.2.1. Pretratamiento

Las unidades I, II y III no cuentan con pretratamiento, sin embargo, la unidad IV cuenta con una rejilla fina automática con una abertura de 6 mm.

### 2.3.2.2. Sedimentadores primarios

a) Unidades I, II y III

- Los Sedimentadores primarios operan con una carga superficial de  $48.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ , un poco arriba de lo recomendado por la literatura, que es de  $48.0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ .
- Se cita que las eficiencias esperadas de remoción para:
  - o DBO es del 8%
  - o Sólidos suspendidos totales del 30%.

En la literatura para DBO puede ser de hasta 30% y en sólidos suspendidos totales hasta en un 60%.

- Considerando una remoción del 8% de SST y una concentración de lodos de purga del 1%, el caudal de purga por sedimentador no es de  $31.42 \text{ m}^3/\text{d}$ . El valor correcto es de  $92.24 \text{ m}^3/\text{d}$ .
- Cada unidad consta de 4 sedimentadores primarios con las dimensiones de 10 m de ancho, 36 m de largo y 3 m de profundidad.
- La Calidad del efluente se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5 Calidad del agua a la salida del sedimentador primario**

| Parámetro                            | Influente |
|--------------------------------------|-----------|
| Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) | 199.80    |
| Demanda química de oxígeno (mg/L)    | 349.70    |
| Nitrógeno amoniacal (mg/L)           | 37.50     |
| Nitrógeno total Kjeldalh (mg/L)      | 50.00     |
| Nitrógeno orgánico (mg/L)            | 12.50     |
| Fósforo total (mg/L)                 | 11.00     |
| Sólidos suspendidos totales (mg/L)   | 126.00    |

b) Unidad IV

- No cuenta con sedimentadores primarios.

### 2.3.2.3. Selectores anóxicos

- a) Unidades I, II y III
- Cada unidad consta de 4 selectores con las dimensiones de 10 m de ancho, 14.5 m de largo y 5 m de profundidad.
  - El volumen del sector es de 725 m<sup>3</sup>.
  - El caudal de operación es de 202 L/s de cada selector.
  - Se fija una hora de tiempo de retención hidráulico para la zona anóxica.
  - Su relación alimento/microorganismos es de 2.41 kg DBO/kg SSV d.
  - La carga orgánica es de 3,487.8 kg DBO/d por selector.
- b) Unidad IV
- La unidad consta de 2 selectores con las dimensiones de 20 m de ancho, 17.7 m de largo y 3 m de profundidad.
  - El volumen del sector es de 1,062 m<sup>3</sup>.
  - El caudal de operación es de 288 L/s de cada selector.
  - Se fija una hora de tiempo de retención hidráulico para la zona anóxica.
  - Su relación alimento/microorganismos es de 2.54 kg DBO/kg SSV d.
  - La carga orgánica es de 5,399.7 kg DBO/d por selector.

### 2.3.2.4. Reactor biológico

- a) . Unidades I, II y III
- Cada unidad consta de 4 reactores biológicos y las dimensiones para la parte aerobia son; 10 m de ancho, 74 m de largo y 5 m de profundidad.
  - Se fija un tiempo de retención medio celular de 4.3 d.
  - Sólidos suspendidos totales 2,500 mg/L.
  - Sólidos suspendidos volátiles 2,000 mg/L.
  - Se fija una A/M de 0.39 kg DBO/ Kg SSV d, para el cálculo de volumen total del reactor, esto es, incluye al selector.
  - Volumen total de 4,425 m<sup>3</sup>.
  - El tiempo total de retención hidráulico es de seis horas, que está dentro de lo recomendado por la literatura para un sistema convencional (2 a 8 h). Sin embargo, se tiene que restar el TRH en el selector que es de una hora, por lo que para la parte aerobia es de 5 h.
  - La carga orgánica volumétrica es de 0.709 kg/m<sup>3</sup> d por reactor.
  - La purga de lodos es de 4.7 L/s por reactor.

- El largo total de la unidad es de 88.5 m.
- b) Unidad IV
  - Consta de dos unidades:
    - Parte 1; 20 m de ancho, 40.3 m de largo y 3 m de profundidad. Al parecer, el largo considera la parte anóxica y la aerobia.
    - Se cita en la memoria de cálculo que el volumen es que de 2,918 m<sup>3</sup>, sin embargo, con las dimensiones que se dan es de 2,418 m<sup>3</sup>.
    - Parte 2; 20 m de ancho, 90 m de largo y 3.5 m de profundidad.
    - Para que exista una mejor transferencia de oxígeno, los fabricantes de sistemas de difusión recomiendan que como mínimo se cuente con una profundidad de 4 m en los reactores. Hecho, que no se cumple en esta unidad.
  - Sólidos suspendidos totales 2,500 mg/L.
  - Sólidos suspendidos volátiles 2,000 mg/L.
  - Se fija una F/M de 0.33 kg DBO/ Kg SSV d, para el cálculo de volumen total del reactor. Aunque se fijan con anterioridad las dimensiones de los tanques.
  - El tiempo total de retención hidráulico es de 8.41 horas, que está un poco por arriba de lo recomendado por la literatura para un sistema convencional (2 a 8 h). Sin embargo, se tiene que restar el TRH en el selector que es de una hora, por lo que para la parte aerobia es de 7.41 h, sin embargo, en la memoria se cita que es de 7.87 h.
  - La carga orgánica volumétrica es de 0.709 kg/m<sup>3</sup> d por reactor, sin embargo, se debe corregir ya que se verifique el volumen correcto del reactor.
  - La purga de lodos es de 7.4 L/s.

#### 2.3.2.4.1. *Requerimientos de aire*

##### a) Unidades I, II y III

La memoria de cálculo tiene la siguiente nota:

“Debido a una alta edad de los lodos (4.4 días) y una alta F/M, los reactores no desarrollaran la reacción de nitrificación, por lo que no se considera oxígeno para nitrificar”.

Al respecto la literatura indica que para un sistema de lodos activados convencional:

- Que solo remueve carbono el TMRC está en un rango de 4 a 7 días. Por lo que, más bien es bajo.

- La relación A/M está comprendida entre 0.2 a 0.6 kg DBO/ kg SSV d. Por lo que, está casi en el valor medio.
- Generalmente, en operación normal los reactores biológicos si nitrifican, aunque en muy poca cantidad. Esto se corroborará con los análisis puntuales que se realizarán. Es importante que el diseño contemple la nitrificación, ya que es importante estabilizar el nitrógeno amoniacal a nitratos ya que esta forma de nitrógeno es más fácil de asimilar por la vegetación. Además, se cuenta con una zona anóxica en la cual se puede remover nitrógeno, el cual debe estar en forma de nitratos, de otra forma no habría razón de la selección de los selectores.
- Ahora bien, para tener TMRC bajos, es necesario incrementar las purgas, lo que sugiere una alta producción de lodos.
- Lo anterior puede llevar a una falta de aire en el sistema, bajo condiciones normales de operación de 3,000 L/s.

b) Unidad IV

- Es la misma condición que el de las unidades anteriores.

### 2.3.2.5. Sedimentador secundario

a) Unidades I, II y III

- Se establecen las dimensiones de los sedimentadores y después se ajusta la carga hidráulica superficial.
- Cada unidad consta de 4 sedimentadores secundarios con las dimensiones de 10 m de ancho, 55 m de largo y 3 m de profundidad.
- Área 550 m<sup>2</sup>.
- Volumen 1,650 m<sup>3</sup>.
- La carga de sólidos generalmente se reporta en kg/m<sup>2</sup> h, sin embargo, se dice que es de 550 L/m<sup>2</sup> h de diseño. Realizando los cálculos correspondientes da 529 L/m<sup>2</sup> h, pero no se encuentra en la literatura una referencia de éste.
- Sólidos suspendidos totales 2,500 mg/L.
- Tiempo de residencia hidráulico 2.3 h.
- La carga de hidráulica 31.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d, valor muy cercano a valor máximo recomendado por Syed R. Qasim de 32.8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d.
- La relación de recirculación de lodos de 66.7% está dentro de lo recomendado por la literatura, 30 a 75%.

b) Unidad IV

- Se establecen las dimensiones de los sedimentadores y después se ajusta la carga hidráulica superficial.
- Cada unidad consta de 2 sedimentadores secundarios con las dimensiones de 18.5 m de ancho, 60 m de largo y 3 m de profundidad.
- Área 1,110 m<sup>2</sup>.
- Volumen 3,330 m<sup>3</sup>.
- La carga de sólidos generalmente se reporta en kg/m<sup>2</sup> h, sin embargo, se dice que es de 500 L/m<sup>2</sup> h de diseño. Realizando los cálculos correspondientes da 186.8 L/m<sup>2</sup> h, pero no se encuentra en la literatura una referencia de este valor.
- Sólidos suspendidos totales 2,500 mg/L.
- Tiempo de residencia hidráulico 3.2 h.
- La carga hidráulica es de 22.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d, valor que se encuentra por debajo del valor máximo recomendado por Syed R. Qasim de 32.8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d.
- La relación de recirculación de lodos de 66.1% está dentro de lo recomendado por la literatura, 30 a 75%.

#### 2.3.2.6. Filtros

No se presentan los cálculos.

#### 2.3.2.7. Tanque de contacto de cloro

No se presentan los cálculos.

#### 2.3.2.8. Comentarios generales

- La memoria de cálculo tiene fecha 20/04/2007, por lo que tomaron como base las dimensiones de las unidades existentes y con ello realizaron los ajustes a las condiciones de diseño que se proponen, tales como cargas hidráulicas y relación alimento/microorganismos, entre otras.
- Se revisaron todos los cálculos matemáticos y en su mayoría son correctos.

## 2.4. Análisis de la información histórica de calidad del agua

Debido a que no se cuenta con Título de concesión de descarga, no está obligada la administración de la PTAR a reportar análisis de la calidad del



agua de salida a la Comisión Nacional del Agua. Sin embargo, se proporcionaron datos de los análisis que realiza el laboratorio central de SACMEX, los cuales corresponden al periodo de enero a septiembre del año 2021, y se muestran en la Tabla 6.



**Tabla 6 Calidad del agua del efluente de la PTAR Cerro de la Estrella**

| PARAMETROS                        | UNIDAD | NOM-003-SERMANAT-1997<br>PM Servicios al público con contacto directo | NOM-001-SERMANAT-1996<br>PM Descarga a embalses naturales y artificiales. Uso público urbano | NOM-001-SERMANAT-2021<br>PM Descarga a embalses, lagos y lagunas | PUNTO DE MUESTREO | PERIODO: DE ENERO A DICIEMBRE DE 2021 |        |        |        |        |        |       |       |        |
|-----------------------------------|--------|---|--|--|-------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
|                                   |        |   |  |  |                   | Mes: ENE                              | FEB    | MZO    | MAY    | JUN    | JUL    | AGO   |       | SEP    |
|                                   |        |   |  |  |                   | Día de análisis: 8                    | 9      | 11     | 4      | 1      | 6      | 5     | 23    | 28     |
| pH                                |        | -   | 5.0 - 10.0   | 6.0 - 9.0  | Influyente        | 7.53                                  | 7.41   | 7.51   | 7.41   | 7.62   | 7.83   | 7.52  | 7.54  | 7.70   |
|                                   |        |   |  |  | Efluente          | 7.68                                  | 7.8    | 7.99   | 7.47   | 7.76   | 8.1    | 7.98  | 7.66  | 7.8    |
| Sólidos suspendidos totales       | mg/L   | 20  | 40   | 20   | Influyente        | 104                                   | 156    | 117    | 95     | 84     | 38     | 66    | 56    | 24     |
|                                   |        |   |  |  | Efluente          | <10                                   | <10    | <10    | <10    | <10    | <10    | <10   | <10   | <10    |
| Sólidos sedimentables             | mL/L-h | 1   | 1 mL/L   | -  | Influyente        | 0.7                                   | 0.7    | 2.0    | 0.6    | 0.2    | <0.1   | 1.0   | 0.2   | <0.1   |
|                                   |        |   |  |  | Efluente          | <0.1                                  | <0.1   | <0.1   | <0.1   | <0.1   | <0.1   | <0.1  | <0.1  | <0.1   |
| Nitrógeno amoniacal (como N)      | mg/L   | -   | -  | -  | Influyente        | 23.88                                 | 27.05  | 28.75  | 22.82  | 23.13  | 11.45  | 4.73  | 18.05 | 16.15  |
|                                   |        |   |  |  | Efluente          | 2.77                                  | 8.70   | <1.5   | 4.97   | 7.17   | 6.26   | <1.5  | <1.5  | <1.5   |
| Nitrógeno orgánico (como N)       | mg/L   | -   | -  | -  | Influyente        | 10.45                                 | 10.60  | 6.95   | 8.57   | 10.10  | 5.86   | 4.30  | 8.37  | 5.70   |
|                                   |        |   |  |  | Efluente          | 2.91                                  | 2.64   | 6.19   | 2.17   | 2.66   | 2.51   | <1.5  | 1.68  | 2.07   |
| Nitrógeno total kjeldahl (como N) | mg/L   | -   | -  | -  | Influyente        | 34.83                                 | 37.65  | 35.70  | 31.39  | 33.23  | 17.31  | 9.03  | 26.42 | 21.85  |
|                                   |        |   |  |  | Efluente          | 5.68                                  | 11.34  | 6.19   | 7.14   | 9.83   | 8.77   | <1.5  | 1.68  | 2.07   |
| Nitrógeno de nitratos (como N)    | mg/L   | -   | -  | -  | Influyente        | <0.7                                  | 6.08   | 5.53   | 10.48  | <0.7   | <0.7   | 8.56  | 7.99  | <0.7   |
|                                   |        |   |  |  | Efluente          | 8.36                                  | 8.64   | 9.50   | 10.30  | 12.39  | 14.06  | 9.66  | 18.99 | 13.34  |
| Nitrógeno total                   | mg/L   | -   | 15   | 15   | Influyente        | 34.33                                 | 43.73  | 41.23  | 41.87  | 33.23  | 17.31  | 17.59 | 34.41 | 21.85  |
|                                   |        |   |  |  | Efluente          | 14.04                                 | 19.98  | 15.69  | 17.44  | 22.22  | 22.83  | 9.66  | 20.67 | 15.41  |
| Fósforo total                     | mg/L   | -   | 5  | 5  | Influyente        | <1.2                                  | <1.2   | <1.2   | <1.2   | <1.2   | <1.2   | 2.63  | 4.51  | <1.2   |
|                                   |        |   |  |  | Efluente          | <1.2                                  | <1.2   | <1.2   | <1.2   | <1.2   | <1.2   | 3.29  | 4.42  | <1.2   |
| Plomo total                       | mg/L   | 0.5   | 0.2  | 0.2  | Influyente        | <0.200                                | <0.200 | <0.200 | <0.200 | <0.200 | <0.200 | NE    | NE    | <0.200 |
|                                   |        |   |  |  | Efluente          | <0.200                                | <0.200 | <0.200 | <0.200 | <0.200 | <0.200 | NE    | NE    | <0.200 |

| PARAMETROS         | UNIDAD    | NOM-003-SERMANAT-1997 | NOM-001-SERMANAT-1996 | NOM-001-SERMANAT-2021 | PUNTO DE MUESTREO | PERIODO: DE ENERO A DICIEMBRE DE 2021 |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                    |           |                       |                       |                       |                   | Mes: ENE                              | FEB      | MZO      | MAY      | JUN      | JUL      | AGO      |          | SEP      |
|                    |           |                       |                       |                       |                   | Día de análisis: 8                    | 9        | 11       | 4        | 1        | 6        | 5        | 23       | 28       |
| Cadmio total       | mg/L      | 0.2                   | 0.1                   | 0.1                   | Influyente        | <0.050                                | <0.050   | <0.050   | <0.050   | <0.050   | <0.050   | NE       | NE       | <0.050   |
|                    |           |                       |                       |                       | Efluente          | <0.050                                | <0.050   | <0.050   | <0.050   | <0.050   | <0.050   | NE       | NE       | <0.050   |
| Mercurio total     | mg/L      | 0.01                  | 0.005                 | 0.005                 | Influyente        | NE                                    | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       |
|                    |           |                       |                       |                       | Efluente          | NE                                    | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       |
| Arsénico total     | mg/L      | 0.2                   | 0.1                   | 0.1                   | Influyente        | NE                                    | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       |
|                    |           |                       |                       |                       | Efluente          | NE                                    | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       | NE       |
| Cromo total        | mg/L      | 1                     | 0.5                   | 0.5                   | Influyente        | <0.200                                | <0.200   | <0.200   | <0.200   | <0.200   | <0.200   | NE       | NE       | <0.200   |
|                    |           |                       |                       |                       | Efluente          | <0.200                                | <0.200   | <0.200   | <0.200   | <0.200   | <0.200   | NE       | NE       | <0.200   |
| Zinc total         | mg/L      | 10                    | 10                    | 10                    | Influyente        | <0.100                                | 0.138    | 0.132    | 0.178    | <0.100   | <0.100   | NE       | NE       | <0.100   |
|                    |           |                       |                       |                       | Efluente          | <0.100                                | <0.100   | <0.100   | <0.100   | 0.217    | <0.100   | NE       | NE       | 0.110    |
| Cobre total        | mg/L      | 4                     | 4                     | 4                     | Influyente        | <0.100                                | <0.100   | <0.100   | <0.100   | <0.100   | <0.100   | NE       | NE       | <0.100   |
|                    |           |                       |                       |                       | Efluente          | <0.100                                | <0.100   | <0.100   | <0.100   | <0.100   | <0.100   | NE       | NE       | <0.100   |
| Níquel total       | mg/L      | 2                     | 2                     | 2                     | Influyente        | <0.100                                | <0.100   | <0.100   | <0.100   | <0.100   | <0.100   | NE       | NE       | <0.100   |
|                    |           |                       |                       |                       | Efluente          | <0.100                                | <0.100   | <0.100   | <0.100   | <0.100   | <0.100   | NE       | NE       | <0.100   |
| Coliformes fecales | UFC/100mL | 240                   | 1,000 NMP/100 mL      | -                     | Influyente        | 7.30E+06                              | 2.20E+07 | 5.00E+07 | 2.90E+07 | 2.10E+07 | 2.30E+07 | 3.00E+07 | 4.50E+07 | 7.60E+06 |
|                    |           |                       |                       |                       | Efluente*         | >100E+03                              | 7.00E+04 | 7.50E+04 | 6.50E+03 | >100E+03 | 1.90E+04 | 3.00E+03 | 3.20E+04 | >100E+02 |
| DBO total          | mg/L      | 20                    | 30                    | -                     | Influyente        | 163                                   | 179      | 160      | 151      | 149      | 116      | 70       | 96       | 91       |
|                    |           |                       |                       |                       | Efluente          | 21                                    | 19       | 23       | 8        | 31       | 9        | 7        | 6        | 9        |
| DQO total          | mg/L      | -                     | -                     | 100                   | Influyente        | 240                                   | 257      | 286      | 197      | 299      | 146      | 104      | 150      | 95       |
|                    |           |                       |                       |                       | Efluente          | 10.0                                  | 40.3     | 65.1     | 35.3     | 14.9     | 40.3     | 29.8     | 15.0     | 14.9     |
| Grasas y aceites   | mg/L      | 15                    | 15                    | 15                    | Influyente        | 39.50                                 | 36.10    | 32.61    | 27.26    | 24.22    | 7.84     | <5       | 8.95     | <5       |
|                    |           |                       |                       |                       | Efluente          | <5                                    | <5       | <5       | <5       | <5       | <5       | <5       | <5       | <5       |

| PARAMETROS           | UNIDAD | NOM-003-SERMANAT-1997<br>PM Servicios al público con contacto directo | NOM-001-SERMANAT-1996<br>PM Descarga a embalses naturales y artificiales. Uso público urbano | NOM-001-SERMANAT-2021<br>PM Descarga a embalses, lagos y lagunas | PUNTO DE MUESTREO | PERIODO: DE ENERO A DICIEMBRE DE 2021 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|--------|---|--|--|-------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |        |   |  |  |                   | Mes: ENE                              | FEB  | MZO  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  |      | SEP  |
|                      |        |   |  |  |                   | Día de análisis: 8                    | 9    | 11   | 4    | 1    | 6    | 5    | 23   | 28   |
| Cloro residual total | mg/L   |   |  |  | Efluente          | 0.20                                  | 0.20 | 0.20 | 0.30 | 0.30 | 0.50 | 0.30 | 0.00 | 0.10 |

NE = Parámetro No Efectuado

\* Los valores ">100E+03" se desconoce si se refieren a <1.00E+03, ya que se toman literalmente de los resultados compartidos en Tabla de Excel por la PTAR Cerro de la estrella.

A continuación, se presenta un análisis de los parámetros que se reportan, tomando como referencia la NOM-003-SEMARNAT-1997 “que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público”, y considerando que el agua residual tratada es empleada para el riego de áreas verdes, llenado de lagos y en la industria, además se realiza la comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

#### **2.4.1. pH**

El pH se encuentra dentro del rango estipulado por la norma y para el desarrollo de los microorganismos (6.5 a 8).

#### **2.4.2. Coliformes fecales**

Este parámetro muestra que rebasa el límite máximo permisible establecido por la norma el cual es de 240 NMP/100 ml: Esto puede ser una consecuencia de que el cloro residual se encuentra en una concentración de aproximadamente 0.2 mg/L, cuando se recomienda que sea de 1.5 mg/L. Esto puede ser un indicativo de que no se agrega la dosis adecuada de cloro para realizar la desinfección.

#### **2.4.3. Grasas y Aceites**

La concentración de G y A en el influente no sobrepasa los 15 mg/L establecidos en las normatividades contra las que se comparó y en algunos casos es menor a los 5 mg/L, por lo que en el efluente el valor de la concentración de GyA siempre es menor a los 5 mg/L, por lo que cumple ampliamente con lo estipulado con la norma.

#### **2.4.4. Sólidos sedimentables**

El límite máximo permisible establecido por la norma es de 1 ml/L, y el valor reportado es menor, por lo que se cumple con la norma. Sin embargo, las unidades

#### **2.4.5. Sólidos suspendidos totales (SST)**

La concentración de sólidos suspendidos totales está por debajo de los 10 mg/L, por lo que cumple con el límite máximo permisible establecido por la norma.

#### **2.4.6. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Entre los meses de enero a junio se observa que se rebasó el límite máximo permisible de 20 mg/L, sin embargo, son concentraciones muy cercanas a este valor. En los meses restantes se aprecia que la DBO está por debajo de los 10 mg/L.

Estos resultados muestran que el proceso remueve eficientemente la materia orgánica (fuente de carbono).

#### **2.4.7. Nitrógeno Total (NT)**

En este caso en particular no se reportó este análisis, pero si se reportó nitrógeno orgánico, amoniacal y de nitratos, por lo que, se realizó la suma de estos, para obtener un valor aproximado de nitrógeno total (los resultados se muestran en la Tabla 6), puesto que se conoce que el nitrógeno total es la suma de las siguientes formas de nitrógeno.

$$NT = N \text{ Org} + NH_3 + NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-$$

En este punto es importante destacar que, en la memoria de cálculo, se planteó que el proceso no nitrifica, sin embargo, los resultados de los análisis muestran que el proceso si estabiliza el nitrógeno amoniacal (disminuye la concentración) a nitratos (aumenta la concentración). Por lo que, existe un consumo de oxígeno para este proceso, el cual debe ser considerado.

En resumen, la cantidad de nitrógeno total en el efluente rebasa los 15 mg/L establecidos por la norma. Sin embargo, se puede observar que sí existe una remoción importante de nitrógeno debido a la zona anóxica. En este sentido, es probable que el proceso mejore si los agitadores de estas zonas se ponen en operación.

#### **2.4.8. Fósforo Total (PT)**

Para este parámetro se observa que en el influente está por debajo de 1.2 mg/L, así que en efluente también se encuentra por debajo de esta concentración. Por lo que, se cumple con lo estipulado por la norma. Sin embargo, esto es preocupante, ya que el sistema de tratamiento requiere la presencia de fósforo para la formación de nuevos microorganismos.

### **2.4.9. Metales y Cianuro**

De los metales que se solicitan en la norma, el arsénico y el mercurio no se determinan en el laboratorio del SACMEX, y también se puede apreciar que en el mes de agosto no se realizaron algunos análisis. Sin embargo, los resultados reportados muestran que no rebasan los límites máximos permisibles establecidos por la norma.

### **2.4.10. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

En la Tabla 7 se muestra la relación DBO/DQO, para el periodo de análisis.

**Tabla 7 Relación DBO/DQO PTAR Cerro de la Estrella**

| <b>Mes</b> | <b>ENERO</b> | <b>FEBRERO</b> | <b>MARZO</b> | <b>MAYO</b> | <b>JUNIO</b> | <b>JULIO</b> | <b>AGOSTO</b> |     | <b>SEPTIEMBRE</b> |
|------------|--------------|----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|---------------|-----|-------------------|
| Día        | 8            | 9              | 11           | 4           | 1            | 6            | 5             | 23  | 28                |
| DBO/DQO    | 0.7          | 0.7            | 0.6          | 0.8         | 0.5          | 0.8          | 0.7           | 0.6 | 0.96              |

Estos valores muestran que la relación va de 0.5 a 1.0, con un promedio de 0.7, lo que indica que es un agua residual sin problemas de biodegradabilidad, o, en otras palabras, que tiene muy poca influencia industrial.

## **2.5. Análisis de la información del Proceso**

### **2.5.1. Análisis rutinarios**

En los años 2020 y 2021 a causa de la pandemia provocada por el virus Sars-COV2, el laboratorio ha operado muy poco, ya que el personal no asiste con regularidad y tampoco se cuenta con recursos para material y reactivos, por lo tanto, los análisis realizados fueron muy escasos.

Por tal motivo, se proporcionó información del año 2019 (enero-noviembre), en donde se tiene información de los parámetros que se mencionan a continuación y los cuales se realizan de manera rutinaria todos los días.

- Caudal
- Temperatura
- Cloruros
- Alcalinidad
- Dureza
- Conductividad
- Sólidos sedimentables

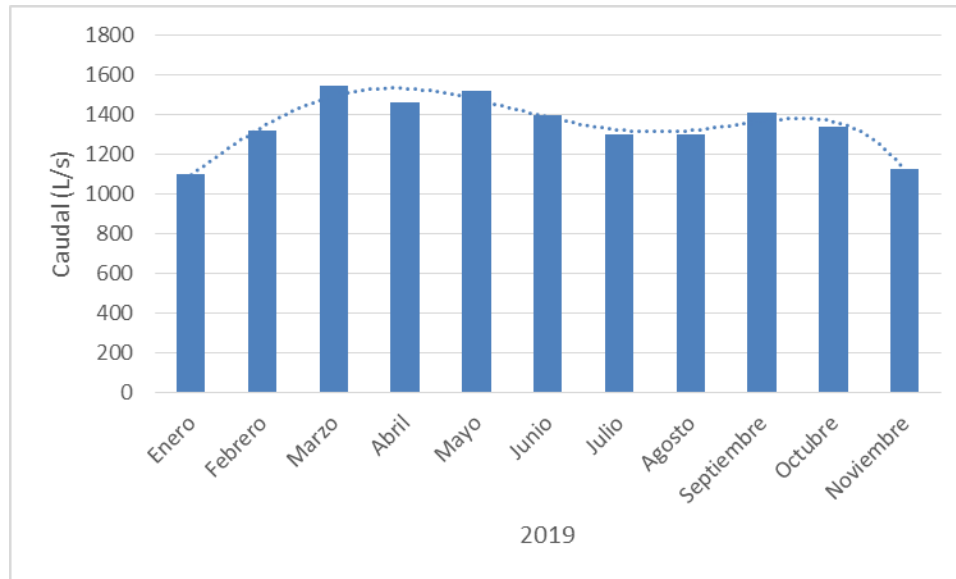
Para fines operativos y de análisis de la información, en la Tabla 8 se presentan los promedios mensuales del caudal medido, alcalinidad y sólidos sedimentables a la entrada de la planta (influyente), y de los dos últimos en el efluente.

**Tabla 8 Promedio mensual de caudal, alcalinidad y sólidos sedimentables**

| 2019       | Caudal influyente (L/s) | Alcalinidad (mg/L) |          | Sólidos Sed. (ml/L) |          |
|------------|-------------------------|--------------------|----------|---------------------|----------|
|            |                         | Influyente         | Efluente | Influyente          | Efluente |
| Enero      | 1100                    | 298                | 174      | 1.9                 | 0.2      |
| Febrero    | 1323                    | 300                | 206      | 2.8                 | 0.2      |
| Marzo      | 1545                    | 244                | 196      | 2.2                 | 0.1      |
| Abril      | 1464                    | 280                | 166      | 2.9                 | 0.1      |
| Mayo       | 1522                    | 262                | 181      | 2.6                 | 0.1      |
| Junio      | 1399                    | 271                | 174      | 2.7                 | 0.1      |
| Julio      | 1305                    | 238                | 158      | 2.0                 | 0.2      |
| Agosto     | 1302                    | 222                | 146      | 2.0                 | 0.1      |
| Septiembre | 1412                    | 230                | 166      | 2.1                 | 0.2      |
| Octubre    | 1341                    | 226                | 156      | 2.0                 | 0.1      |
| Noviembre  | 1125                    | 246                | 161      | 1.8                 | 0.1      |

A continuación, se muestran las gráficas que presentan el comportamiento de estos parámetros.

En la Figura 3 se puede observar que existe una tendencia de aumento en el caudal de enero (1,100 L/s) a los meses de marzo-mayo (1500 L/s) y posteriormente desciende en julio (1,300 L/s) para nuevamente ascender en septiembre (1,400 L/s) y descender en noviembre (1100 L/s). Esto se puede atribuir a que en ciertos periodos del año se presentan lluvias, lo que incrementa el caudal de agua residual. Sin embargo, la capacidad de la PTAR es de 3,000 L/s, y como se observa solo en periodos cortos llega a operar al 50%.

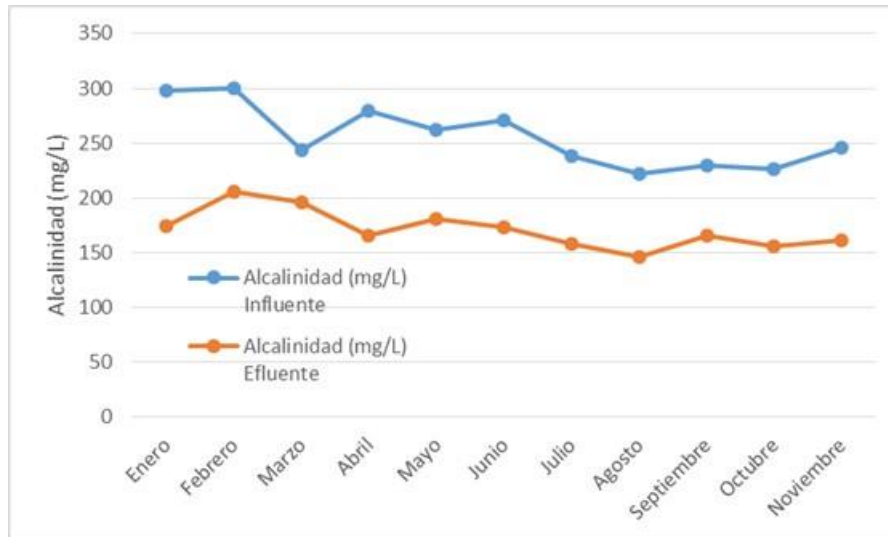


**Figura 3 Promedio mensual del caudal 2019**

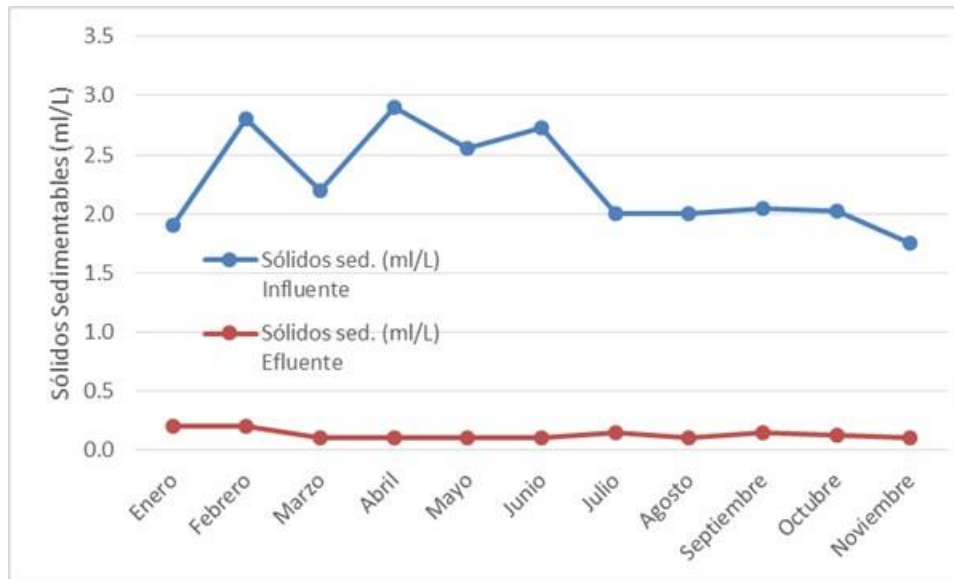
El parámetro de alcalinidad, aunque no se encuentra normado, cobra relevancia debido a que el proceso de nitrificación, en el reactor biológico, consume alcalinidad. En la Figura 4 se puede apreciar, que en promedio se consumen alrededor de 85 mg/L. Esto indica que el agua residual cuenta con buena alcalinidad para realizar el proceso biológico. Aunado a esto, es conveniente recordar que en la memoria de cálculo se estipuló que el proceso se diseñó para no nitrificar, sin embargo, los resultados de los parámetros que se monitorean comprueban que el proceso sí nitrifica.

Finalmente, aunque la PTAR no cuenta con pretratamiento en sus instalaciones los sólidos sedimentables que ingresan al sistema de tratamiento son realmente mínimos y en el efluente se puede observar que en promedio están alrededor de 0.1 ml/L, lo cual cumple con la NOM-003-SEMARNAT-1997, que estipula que deben ser menores a 1 ml/L (Figura 5).





**Figura 4 Promedio mensual de alcalinidad 2019**



**Figura 5 Promedio mensual de sólidos sedimentables 2019**

### 2.5.2. Manual de operación

Durante la visita de reconocimiento a la PTAR Cerro de la Estrella personal de la misma proporcionó un manual de operación que data de 1984, sin embargo, no fue proporcionado ningún manual actualizado. El manual corresponde a la planta con una capacidad de 1,000 L/s, es decir, antes de las modificaciones en las que se incrementó el caudal.

### **2.5.3. Reportes de operación (bitácoras)**

En la PTAR se cuenta con una bitácora de operación en la que también se anotan los reportes de fallas. En dicha bitácora diariamente los responsables de turno anotan la información más relevante de la planta.

### **2.5.4. Mantenimiento**

No se proporcionó el programa de mantenimiento anual, sin embargo, existe una bitácora de operación y reporte de fallas, en donde se registra el mantenimiento ocasional que se les llega a dar a los equipos electromecánicos.

### 3. ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

#### 3.1. Descripción de las unidades de proceso

El agua residual que ingresa a la PTAR, llega a una caja de distribución que envía el agua de forma homogénea por gravedad hacia los trenes Norte y Sur (Figura 6). Antes de ingresar al tren de tratamiento, el flujo es medido por medio de un canal Parshall de 6ft (1.83 cm ancho de garganta) y controlado medio de compuertas manuales.



Caja de distribución



Canal Norte



Canal Parshall Norte



Canal Sur



Canal Parshall Sur

**Figura 6 Caja, canales de distribución y canales Parshall**

### 3.1.1. Tren norte

El tren de tratamiento Norte está conformado por ocho unidades o módulos de tratamiento, las cuales cuentan con las siguientes unidades de proceso.

Unidades 1-8

- Sedimentadores primarios; son de forma rectangular, con vertedores en la última parte (1/3), en relación con el flujo del agua. Su objetivo es eliminar por medio de la acción de la gravedad la mayoría de los sólidos suspendidos, por lo que cuentan con un sistema de rastras que envía los lodos sedimentados hacia una tolva colocada al inicio del sedimentador, y cuando la rastra está en la superficie actúa como desnatador. (Figura 7).



**Figura 7 Sedimentadores primarios Norte**

Se encontró durante el recorrido en campo, diferencias en las medidas de las unidades con relación a lo mencionado en la memoria de cálculo.

Cabe mencionar que la planta fue puesta en operación en 1971 con una infraestructura civil instalada de 2,000 L/s. En el periodo 1984-1993 se realizó una ampliación de la estructura civil para elevar la capacidad de tratamiento a 4,000 L/s, sin embargo, este caudal nunca pudo operarse. En el periodo de 2006-2008 se elevó la capacidad de operación de la PTAR a 3,000 L/s, caudal con el que opera actualmente.

Las medidas actualizadas de los sedimentadores primarios del Tren Norte se presentan en la Tabla 9.

**Tabla 9 Medidas de los sedimentadores primarios Tren Norte**

| <b>Unidad</b> | <b>Memoria de cálculo<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|--|---|
| 1-3           | 10 x 36 x 3  | 9.80 x 46.80 x 3*   |
| 4-8           | 10 x 36 x 3  | 9.80 x 46.80 x 3*   |

\*3 m en la parte más profunda y 2.50 en la parte más baja

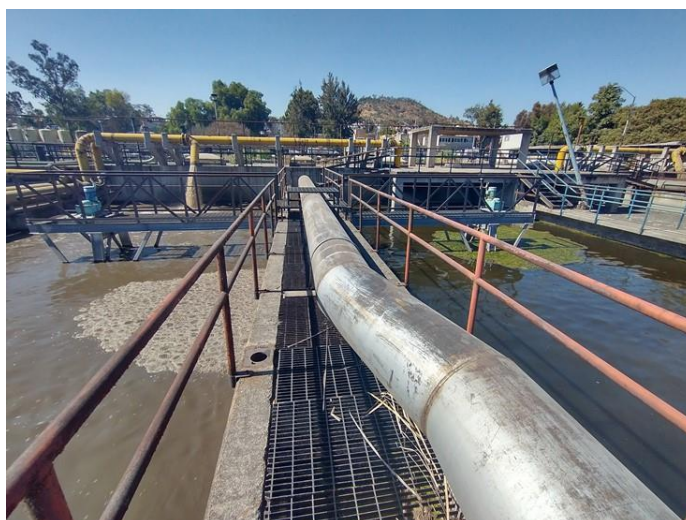
- Selector anóxico; el efluente de los sedimentadores pasa a un selector que forma parte del reactor de lodos activados convencional. El selector representa una tercera parte del reactor en volumen y su influencia tiene una longitud de 30 m.

Al igual que en el caso de los sedimentadores primarios se encontraron diferencias en las medidas de las unidades con relación a lo mencionado en la memoria de cálculo. Las medidas actualizadas de los selectores anóxicos del Tren Norte se presentan en la Tabla 10.

**Tabla 10 Medidas de los selectores anóxicos Tren Norte**

| <b>Unidad</b> | <b>Memoria de cálculo<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|--|---|
| 1-8           | 10 x 14.5 x 5  | 8.70 x 30 x 5   |

Esta sección no cuenta con aeración, por lo que tiene un agitador hiperboloide que permite mezclar el agua residual y el lodo recirculado (Figura 8) además de evitar la sedimentación del último. Su objetivo es la eliminación de nitrógeno del agua residual, al crear condiciones anóxicas o de reducción, por falta de aeración. Se debe recordar que las bacterias son facultativas y tomarán el oxígeno de los nitratos, reduciendo este compuesto a nitrógeno basal, y por lo tanto liberándolo a la atmósfera.



**Figura 8 Selector anóxico**

- Reactor biológico aerobio; está constituido por las dos terceras partes del tanque de lodos activados (60 m) (Figura 9). Las medidas actualizadas de los reactores biológicos del Tren Norte se presentan en la Tabla 11.

**Tabla 11 Medidas de los reactores biológicos Tren Norte**

| <b>Unidad</b> | <b>Memoria de cálculo<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|--|---|
| 1-8           | 10 x 74 x 5  | 8.70 x 60 x 5   |

Cuentan con un sistema de difusión de burbuja fina, el cual proporciona el oxígeno necesario para la estabilización de la materia orgánica, además de mantener en suspensión a los microorganismos para que estén en contacto con el agua residual y evitar su sedimentación. El aire es proporcionado por medio de cinco sopladores centrífugos de 900 HP.



**Figura 9. Reactores aerobios de lodos activados**

- Sedimentador secundario; el efluente del reactor de lodos activados es enviado a un sedimentador rectangular que cuenta con una zona de vertedores de 5 m de largo (Figura 10). Las medidas actualizadas de los sedimentadores secundarios del Tren Norte se presentan en la Tabla 12.

**Tabla 12 Medidas de los sedimentadores secundarios Tren Norte**

| <b>Unidad</b> | <b>Memoria de cálculo<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|--|---|
| 1-4           | 10 x 55 x 3  | 9.85 x 56 x 3.35*   |
| 5-8           | 10 x 55 x 3  | 10 x 56 x 3.35*   |

\*3.35 m en la parte más profunda y 2.75 en la parte más baja

El objetivo de la unidad es clarificar el agua residual tratada, separando los sólidos suspendidos totales (microorganismos) de ésta. La unidad cuenta con un sistema de rastras de madera que envían el lodo sedimentado hacia una tolva para su posterior recirculación o purga (Figura 11).



**Figura 10 Sedimentador secundario Norte**



**Figura 11 Rastras del sedimentador secundario Norte**

- Filtros; La última etapa del tren Norte consta de 16 filtros de arena (dos por cada módulo) (Figura 12). Las medidas de los filtros del Tren Norte se presentan en la Tabla 13.

**Tabla 13 Medidas de los filtros Tren Norte**

| <b>Unidad</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|---|
| 1-16          | 4.90 x 10 x 3   |



El objetivo de esta unidad es la de eliminar los sólidos suspendidos que no fueron retenidos en el sedimentador secundario, así como también huevos de Helmintos.



**Figura 12 Filtros de arena Norte**

### **3.1.2. Tren Sur**

El tren de tratamiento Sur se encuentra conformado por seis unidades de tratamiento, los módulos 9-12 son similares entre sí y los módulos 13 y 14 son diferentes a las primeras pero similares entre sí, dichas unidades se describen a continuación.

#### 3.1.2.1. Unidades 9-12

- Sedimentadores primarios; son de forma rectangular y se encuentran divididos operacionalmente en dos partes, la primera funciona como sedimentador y la segunda como un pretratamiento biológico, ya que cuenta con aeración por medio de difusores de burbuja fina, en donde el aire se suministra a través de sopladores de 300 HP (Figura 13).



**Figura 13 Sedimentadores primarios Sur 9-12**

Las medidas actualizadas de los sedimentadores primarios del Tren Sur se presentan en la Tabla 14.

**Tabla 14 Medidas de los sedimentadores primarios Tren Sur 9-12**

| <b>Unidad</b> | <b>Memoria de cálculo<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|--|---|
| 9-12          | 10 x 36 x 3  | 10 x 48.60 x 4.30*  |

\*4.30 m en la parte más profunda y 2.50 en la parte más baja

- Selector anóxico; el efluente de los sedimentadores pasa al selector anóxico, que al igual que en los módulos 1 a 8, se encuentra dentro del reactor de lodos activados convencional (Figura 14). Esta unidad tiene las mismas funciones que las que se describieron anteriormente.



**Figura 14 Zona de celda anóxica tren Sur**

Las medidas actualizadas de los selectores anóxicos del Tren Sur se presentan en la Tabla 15.

**Tabla 15 Medidas de los selectores anóxicos Tren Sur 9-12**

| <b>Unidad</b> | <b>Memoria de cálculo<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|--|---|
| 9-12          | 10 x 14.5 x 5  | 20 x 30 x 5   |

- Reactor biológico aerobio; una vez en la celda anóxica el licor mezclado pasa al reactor de lodos activados convencional, en el cual se inyecta aire por medio de difusores de burbuja fina (Figura 15).



**Figura 15 Reactor de lodos activados Sur 9-10**

El aire proviene de sopladores centrífugos de 300 HP. Para el caso de las unidades 9-12, los reactores constan de una celda anóxica. Las medidas actualizadas de los reactores biológicos del Tren Sur se presentan en la Tabla 16.

**Tabla 16 Medidas de los reactores biológicos Tren Sur 9-12**

| <b>Unidad</b> | <b>Memoria de cálculo<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|--|---|
| 9-12          | 10 x 74 x 5  | 8.7 x 60 x 5  |

- Sedimentador secundario; el efluente del reactor de lodos activados es enviado al sedimentador rectangular que cuenta con un sistema de rastras que envían el lodo hacia una tolva para su posterior recirculación (Figura 16).



**Figura 16 Sedimentador secundario Sur**

Las medidas actualizadas de los sedimentadores secundarios del Tren Sur se presentan en la Tabla 17.

**Tabla 17 Medidas de los sedimentadores secundarios Tren Sur 9-12**

| <b>Unidad</b> | <b>Memoria de cálculo<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|--|---|
| 9-12          | 10 x 55 x 3  | 10 x 56 x 3.35*   |

\*3.35 m en la parte más profunda y 2.75 en la parte más baja

- Filtro; la última etapa del tren Norte consta de 8 filtros de arena (dos por cada unidad) (Figura 17).



**Figura 17 Filtros de arena Sur 9-12**

Las medidas de los filtros del Tren Sur se presentan en la Tabla 18.

**Tabla 18 Medidas de los filtros Tren Sur 9-12**

| <b>Unidad</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|---|
| 17-24         | 4.90 x 10 x 3   |

### 3.1.2.2. Unidades 13 y 14

- Sedimentador primario; no cuenta con esta unidad.
- Selector anóxico; en la primera unidad de proceso de estos módulos, se encuentra el selector y representa la mitad de un reactor de lodos activados (Figura 18). Contiene un agitador hiperboloide que permite mezclar el agua residual con el lodo recirculado, así como mantener en suspensión la biomasa.



**Figura 18 Celda anóxica módulo 13 y 14**

Las medidas de los selectores anóxicos del Tren Sur se presentan en la Tabla 27.

**Tabla 19 Medidas de los selectores anóxicos Tren Sur 13-14**

| <b>Unidad</b> | <b>Memoria de cálculo<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|--|---|
| 13-14         | 20 x 40.3 x 3  | 20 x 47.6 x 3   |

- Reactor biológico; del selector anóxico, el licor mezclado pasa a la segunda parte de la unidad de proceso que es aerobia, y de ésta a un reactor de lodos activados en el cual se inyecta aire por medio de sopladores centrífugos de 300 HP (Figura 19). El aire es distribuido por medio de difusores dentro del reactor.



**Figura 19 Reactor de lodos activados Sur 13 y 14**

Las medidas de los reactores biológicos del Tren Sur se presentan en la Tabla 20.

**Tabla 20 Medidas de los reactores biológicos Tren Sur 13-14**

| <b>Unidad</b> | <b>Memoria de cálculo<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|--|---|
| 13-14         | 20 x 90 x 3.5  | 20 x 90.5 x 3.5   |

- El efluente del reactor de lodos activados es enviado al sedimentador secundario rectangular que cuenta con un sistema de extracción de lodos tipo Clari-vac que extrae el lodo sedimentado y lo deposita en una canaleta que lo conduce hacia una tolva para su posterior recirculación (Figura 20). La sección final del sedimentador cuenta con vertedores triangulares.





### Figura 20 Sedimentador secundario Sur 13 y 14

Las medidas de los sedimentadores secundarios del Tren Sur se presentan en la Tabla 21.

**Tabla 21 Medidas de los sedimentadores secundarios Tren Sur 13-14**

| <b>Unidad</b> | <b>Memoria de cálculo<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|--|---|
| 9-12          | 18.5 x 60 x 3  | 19 x 60 x 3   |

- La última etapa del tren Norte consta de 8 filtros de arena, cuatro por cada unidad (Figura 21).



**Figura 21 Filtros de arena Sur 13 y 14**

Las medidas de los filtros del Tren Sur se presentan en la Tabla 22.

**Tabla 22 Medidas de los filtros Tren Sur 13-14**

| <b>Unidad</b> | <b>Medida actual<br/>(ancho x largo x profundo)<br/>(m)</b> |
|---------------|---|
| 25-32         | 4.90 x 10 x 3   |

- El efluente de los filtros de arena de ambos trenes es enviado a un tanque de contacto para su desinfección, en el cual se emplea cloro gas (Figura 22). Las medidas del tanque de contacto de cloro son 31 x 72 x 2.95 m (largo x ancho x profundidad; la profundidad en la zona más baja es de 1.60 m).



**Figura 22 Tanque de cloración general**

Finalmente, el efluente de la PTAR Cerro de la Estrella tiene varios destinos, los cuales son:

- Los lagos de Xochimilco y Cuemanco.
- Venta a la industria.
- Venta por pipas.
- Se vicios públicos.

Por lo anterior, el agua residual tratada por la PTAR debe cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997.

### **3.1.3. Estado de las unidades de proceso**

Las unidades 2, 3 y 7 se encontraban fuera de operación (sin alimentación).

#### **3.1.3.1. Sedimentadores primarios**

En general los sedimentadores primarios no operan adecuadamente, esto por falta de los motorreductores para operar las rastras. Solamente el sedimentador 1 se encontraba operando normalmente. Se pudo observar en el recorrido que no se purgan los sedimentadores primarios, razón por la cual se observa la presencia de sólidos acumulados, natas, y zonas anaerobias que generan burbujeo. Por otro lado, la acumulación de sólidos dentro de los sedimentadores ha propiciado el desarrollo de vectores y el

crecimiento de vegetación. En la Figura 23 se muestra el estado de los sedimentadores primarios del Tren Norte y Sur.



Falta mantenimiento en vertedores



Falta de motoreductores



Crecimiento de vegetación



Natas y burbujeo



Sólidos y vegetación



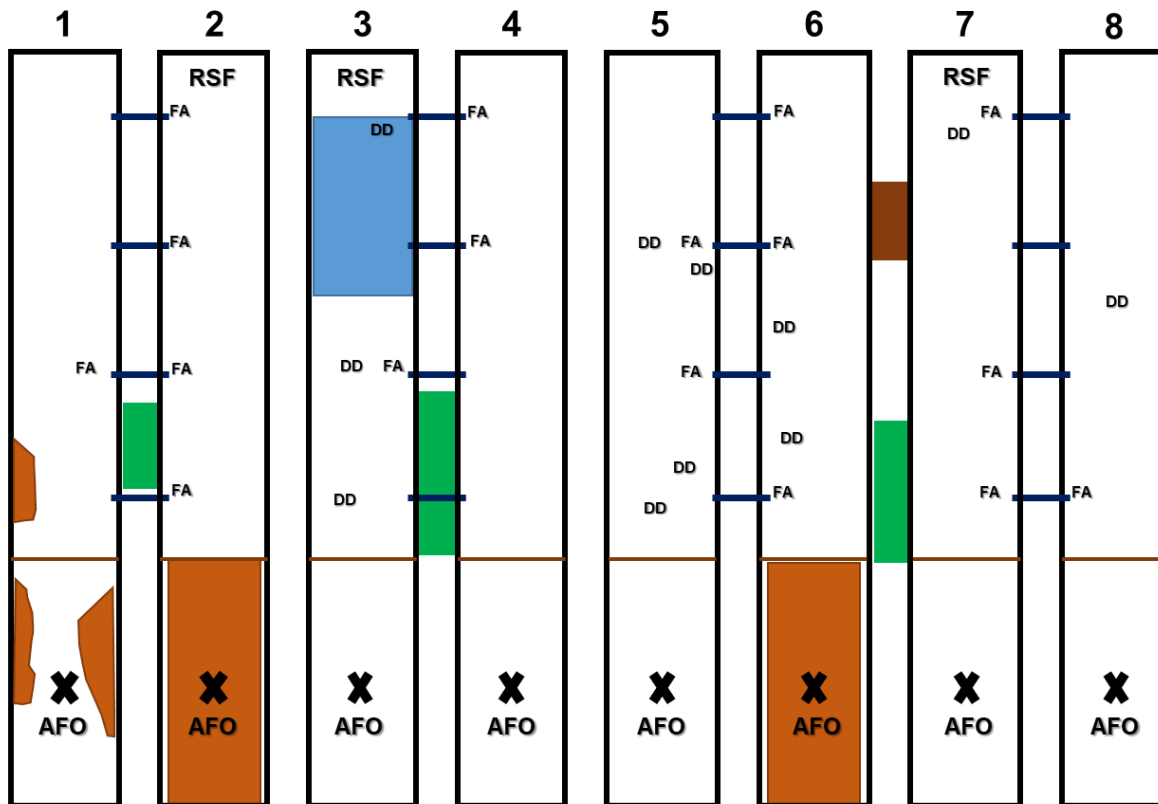
Sólidos acumulados

**Figura 23 Estado de sedimentadores primarios**

### 3.1.3.2. Reactores biológicos

A continuación, se realiza una descripción general del estado físico que muestran los 14 reactores biológicos. Para esto, se toma como referencia de la Figura 24 a la Figura 26, que muestran esquemáticamente la situación de las 14 unidades y posteriormente el registro fotográfico que muestra las condiciones referidas (Figura 27 a Figura 33). Los reactores 13 y 14 se encontraron fuera de operación (sin alimentación, solo manteniendo la aireación y agua dentro de los mismos)

## SECCIÓN NORTE



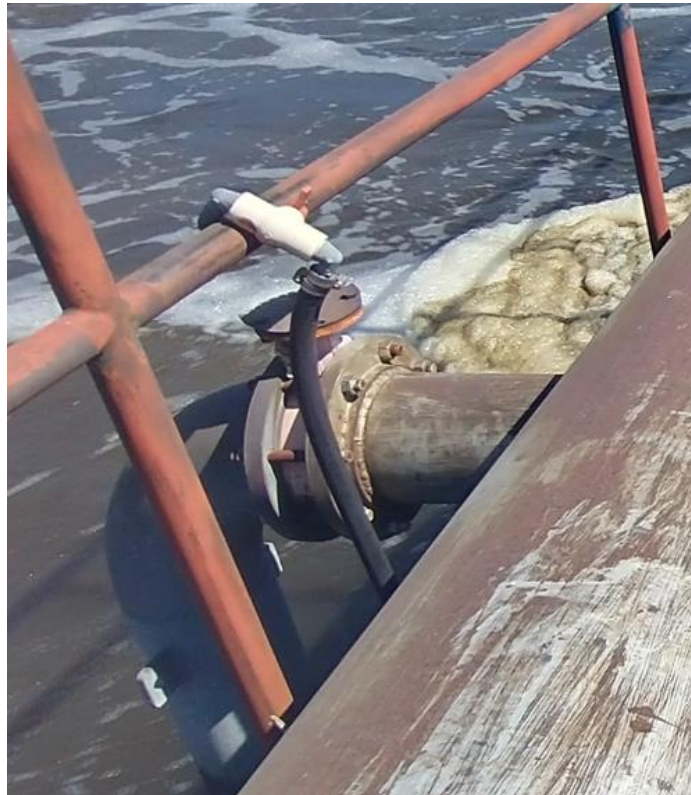
FA: Fuga de aire  
 DD: Difusor dañado  
 AFO: Agitador fuera de operación  
 RFO: Reactor sin flujo  
 Natas  
 Zona sin aire  
 Fuga de lodo  
 Presencia de maleza

**Figura 24 Reactores biológicos Tren Norte**

Los agitadores, que están en la zona anóxica, de los ocho reactores del tren Norte están fuera de operación.

En el reactor 1, 2 y 6, se presentan natas en la zona anóxica.

Todos los reactores tienen cuatro cabezales de entrada de aire, y cada uno cuenta con una manguera para purga de condensados (Figura 25), sin embargo, está mal instalada, ya que debería estar al final del cabezal no al inicio, para que el aire arrastre el agua condensada.



**Figura 25 Manguera de purga de condensados**

Por otra parte, todas las fugas de aire que se observaron son causadas porque la manguera está rota o porque ya no existe.

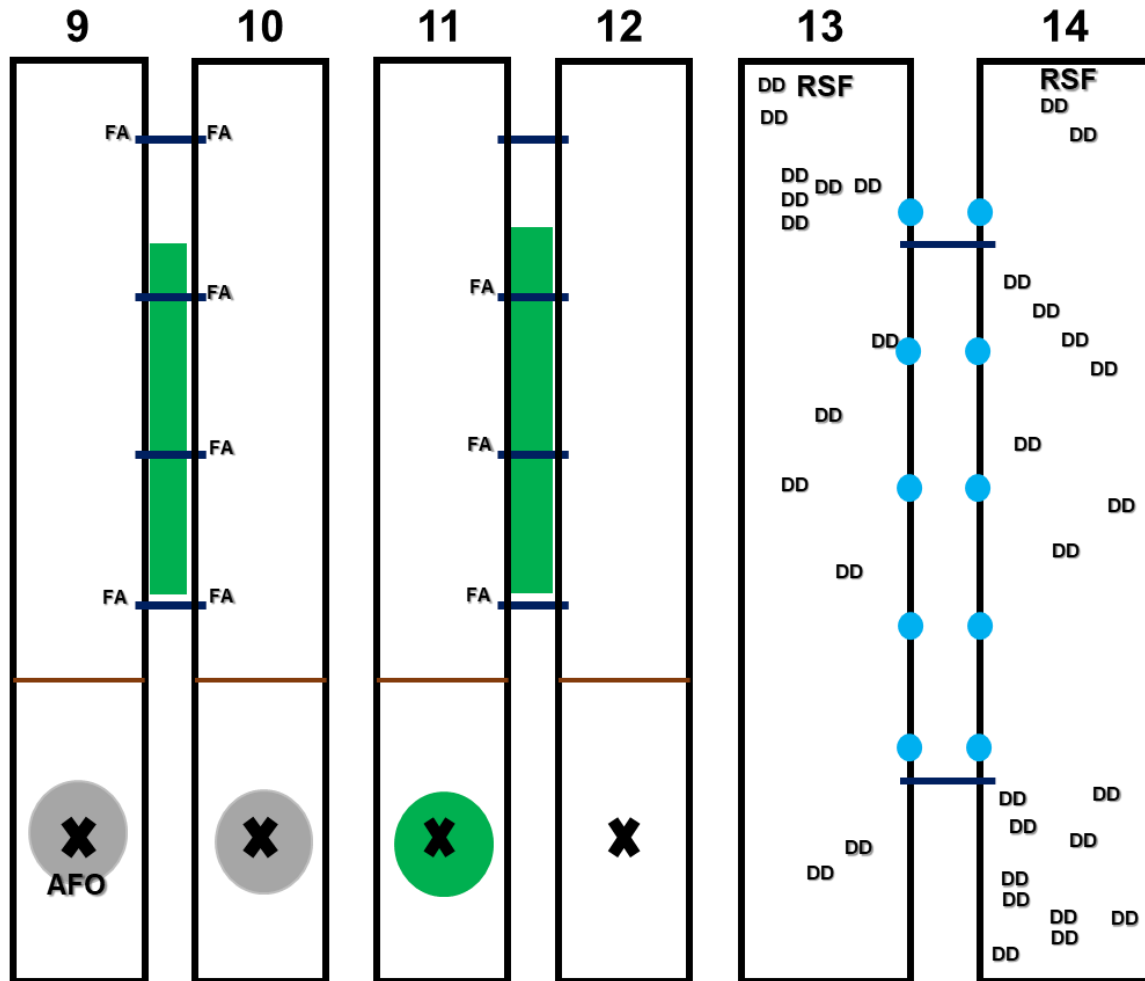
En el reactor 3 en la última parte de no se observa aeración.

Se observa en la superficie de los reactores 3, 5, 6, 7 y 8 difusores dañados.

Entre los reactores 1 y 2, 3 y 4, y 6 y 7, se observa crecimiento de vegetación.

Además, entre el pasillo de los reactores biológicos 6 y 7 se observa una fuga de lodo de recirculación.

## SECCIÓN SUR



FA: Fuga de aire

DD: Difusor dañado

AFO: Agitador fuera de operación

RFO: Reactor sin flujo

● Medidor de oxígeno disuelto

■ Presencia de maleza

**Figura 26 Reactores biológicos Tren Sur**



Reactor 1. Presencia de natas



Reactor 2. Presencia de nata espesa



Reactor 2, Fuga de aire



Reactor 2. Fuga de aire

**Figura 27 Registro fotográfico de reactores (Parte 1)**





Reactor 4 y 3



Entre Reactor 4 y 3. Presencia de  
vegetación



Reactor 3. Zona sin aeración



Reactor 3. Difusor dañado



Reactor 4. Fuga de aire



Reactor 5. Fuga de aire

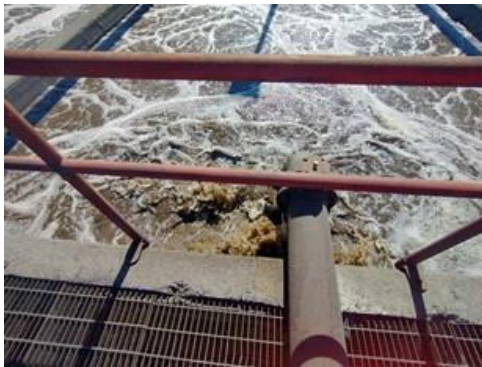
**Figura 28 Registro fotográfico de reactores (Parte 2)**



Entre Reactor 5 y 6. Presencia de vegetación



Reactor 6. Presencia de nata



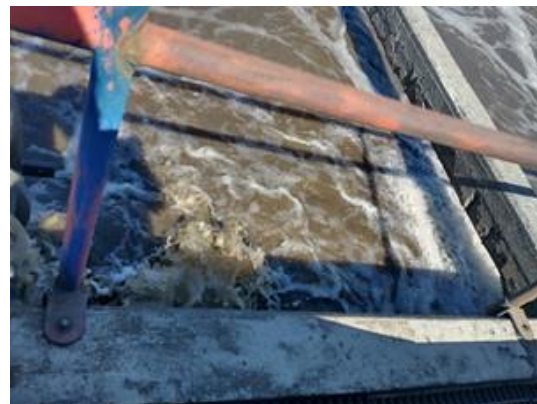
Reactor 6. Fuga de aire



Entre Reactor 6 y 7. Fuga de lodo

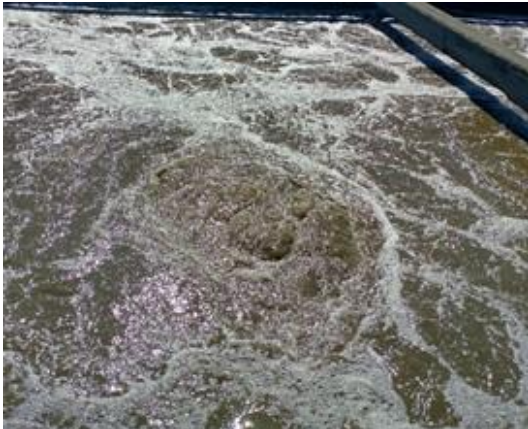


Reactor 7. Fuga de aire



Reactor 7 Fuga de aire

**Figura 29 Registro fotográfico de reactores (Parte 3)**



Reactor 8. Difusor dañado



Reactor 8. Difusor dañado



Reactor 8. Presencia de natas



Reactor 9. Presencia de basura

**Figura 30 Registro fotográfico de reactores (Parte 4)**



Entre Reactor 10 y 9. Presencia de vegetación



Reactor 10. Presencia de basura



Reactor 10. Fuga de aire



Reactor 11. Presencia de basura



Reactor 11. Fuga de aire



Reactor 11. Fuga de aire

**Figura 31 Registro fotográfico de reactores (Parte 5)**



Reactor 11. Fuga de aire



Entre Reactor 11 y 12. Presencia de  
vegetación



Entre Reactor 11 y 12. Falta de  
rejillas



Reactor 12. Presencia de vegetación

**Figura 32 Registro fotográfico de reactores (Parte 6)**



Reactor 13. Fuga de aire



Reactor 13. Difusores dañados



Reactor 14. Difusores dañados



Medidor de Oxígeno disuelto



Vista general de los sensores de oxígeno disuelto  
**Figura 33 Registro fotográfico de reactores (Parte 7)**

### 3.1.3.3. Sedimentadores secundarios

Los sedimentadores secundarios en general se encuentran en buen estado, sin embargo, falta mantenimiento a la zona de vertedores, pues se puede observar en algunas zonas la proliferación de algas, así como un poco de lodo flotante, lo que significa que no se han purgado adecuadamente los sistemas (Figura 34).



Algas



Algas



Sólidos



Zona de vertedores

**Figura 34 Estado de sedimentadores secundarios**

### 3.1.3.4. Filtros

En el caso de los filtros, estos se encuentran fuera de operación, por lo que el agua es enviada directamente de la salida del sedimentador secundario al clorador. Se observó proliferación de algas en los filtros, así como falta de limpieza y mantenimiento. Algunos de los filtros fueron modificados para operar como humedales, para ello se sembró tule, sin embargo, se dejó crecer sin medida la vegetación (Figura 35).



Algas



Algas



Vegetación



Vegetación

**Figura 35 Estado de los filtros**

### 3.1.3.5. Tanque de contacto de cloro

Se encontró que el sistema de cloración se encontraba fuera de operación, por lo que el agua del efluente no se clora. Se observó falta de mantenimiento en el tanque de contacto de cloro, razón por la cual existe crecimiento de algas.





**Figura 36 Estado de sedimentadores secundarios**

### ***3.1.4. Estado físico de las instalaciones de la PTAR***

El estado físico que guarda la planta con respecto a las estructuras metálicas (pasillos y barandales) es malo ya que estas se encuentran, en su mayoría corroídas, lo que representa un problema de seguridad para los trabajadores y visitantes (Figura 37).



### **Figura 37 Estado físico de las estructuras metálicas de la PTAR**

El estado de la obra civil de la PTAR está deteriorado por la antigüedad de la misma y la falta de mantenimiento (Figura 38).



**Figura 38 Estado de la obra civil de la PTAR**

Existen zonas en la planta en las que hacen falta tapas, ya sea de registros de cableado o de agua en tratamiento (Figura 39).



**Figura 39 Falta de tapas de registros**

### 3.1.5. Equipos electromecánicos

Se realizó el levantamiento de los equipos electromecánicos de la PTAR Cerro de la Estrella. La mayoría de los equipos se encuentran fuera de servicio, además hay muchos equipos que ya no se utilizan y no han sido dispuestos en un lugar adecuado (Figura 40).



**Figura 40 Equipos electromecánicos fuera de servicio**

Además, muchas de las etiquetas de los equipos ya no son legibles, por lo que se desconocen sus características específicas (Figura 41).



**Figura 41 Etiquetas en equipos electromecánicos**

Con respecto a los equipos que se encuentran en operación, requieren de mantenimiento (Figura 42).



**Figura 42 Equipos electromecánicos en funcionamiento**

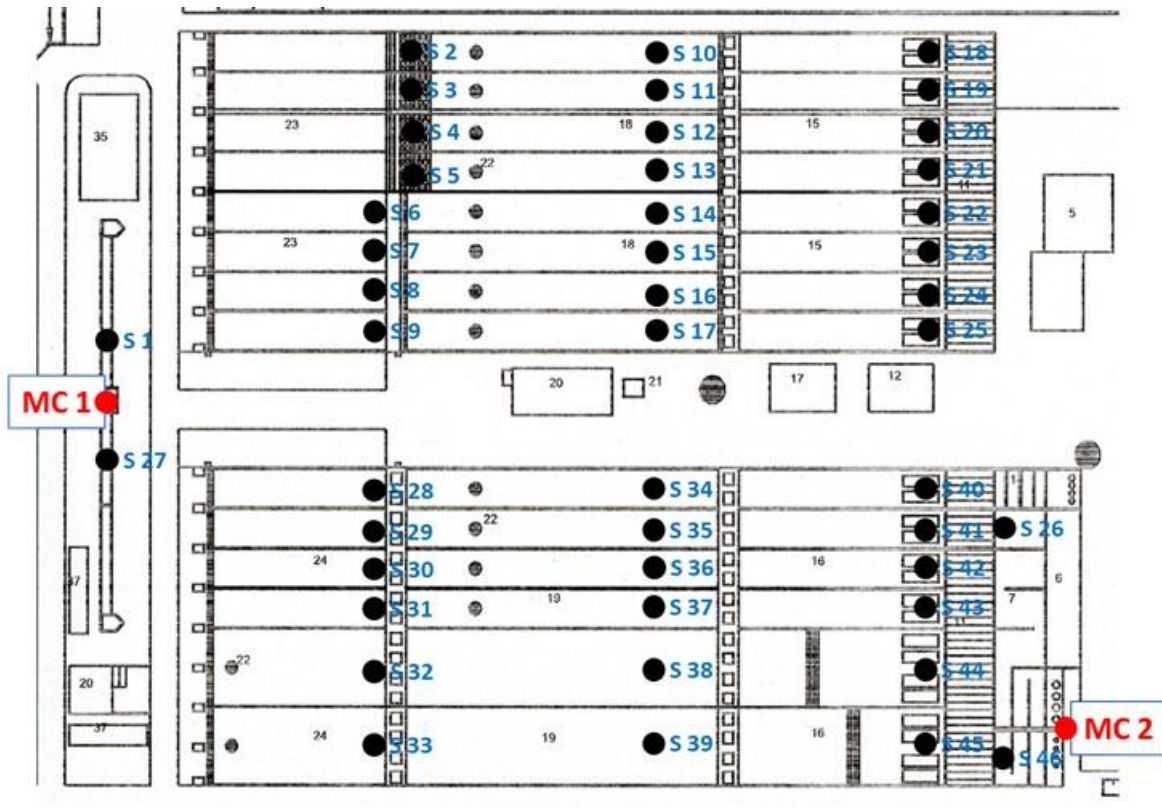
El estado físico de los equipos electromecánicos es malo y la obra civil en donde se resguardan requiere mantenimiento (Figura 43).



**Figura 43 Estado físico de los equipos electromecánicos y la obra civil**

### 3.2. Muestreo y calidad del agua residual

Para realizar el muestreo del agua residual en la PTAR se realizó inicialmente un recorrido a las instalaciones con personal de la planta, con la finalidad de seleccionar los puntos de muestreo más adecuados y seguros. Los puntos de muestreo seleccionados se muestran en la Figura 44.



**Figura 44 Puntos de muestreo**

En la Tabla 23 se muestran los parámetros evaluados en cada punto, los cuales se seleccionaron de acuerdo con los parámetros de diseño de cada unidad de proceso de la PTAR. El muestreo fue realizado por el Laboratorio de Calidad del Agua, del IMTA, el cual es un laboratorio acreditado ante la EMA y la Conagua.

**Tabla 23 Parámetros evaluados**

| Parámetros                        | Descripción             | Influente PTAR | Efluente PTAR | Influent e Sed. primarios Norte | Efluente sed. primarios Norte | Reactor biológico Norte | Efluent e Sed. Sec. Norte | Influent e sed. primarios Sur | Efluente Sed. primarios Sur | Reactor biológico Sur | Efluent e Sed. Sec. Sur |
|-----------------------------------|-------------------------|----------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|
|                                   | No. de muestras         | 1              | 1             | 1                               | 8                             | 8                       | 9                         | 1                             | 6                           | 6                     | 5                       |
| <b>NOM-001-SEMARNAT-1996</b>      | <b>pH</b>               |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
|                                   | <b>Temp</b>             |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
|                                   | <b>Materia flotante</b> |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
|                                   | <b>Sól. Sed.</b>        |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
|                                   | <b>GyA</b>              |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
|                                   | <b>SST</b>              |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
|                                   | <b>DBO</b>              |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
|                                   | <b>NT</b>               |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
|                                   | <b>PT</b>               |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
|                                   | <b>Metales</b>          |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
|                                   | <b>HH</b>               |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
| <b>CF</b>                         |                         |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
| <b>PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017</b> | <b>DQO</b>              |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
|                                   | <b>Toxicidad aguda</b>  |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |
|                                   | <b>Color verdadero</b>  |                |               |                                 |                               |                         |                           |                               |                             |                       |                         |

| <b>Parámetros</b>       | <b>Descripción</b>     | <b>Influente PTAR</b>       | <b>Efluente PTAR</b>        | <b>Influyente Sed. primarios Norte</b> | <b>Efluente sed. primarios Norte</b> | <b>Reactor biológico o Norte</b> | <b>Efluente Sed. Sec. Norte</b> | <b>Influyente sed. primarios Sur</b> | <b>Efluente Sed. primarios Sur</b> | <b>Reactor biológico o Sur</b> | <b>Efluente Sed. Sec. Sur</b> |
|-------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                         | <b>No. de muestras</b> | 1                           | 1                           | 1                                      | 8                                    | 8                                | 9                               | 1                                    | 6                                  | 6                              | 5                             |
|                         | <b>E. coli</b>         |                             |                             |  |                                      |                                  |                                 |                                      |                                    |                                |                               |
| <b>Otros</b>            | <b>NTK</b>             |                             |                             |  |                                      |                                  |                                 |                                      |                                    |                                |                               |
|                         | <b>NH3</b>             |                             |                             |  |                                      |                                  |                                 |                                      |                                    |                                |                               |
|                         | <b>Norg</b>            |                             |                             |  |                                      |                                  |                                 |                                      |                                    |                                |                               |
|                         | <b>SSV</b>             |                             |                             |  |                                      |                                  |                                 |                                      |                                    |                                |                               |
| <b>Tipo de muestreo</b> |                        | Compuesto, 24 h, 6 muestras | Compuesto, 24 h, 6 muestras | Muestra o simple                       | Muestra o simple                     | Muestra o simple                 | Muestra o simple                | Muestra o simple                     | Muestra o simple                   | Muestra o simple               | Muestra o simple              |

Además de los análisis por el laboratorio certificado, se realizaron determinaciones de sedimentabilidad, pH, oxígeno disuelto y manto de lodos en campo.

### **3.2.1. Resultados del muestreo compuesto**

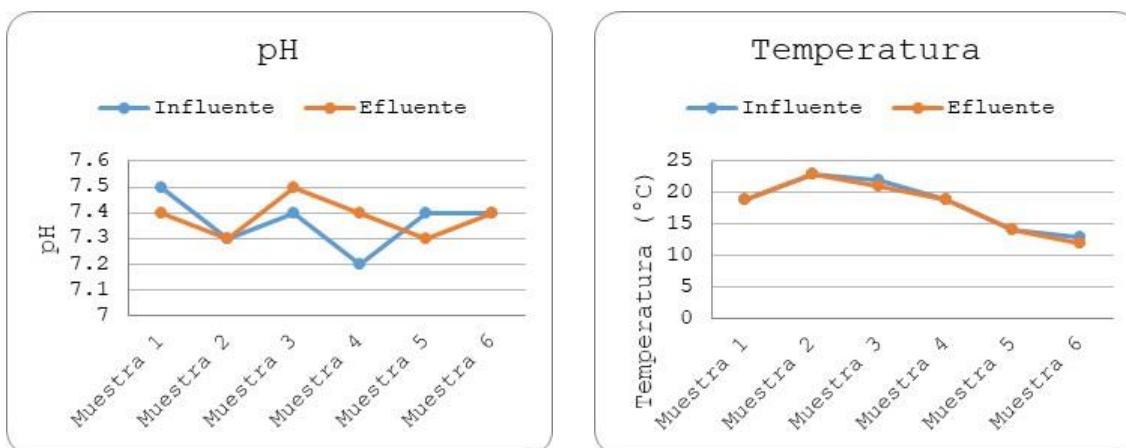
A continuación, se presentan los resultados de los análisis del laboratorio certificado que se realizaron durante la evaluación a la PTAR.

El caudal de la PTAR durante el muestreo fue de 734.9 L/s, valor por debajo del reportado en el año 2019, que fue de 1,100 a 1,500 L/s. Esto se debe a una ruptura del emisor que conduce al agua residual a la PTAR, de acuerdo con información del personal. Por lo anterior, actualmente la planta opera al 24.5% de su capacidad, que es de 3,000 L/s, por lo que, ésta se encuentra subutilizada.

El pH, tanto en el influente como en el efluente, está en un rango de 7.2 a 7.5, los cuales son valores favorables para los sistemas biológicos, y se encuentran dentro de los límites de la norma para su descarga. Por lo que, el efluente cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

Con respecto a la temperatura, los valores tanto del influente como del efluente son muy similares, con un ligero incremento en la segunda toma de muestra la cual se realizó a las 13 h y una posterior disminución de la misma por las condiciones ambientales, teniendo valores menores a 15°C durante las últimas tomas de muestra (1 y 5 am) (Figura 45). Por lo que, el efluente cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

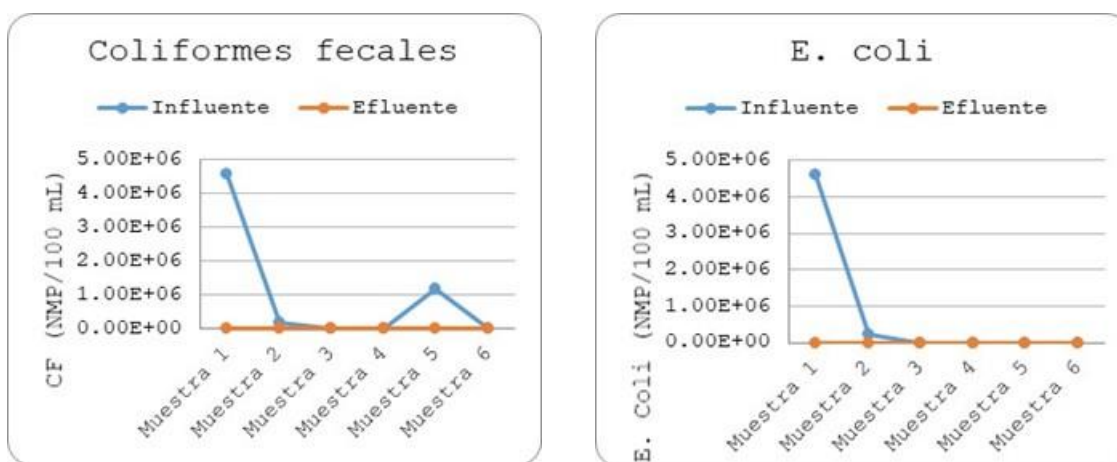




**Figura 45 Parámetros de campo de muestra compuesta**

En la Figura 46 se presentan las concentraciones de coliformes fecales y *E. coli* encontradas en el influente y en el efluente de la PTAR Cerro de la Estrella. Para estos parámetros las concentraciones en el influente fueron mayores a 2 unidades logarítmicas, mientras que en el efluente las concentraciones en la mayor parte de las muestras fueron menores a una unidad logarítmica, lo cual indica que los microorganismos están siendo removidos en el sistema de tratamiento. Por lo que, el efluente cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

En este punto, es necesario comentar que la planta, al momento del muestreo, no contaba con cloro para realizar la desinfección del agua residual tratada.



**Figura 46 Coliformes fecales y *E. coli* de muestra compuesta**

Con relación a los resultados obtenidos de los seis análisis puntuales de grasas y aceites, se concluye que el agua residual no sobrepasa los 50 mg/L.

Además, en el efluente está por debajo de los 8.56 mg/L. Por lo que, el efluente cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

Los sólidos sedimentables están por debajo de 1 ml//L, por lo que cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996.

En la Tabla 24 se muestran los resultados del muestreo compuesto.

**Tabla 24 Resultados de laboratorio de muestra compuesta**

| Parámetro                                 | Muestra compuesta |            | NOM-003-SERMANAT-1997<br>PM Servicios al público con contacto directo | NOM-001-SERMANAT-1996<br>PM Descarga a embalses naturales y artificiales. Uso público urbano | NOM-001-SERMANAT-2021<br>PM Descarga a embalses, lagos y lagunas |
|---|-------------------|------------|---|--|--|
|   | Influente         | Efluente   |   |  |  |
| pH V.I                                    | 7.2 - 7.5         | 7.3 - 7.5  | -   | 5-10   | 6 - 9  |
| Temperatura (°C) V.I.                     | 13 - 23           | 12 -23     | -   | 40   | 35   |
| G y A (mg/L) V.I.                         | 18.0 - 44.5       | <8.56      | 15  | 25   | 18   |
| Materia flotante                          | Ausente           | Ausente    | -   | Ausente  | -  |
| Sol. Sed. (mL/L)                          | <0.1              | <0.1       | -   | 2  | -  |
| SST (mg/L)                                | 53.7              | <3.17      | 20  | 60   | 24   |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)                   | 71                | 26         | 20  | 60   | -  |
| NT (mg/L)                                 | 39.3              | 14.7       | -   | 25   | 25   |
| PT (mg/L)                                 | 5.4               | 1.79       | -   | 10   | 10   |
| CF (NMP/100 ml)                           | 700 - 4.6E6       | <3 - 1,200 | 240   | 1,000  | -  |
| <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml) V.I. | 700 - 4.6E6       | <3 - 15    | -   | -  | 500  |
| HH (NMP/100 mL)                           | Cero              | Cero       | >1  | 1  | N.A.   |
| DQO (mg/L)                                | 262               | 53         | -   | -  | 120  |
| Color                                     | A 436 nm          | 2.1        | 1.4   | -  | 7 m <sup>-1</sup>  |
|   | A 525 nm          | 1.1        | 0.6   | -  | 5 m <sup>-1</sup>  |
|   | A 620 nm          | 0.6        | 0.4   | -  | 3 m <sup>-1</sup>  |
|   | al pH             | 8.47       | 8.61  | -  | -  |
| Arsénico (mg/L)                           | 0.0053            | 0.005      | 0.4   | 0.2  | 0.15   |
| Cadmio (mg/L)                             | <0.030            | <0.030     | 0.4   | 0.2  | 0.15   |
| Cianuros (mg/L)                           | -                 | -          | 3   | 2  | 1.5  |
| Cobre (mg/L)                              | <0.050            | <0.050     | 6   | 6  | 5  |
| Cromo (mg/L)                              | <0.10             | <0.10      | 1.5   | 1  | 0.75   |
| Mercurio (mg/L)                           | <0.0005           | <0.0005    | 0.02  | 0.01   | 0.008  |
| Níquel (mg/L)                             | <0.10             | <0.10      | 4   | 4  | 3  |

| Parámetro    | Muestra compuesta |          | NOM-003-SERMANAT-1997<br>PM Servicios al público con contacto directo | NOM-001-SERMANAT-1996<br>PM Descarga a embalses naturales y artificiales. Uso público urbano | NOM-001-SERMANAT-2021<br>PM Descarga a embalses, lagos y lagunas |
|--------------|-------------------|----------|---|--|--|
|              | Influyente        | Efluente |   |  |  |
| Plomo (mg/L) | <0.10             | <0.10    | 1   | 0.4  | 0.3  |
| Zinc (mg/L)  | <0.10             | <0.10    | 20  | 20   | 15   |

V.I. Valor instantáneo

N.A. No aplica

Al igual que las grasas y aceites, prácticamente el efluente no contiene sólidos suspendidos totales, ya que estos están en 53.7 mg/L, cuando la PTAR se diseñó para 180 mg/L. Por lo que el efluente tiene una concentración menor a 3.17 mg/L, por lo que cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

En relación a los nutrientes, nitrógeno y fósforo, sus concentraciones en el efluente no representan ningún problema, por lo que cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

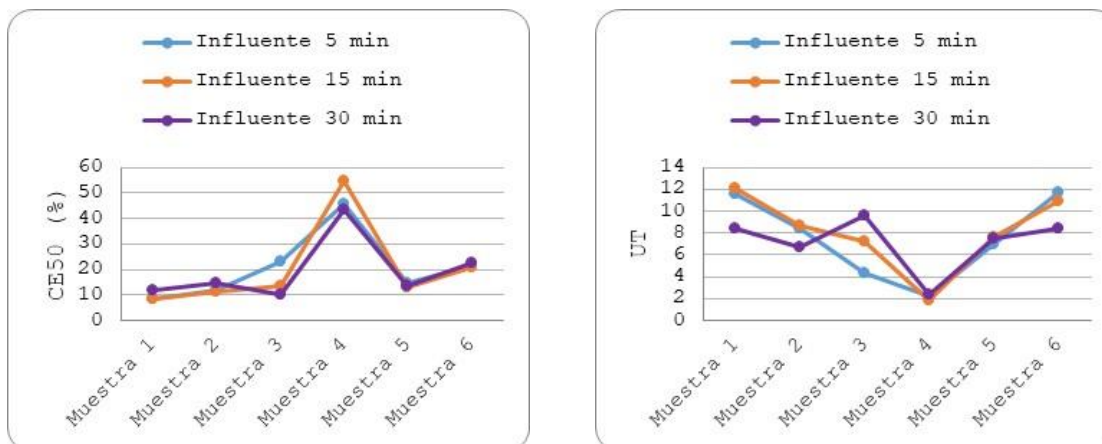
La concentración de materia orgánica en el influente medida como DBO fue de 71 mg/L y como DQO de 253 mg/L, concentraciones por debajo de lo establecido en el diseño de la PTAR, 217 y 401.5 mg/L, respectivamente. Sin embargo, contrario a los datos históricos la relación DBO/DQO es de 0.28, lo que indica que se tiene materia orgánica poco biodegradable, predominando posiblemente la descarga industrial. Se considera que un agua residual municipal tiene una relación DBO/DQO de 0.3 a 0.8, y si ésta es superior a 0.5 se considera fácilmente biodegradable, pero si está por debajo de 0.3, el agua residual puede tener componentes tóxicos o industriales (Metcalf & Eddy, 2003, pag.97).

Por otra parte, al presentarse concentraciones bajas en la entrada y aunadas al bajo caudal, esto permite obtener en el efluente 26 y 53 mg/L para DBO y DQO. Por lo que, éste cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

En el agua residual tratada no existe presencia de color ya que el análisis a las diferentes longitudes de onda proporcionaron valores muy bajos, por lo que este parámetro cumple con la NOM-001-SEMARNAT-2021.

La concentración de metales tanto en el influente como en el efluente se encuentra por debajo de los límites de la norma. Por lo que, el efluente cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

La toxicidad en el influente de la PTAR presenta valores significativos por arriba de 2 UT, sin embargo, en el efluente la toxicidad ya no es detectada, lo que significa que el sistema de tratamiento remueve los compuestos que están provocando la presencia de este parámetro (Figura 47).



**Figura 47 Toxicidad aguda (*Vibrio fischeri*) de muestra compuesta**

### 3.2.2. Resultados de muestreo simple

A continuación, en la Tabla 25, Tabla 26, Tabla 27 y en la Tabla 28 se presentan los resultados de los muestreos simples realizados en cada uno de los trenes de tratamiento. Se debe considerar que el efluente general se divide en dos corrientes, una va al lado norte y otra al sur. Por lo que se tomó una muestra simple en cada una de estas corrientes, por lo que se reporta el mismo valor de entrada en todos los trenes de tratamiento (Influente G). En este sentido, también se tomó una sola muestra a la salida de cada corriente general, por lo que también se reporta un solo valor general (Efluente G).

**Tabla 25 pH entrada y salida por tren de tratamiento**

| Tren | SST         |             |             |            |
|------|-------------|-------------|-------------|------------|
|      | Influente G | Efluente SP | Efluente SS | Efluente G |
| 1    | 7.4         | 7.1         | 7.3         | 7.3        |
| 2    | F.O.        |             |             |            |
| 3    | F.O.        |             |             |            |
| 4    | 7.4         | 7.1         | 7.2         | 7.3        |
| 5    | 7.4         | 7.2         | 7.0         | 7.3        |
| 6    | 7.4         | 7.1         | 6.9         | 7.3        |

| Tren | SST             |                |                |               |
|------|-----------------|----------------|----------------|---------------|
|      | Influyente<br>G | Efluente<br>SP | Efluente<br>SS | Efluente<br>G |
| 7    | F.O.            |                |                |               |
| 8    | 7.4             | 7.1            | 7.0            | 7.3           |
| 9    | 7.5             | 7.2            | 7.3            | 7.3           |
| 10   | 7.5             | 7.3            | 7.3            | 7.3           |
| 11   | 7.5             | 7.4            | 7.4            | 7.3           |
| 12   | 7.5             | 7.4            | 7.2            | 7.3           |
| 13   | F.O.            |                |                |               |
| 14   | F.O.            |                |                |               |

En términos generales se observa un descenso de pH después de los sedimentadores primarios, esto es debido a las condiciones anaerobias que producen ácido sulfhídrico, sin embargo, después de los sedimentadores secundarios en los trenes 1, 4, 9, 10, y 11 aumenta ligeramente, lo que puede indicar un predominio del proceso de desnitrificación, pero en los trenes 5, 6, 8 y 12 disminuye, lo que sugiere un predominio del proceso de nitrificación. Por otra parte, este parámetro cumple con lo estipulado por la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

**Tabla 26 SST entrada y salida por tren de tratamiento**

| Tren | SST             |                |                |               |
|------|-----------------|----------------|----------------|---------------|
|      | Influyente<br>G | Efluente<br>SP | Efluente<br>SS | Efluente<br>G |
| 1    | 67              | 30             | 3.6            | 4             |
| 2    | F.O.            |                |                |               |
| 3    | F.O.            |                |                |               |
| 4    | 67              | 48             | 4.2            | 4             |
| 5    | 67              | 44             | 4.4            | 4             |
| 6    | 67              | 64             | 5.0            | 4             |
| 7    | F.O.            |                |                |               |
| 8    | 67              | 66             | 13.0           | 4             |
| 9    | 63              | 59             | <3.17          | 8.5           |
| 10   | 63              | 70             | 18.5           | 8.5           |
| 11   | 63              | 83             | 8.0            | 8.5           |
| 12   | 63              | 77             | 7.0            | 8.5           |
| 13   | F.O.            |                |                |               |
| 14   | F.O.            |                |                |               |

En relación a la remoción de SST por parte de los sedimentadores primarios el tren 1 tiene una eficiencia del 55%, el 5 del 34% y el 4 del 28% (la literatura cita que la eficiencia es del 60%). Los sedimentadores primarios de los trenes 6, 8 y 9, prácticamente no remueven nada, pero en los de los trenes 10, 11 y 12 salen más de los que entran. Esto puede ser un indicativo de posibles cortos circuitos que generan corrientes preferenciales evitando así la sedimentación de los sólidos. Sin embargo, la operación de los sedimentadores secundarios es muy eficiente, por lo que se contrarresta la mala eficiencia de los primarios, ya que la concentración de SST en su mayoría está por debajo de los 10 mg/L, a excepción del tren 8 y 10. En este caso los SST cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

**Tabla 27 DBO y DQO entrada y salida por tren de tratamiento**

| Tren | DBO             |             |             |               | DQO             |          |          |               |
|------|-----------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|----------|----------|---------------|
|      | Influyente<br>G | Eflu.<br>SP | Eflu.<br>SS | Efluente<br>G | Influyente<br>G | Eflu. SP | Eflu. SS | Efluente<br>G |
| 1    | 104             | 94          | <1          | <1            | 476             | 229      | 32.9     | 50.6          |
| 2    | F.O.            |             |             |               |                 |          |          |               |
| 3    | F.O.            |             |             |               |                 |          |          |               |
| 4    | 104             | 94          | <1          | <1            | 476             | 348      | 38.9     | 50.6          |
| 5    | 104             | 89          | 1.9         | <1            | 476             | 338      | 14.2     | 50.6          |
| 6    | 104             | 100         | <1          | <1            | 476             | 378      | 61.8     | 50.6          |
| 7    | F.O.            |             |             |               |                 |          |          |               |
| 8    | 104             | 102         | 1.2         | <1            | 476             | 283      | 75.7     | 50.6          |
| 9    | 85              | 109         | <1          | <1            | 474             | 353      | 50.6     | 50.9          |
| 10   | 85              | 82          | <1          | <1            | 474             | 317      | 47.3     | 50.9          |
| 11   | 85              | 64          | <1          | <1            | 474             | 330      | 42.6     | 50.9          |
| 12   | 85              | 83          | 1.7         | <1            | 474             | 358      | 45.0     | 50.9          |
| 13   | F.O.            |             |             |               |                 |          |          |               |
| 14   | F.O.            |             |             |               |                 |          |          |               |

Tomando en cuenta que los SST prácticamente no son removidos en los sedimentadores primarios, entonces sucede lo mismo con la DBO, por lo que esto sugiere que se encuentra particulada en su mayoría. Pero los reactores biológicos trabajan adecuadamente, ya que, a la salida del sedimentador secundario y el efluente general, reportan una concentración menor a 1 mg/L. Por lo que se cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Para la DQO, a diferencia de los parámetros anteriores, existe una remoción del 21 al 52%, para la parte norte y del 24 al 33% en la sur. Sin embargo, la mayoría de la remoción ocurre en los reactores biológicos, destacando el tren 5, en donde se obtuvo 14 mg/L de DQO, lo que contrasta con el 6 y 8,

en donde la concentración fue de 61.8 y 75.7 mg/L respectivamente. Esto hace suponer que los trenes de la parte norte no operan igual. Caso contrario ocurre en la parte sur, ya que la variación entre los 4 trenes en operación es entre 42.6 y 50.6 mg/L. Finalmente, en los efluentes generales de ambas zonas de la PTAR, la concentración de DQO es de 50.6 y 50.9 mg/L, parte norte y sur, respectivamente. Por lo anterior se cumple con la NOM-001-SEMARNAT-2021.

**Tabla 28 NT y PT entrada y salida por tren de tratamiento**

| Tren | Nitrógeno total |          |            | Fósforo total |          |            |
|------|-----------------|----------|------------|---------------|----------|------------|
|      | Influente G     | Eflu. SS | Efluente G | Influente G   | Eflu. SS | Efluente G |
| 1    | 38.8            | 22.8     | 27.1       | 6.13          | 3.4      | 1.8        |
| 2    | F.O.            |          |            |               |          |            |
| 3    | F.O.            |          |            |               |          |            |
| 4    | 38.8            | 34.7     | 27.1       | 6.13          | 5.2      | 1.8        |
| 5    | 38.8            | 21.0     | 27.1       | 6.13          | 2.6      | 1.8        |
| 6    | 38.8            | 21.8     | 27.1       | 6.13          | 2.6      | 1.8        |
| 7    | F.O.            |          |            |               |          |            |
| 8    | 38.8            | 24.9     | 27.1       | 6.13          | 3.5      | 1.8        |
| 9    | 40.3            | 32.3     | 25.9       | 4.16          | <0.3     | 2.0        |
| 10   | 40.3            | 28.8     | 25.9       | 4.16          | <0.3     | 2.0        |
| 11   | 40.3            | 33.3     | 25.9       | 4.16          | 0.3      | 2.0        |
| 12   | 40.3            | 31.1     | 25.9       | 4.16          | <0.3     | 2.0        |
| 13   | F.O.            |          |            |               |          |            |
| 14   | F.O.            |          |            |               |          |            |

Para el caso del nitrógeno, cabe recordar que se cuenta con un selector anóxico, en el que se remueve este elemento, pero cierta cantidad de éste será utilizado para la formación de nuevas bacterias.

Los trenes 5 y 6 remueven nitrógeno en un 46%, la eficiencia más alta, valores cercanos son obtenidos por 1 y 8, mientras que el 4 solo alcanzó una remoción del 10%. En el lado sur la mejor eficiencia fue del 28%, tren 10, y la más baja fue del tren 11 con un 17%.

Lo anterior, muestra que los trenes 1, 5, 6 y 8, están removiendo nitrógeno a través de los selectores, y los trenes restantes no. Sin embargo, los dos efluentes generales se quedan muy cerca de cumplir con el LMP que es de 25 mg/L establecidos en las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021.

El fósforo, en un proceso de lodos activados de sistema convencional, solo será removido a través de su demanda para la formación de nuevos microorganismos, y como se observa en la Tabla 28, existe un consumo de este elemento en todos los reactores biológicos. Por lo que, las

concentraciones de fósforo en los efluentes generales se encuentran alrededor de los 2 mg/L, por lo que se cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

Finalmente, en la Tabla 29 se hace una comparación entre los datos de diseño y los resultados obtenidos por el muestreo compuesto y el simple.

**Tabla 29 Calidad del agua diseño, muestra compuesta y simple**

| Parámetro                            | Efluente            |                    |                 |
|--------------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------|
|                                      | Diseño              | Muestreo compuesto | Muestreo simple |
| pH                                   | 6.5 -8.5            | 7.3 - 7.5          | 7.3             |
| Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) | 20                  | 26                 | < 1.0           |
| Demanda química de oxígeno (mg/L)    | 60                  | 53                 | 50.6 - 50.9     |
| Nitrógeno amoniacal (mg/L)           | 20                  |                    | 12.0 - 12.6     |
| Nitrógeno total Kjeldalh (mg/L)      |                     |                    | 13.8 - 14.4     |
| Nitrógeno orgánico (mg/L)            |                     |                    | 1.8             |
| Nitrógeno total (mg/L)               | 40                  | 14.7               | 25.9 - 27.1     |
| Fósforo total (mg/L)                 | 10                  | 1.79               | 1.83 - 1.96     |
| Sólidos suspendidos totales (mg/L)   | 20                  | <3.17              | 4 - 8.5         |
| Sólidos sedimentables (ml/L)         | <1                  | <0.1               |                 |
| Coliformes fecales NMP/100 ml        | 1.0X10 <sup>3</sup> | <3 - 1,200         | <3 - 15         |

En este sentido, los resultados muestran que la PTAR cumple ampliamente con lo estipulado en el diseño, por lo que opera adecuadamente.

### **3.2.3. Determinaciones de campo**

Los resultados de los análisis realizados en campo se detallan a continuación. Se debe tomar en cuenta que en los trenes 2, 3, 7, 13 y 14, no ingresaba agua residual, sin embargo, el sistema de aeración permanecía operando en los reactores biológicos.

#### **a) Índice volumétrico de lodos**



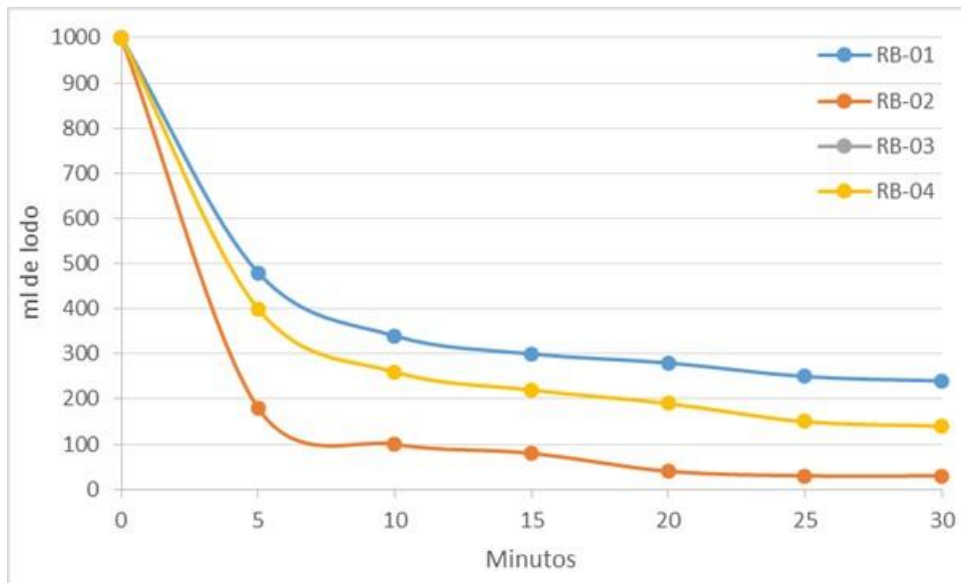
A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las pruebas del Índice Volumétrico de Lodos efectuados a los 14 reactores biológicos de la PTAR de Cerro de la Estrella.

En la Tabla 30 se muestra el resultado de la prueba de sedimentación, en donde se registró el volumen de lodo cada cinco minutos.

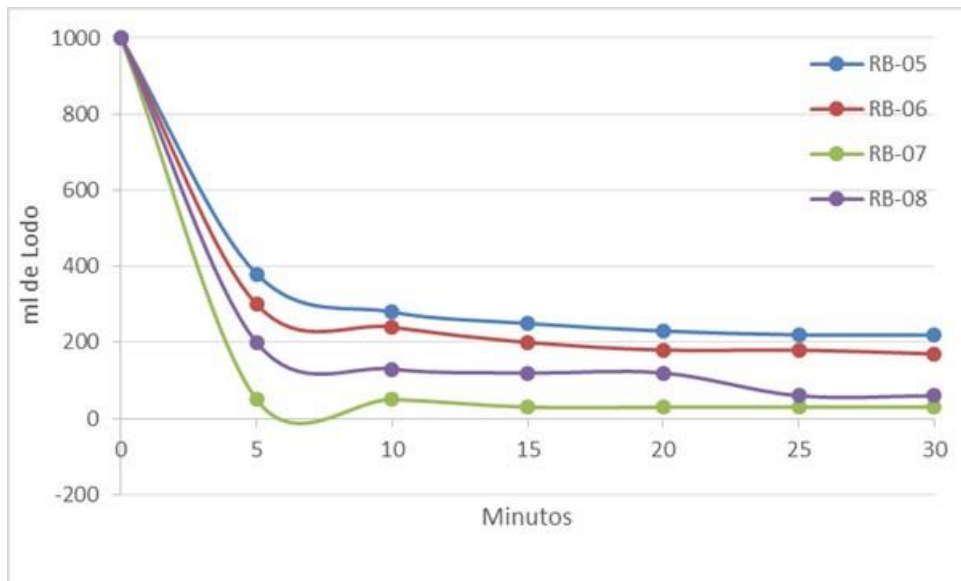
**Tabla 30 Tiempo de sedimentación (volumen de lodos en mL)**

| Reactor | Tiempo de sedimentación (min) |     |     |     |     |     |     |
|---------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|         | 0                             | 5   | 10  | 15  | 20  | 25  | 30  |
| RB-01   | 1000                          | 480 | 340 | 300 | 280 | 250 | 240 |
| RB-02   | 1000                          | 180 | 100 | 80  | 40  | 30  | 30  |
| RB-03   | 0                             | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| RB-04   | 1000                          | 400 | 260 | 220 | 190 | 150 | 140 |
| RB-05   | 1000                          | 380 | 280 | 250 | 230 | 220 | 220 |
| RB-06   | 1000                          | 300 | 240 | 200 | 180 | 180 | 170 |
| RB-07   | 1000                          | 50  | 50  | 30  | 30  | 30  | 30  |
| RB-08   | 1000                          | 200 | 130 | 120 | 120 | 60  | 60  |
| RB-09   | 1000                          | 320 | 250 | 210 | 200 | 170 | 150 |
| RB-10   | 1000                          | 250 | 200 | 170 | 150 | 130 | 120 |
| RB-11   | 1000                          | 250 | 200 | 170 | 150 | 130 | 120 |
| RB-12   | 1000                          | 330 | 260 | 230 | 200 | 180 | 170 |
| RB-13   | 1000                          | 200 | 160 | 140 | 130 | 120 | 110 |
| RB-14   | 1000                          | 150 | 120 | 110 | 100 | 100 | 90  |

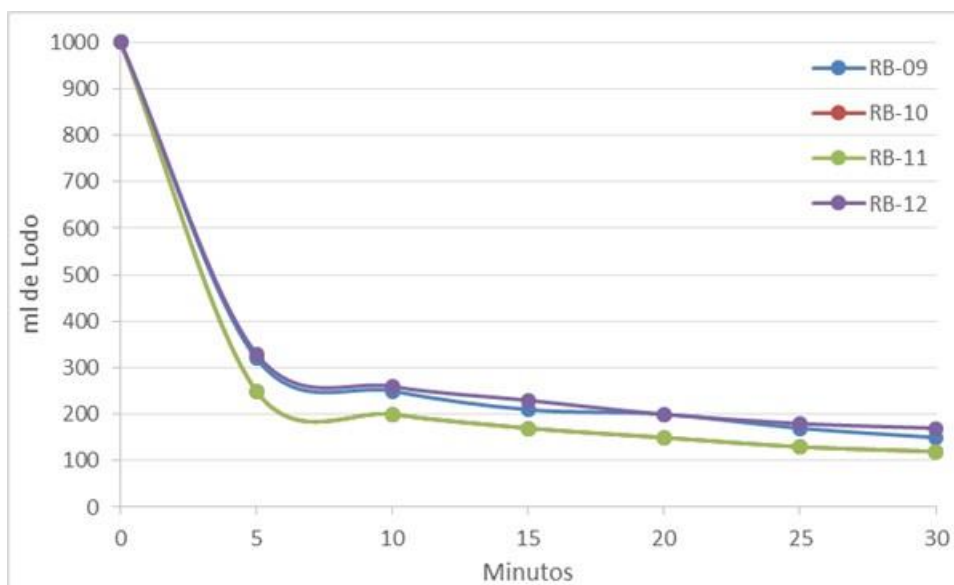
Estos resultados se graficaron para obtener la tendencia de sedimentación de los flóculos y así determinar cuál es su comportamiento en el sedimentador secundario. Las gráficas se presentan en las Figura 48, Figura 49, Figura 50, Figura 51.



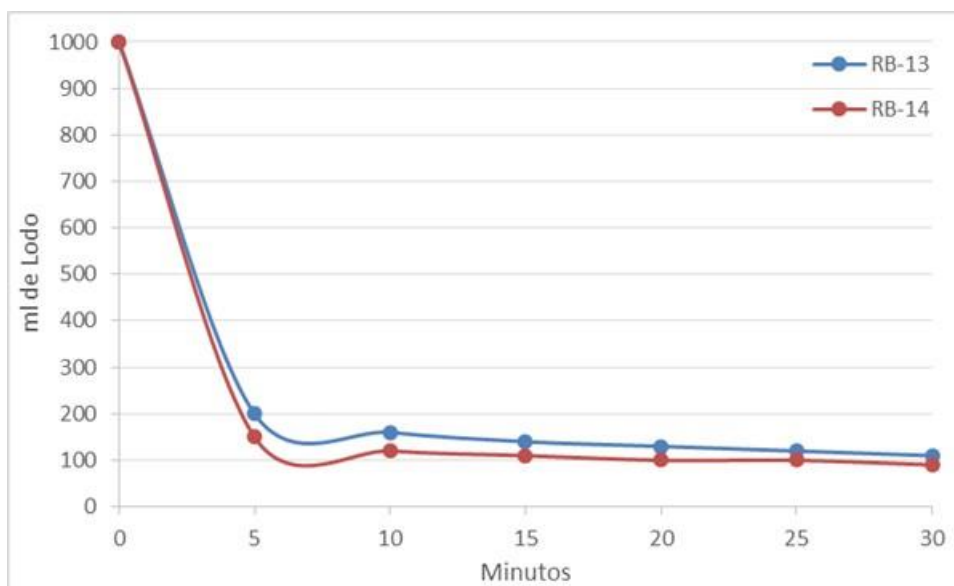
**Figura 48 Sedimentación Unidad I Reactores 1-4**



**Figura 49 Sedimentación Unidad II Reactores 5-8**



**Figura 50 Sedimentación Unidad III Reactores 9-12**



**Figura 51 Sedimentación Unidad IV Reactores 13 y 14**

De acuerdo con las gráficas se puede apreciar que en los primero 5 minutos el lodo sedimenta muy rápidamente, a excepción de los reactores RB-03, 07, 13 y 14, que no presentaron licor mezclado en el tanque, ya que no tenían flujo de agua.

El hecho de que la carga orgánica que ingresa al sistema es baja, así como el caudal, originan que los microorganismos, que están en los nueve

reactores que están en operación, tengan poco alimento y por tanto se reproduzcan poco, esto lleva a tener volúmenes de lodos por debajo de los 150 ml/L. Esto implica que posiblemente casi no se purgue lodo, por lo que los tiempos medios de retención celular (edad de los lodos) sean altos y éstos tiendan un poco a viejos. Está puede ser la razón por la que sedimenten rápidamente en los primeros 5 minutos. En la Tabla 31, se describen las observaciones de cada una de las pruebas.

**Tabla 31 Características de las pruebas de sedimentación**

| <b>Reactor</b> | <b>Color del flóculo</b> | <b>Forma del flóculo</b> | <b>Clarificado</b>              |
|----------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| RB-01          | Café oscuro              | Bien formado             | Claro                           |
| RB-02          | Café ligeramente oscuro  | Bien formado             | Claro, con flóculos suspendidos |
| RB-03          | Sin biomasa              |                          |                                 |
| RB-04          | Café ligeramente oscuro  | Bien formado             | Turbio, con sobrenadante        |
| RB-05          | Café ligeramente oscuro  | Bien formado             | Claro                           |
| RB-06          | Café ligeramente oscuro  | Bien formado             | Turbio, con sobrenadante        |
| RB-07          | Café claro               | Ligero                   | Turbio, con sobrenadante        |
| RB-08          | Café ligeramente oscuro  | Bien formado             | Claro                           |
| RB-09          | Café ligeramente oscuro  | Bien formado             | Claro                           |
| RB-10          | Café ligeramente oscuro  | Bien formado             | Claro                           |
| RB-11          | Café ligeramente oscuro  | Bien formado             | Claro                           |
| RB-12          | Café ligeramente oscuro  | Bien formado             | Claro                           |
| RB-13          | Café - gris              | Bien formado             | Claro                           |
| RB-14          | Café - gris              | Bien formado             | Claro                           |

En términos generales, la mayoría de los lodos presentan un color café ligeramente oscuro, así como flóculos bien formados y con un sobrenadante turbio y en algunos casos con natas. Estas características son específicas de un lodo viejo.

En las Figura 52 a la Figura 55 se pueden observar las características que se mencionan en la Tabla 31.



**Figura 52 Lodos en prueba de sedimentación Unidad I, reactores 1-4**





RB-05



RB-06



RB-07



RB-08

**Figura 53 Lodos en prueba de sedimentación Unidad II, reactores 5-8**



RB-09



RB-10



RB-11



RB-12

**Figura 54 Lodos en prueba de sedimentación Unidad III reactores 9-12**



RB-13



RB-14

**Figura 55 Lodos en prueba de sedimentación Unidad IV reactores 13 y 14**

En la Tabla 32 se muestra el volumen final del lodo a los 30 minutos, los sólidos suspendidos totales de la muestra y su índice volumétrico de lodos. Estos resultados se muestran en la Figura 56.

**Tabla 32 Índice volumétrico de lodos (IVL)**

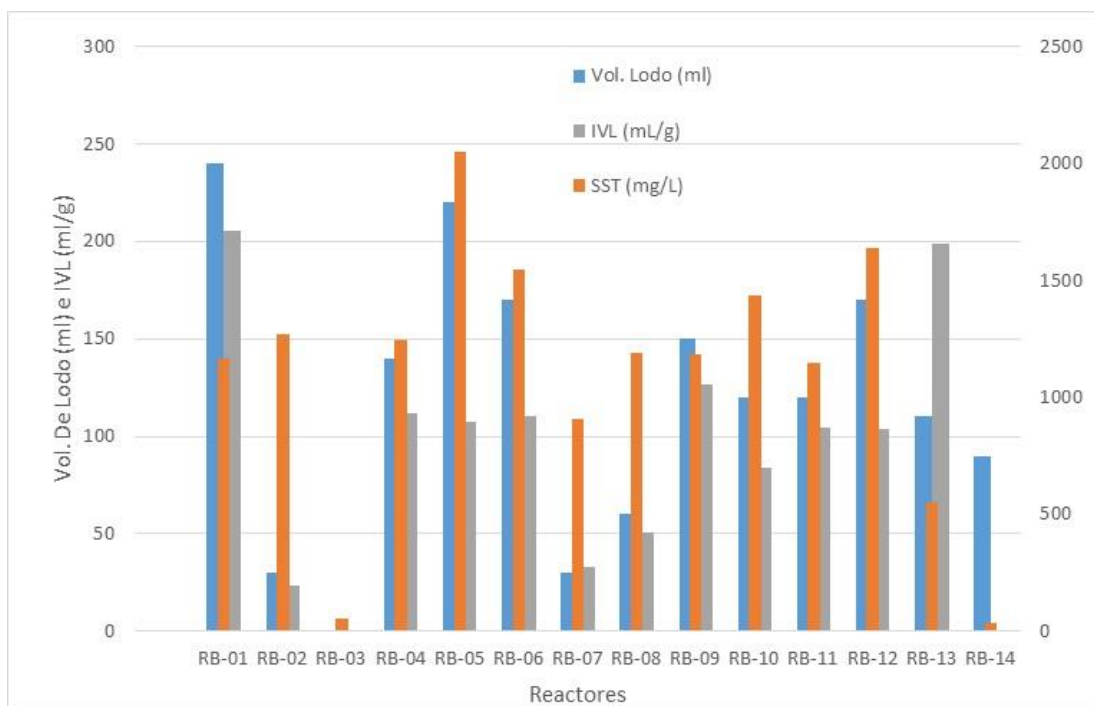
| Reactor | Vol. Lodo (mL) | SST (mg/L) | IVL (ml/g) | SSV (mg/L) | SSV/SST |
|---------|----------------|------------|------------|------------|---------|
| RB-01   | 240            | 1168       | 205.48     | 945        | 0.81    |
| RB-02   | 30             | 1272       | 23.58      | 716        | 0.56    |
| RB-03   | 0              | 54,7       |            | 29         | 0.53    |

| <b>Reactor</b> | <b>Vol. Lodo (mL)</b> | <b>SST (mg/L)</b> | <b>IVL (ml/g)</b> | <b>SSV (mg/L)</b> | <b>SSV/SST</b> |
|----------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| RB-04          | 140                   | 1248              | 112.18            | 952               | 0.76           |
| RB-05          | 220                   | 2050              | 107.32            | 1635              | 0.78           |
| RB-06          | 170                   | 1545              | 110.03            | 1245              | 0.81           |
| RB-07          | 30                    | 905               | 33.15             | 660               | 0.73           |
| RB-08          | 60                    | 1191              | 50.38             | 951               | 0.80           |
| RB-09          | 150                   | 1185              | 126.58            | 935               | 0.79           |
| RB-10          | 120                   | 1435              | 83.62             | 1150              | 0.80           |
| RB-11          | 120                   | 1145              | 104.80            | 920               | 0.80           |
| RB-12          | 170                   | 1640              | 103.66            | 1290              | 0.79           |
| RB-13          | 110                   | 553               | 198.92            | 427               | 0.77           |
| RB-14          | 90                    | 33                | 2727.27           | 15                | 0.45           |

En un proceso de lodos activados de sistema convencional se recomienda que los SSV estén en un rango de 1500 a 3000 mg/L, por lo que de diseño se establecen en 2000 mg/L. De acuerdo con la Tabla 32 en su mayoría los reactores biológicos están por debajo de la concentración de diseño, y en algunos casos por debajo de los 1,000 mg/L. Esto es debido a que el sistema de tratamiento en el momento del muestreo operaba con una DBO de 71 mg/L y con flujo de alrededor de 800 L/s, por lo que no se recibe la suficiente carga orgánica para sustentar adecuadamente la concentración de microorganismos (SSV) en los reactores biológicos. Además, los reactores 2, 3, 7, 13 y 14 no recibían agua residual, solo permanecían aireados, lo que genera condiciones endógenas en los microorganismos. Sin embargo, es de reconocer que en los reactores que se encuentran operando se mantiene una relación de SSV/SST de 0.8, lo que indica que se cuenta con una buena población de microorganismos.

El rango que se recomienda para el IVL es de 35 a 150 ml/g, y de acuerdo con los valores obtenidos presentan una gran disparidad entre ellos, unos están cercanos al límite inferior y otro fuera de rango (Figura 56), lo que sugiere que los reactores no son alimentados de igual manera o que la recirculación de lodos varía o que el sistema de aireación presenta algunos problemas operacionales.





**Figura 56 Volumen de lodo final, SST e IVL**

### b) Determinación de perfil de oxígeno disuelto y pH

A continuación, en la Figura 57 se muestra el equipo empleado y como se realizaron las determinaciones en campo.



**Figura 57 Equipos para la medición de pH y OD y determinaciones en campo**

Las determinaciones de oxígeno disuelto y pH se realizaron cada 15 m a lo largo del reactor. La primera determinación se realizó al inicio de cada reactor, aproximadamente a 1 m de la entrada del agua, debido a que no se

contaba con un acceso seguro. En la Tabla 33 se muestran los resultados obtenidos en cada reactor (RB1 al RB14).

**Tabla 33 Determinaciones de OD y pH**

| m  | RB1  |           | RB2  |           | RB3  |           | RB4  |           | RB5  |           |
|----|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|
|    | pH   | OD (mg/L) | pH   | OD (mg/L) | pH   | OD (mg/L) | pH   | OD (mg/L) | pH   | OD (mg/L) |
| 0  | 7.50 | 0.20      |      |           | 7.61 | 9.04      | 7.35 | 0.27      | 7.40 | 0.29      |
| 15 | 7.48 | 0.21      |      |           | 7.63 | 9.20      | 7.23 | 0.25      | 7.48 | 0.18      |
| 30 | 7.26 | 0.28      | 6.73 | 8.52      | 7.67 | 8.74      | 7.06 | 0.26      | 7.23 | 0.21      |
| 45 | 7.19 | 1.18      | 6.70 | 9.60      | 7.67 | 9.12      | 7.21 | 5.67      | 7.08 | 1.18      |
| 60 | 7.18 | 5.55      | 6.68 | 8.92      | 7.70 | 9.06      | 7.29 | 7.46      | 6.96 | 1.86      |
| 75 | 7.24 | 6.78      | 6.64 | 8.71      | 7.67 | 8.96      | 7.36 | 7.33      | 6.92 | 2.29      |
| 90 | 7.34 | 7.50      | 6.67 | 8.92      | 7.64 | 9.12      | 7.32 | 6.37      | 7.03 | 4.07      |
| m  | RB6  |           | RB7  |           | RB8  |           | RB9  |           | RB10 |           |
|    | pH   | OD (mg/L) | pH   | OD (mg/L) | pH   | OD (mg/L) | pH   | OD (mg/L) | pH   | OD (mg/L) |
| 0  | 7.49 | 0.20      | 7.76 | 7.15      | 7.46 | 0.18      | 7.38 | 0.29      | 7.45 | 0.22      |
| 15 | 7.45 | 0.20      | 7.67 | 8.18      | 7.51 | 0.20      | 7.39 | 0.22      | 7.49 | 0.17      |
| 30 | 7.13 | 0.22      | 7.75 | 8.53      | 7.18 | 2.20      | 7.42 | 0.60      | 7.48 | 2.50      |
| 45 | 6.99 | 1.20      | 7.75 | 8.68      | 7.21 | 3.55      | 7.41 | 0.53      | 7.48 | 4.20      |
| 60 | 6.95 | 1.72      | 7.77 | 8.76      | 7.05 | 3.61      | 7.45 | 1.71      | 7.44 | 4.07      |
| 75 | 6.93 | 2.40      | 7.78 | 8.81      | 7.06 | 3.77      | 7.88 | 2.12      | 7.42 | 4.21      |
| 90 | 6.97 | 3.32      | 7.74 | 8.78      | 7.05 | 3.82      | 7.37 | 2.19      | 7.40 | 4.08      |
| m  | RB11 |           | RB12 |           | RB13 |           | RB14 |           |      |           |
|    | pH   | OD (mg/L) | pH   | OD (mg/L) | pH   | OD (mg/L) | pH   | OD (mg/L) |      |           |
| 0  | 7.46 | 0.20      | 7.49 | 0.18      | 7.50 | 6.98      | 8.24 | 8.20      |      |           |
| 15 | 7.49 | 0.18      | 7.47 | 0.16      | 7.59 | 7.06      | 8.26 | 8.47      |      |           |
| 30 | 7.5  | 0.12      | 7.40 | 1.70      | 7.50 | 7.02      | 8.18 | 8.50      |      |           |
| 45 | 7.46 | 1.27      | 7.38 | 1.03      | 7.44 | 7.00      | 8.16 | 8.60      |      |           |
| 60 | 7.36 | 1.33      | 7.29 | 1.85      | 7.34 | 6.54      | 8.18 | 8.71      |      |           |
| 75 | 7.37 | 1.11      | 7.29 | 1.87      | 7.33 | 6.55      | 8.20 | 8.77      |      |           |
| 90 | 7.36 | 0.86      | 7.32 | 1.73      | 7.34 | 6.36      | 8.15 | 8.68      |      |           |

Los reactores biológicos del 1 al 12 presentan en su inicio un selector o bioselector (zona o celda anóxica), por lo que el proceso fue diseñado para eliminar nitrógeno. Así, en primer lugar, en el proceso de desnitrificación se produce alcalinidad por lo que el pH del agua a la salida de esta zona debe

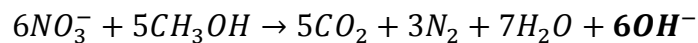
subir levemente con relación al de entrada. En segundo lugar, en la zona de aeración se da el proceso de nitrificación, el cual consume alcalinidad, por la que el pH a la salida de este proceso será menor.

Bajo esta premisa, el comportamiento del pH en el reactor biológico se relaciona directamente con las reacciones en las que está presente el nitrógeno; nitrificación y desnitrificación.

Nitrificación (condición ácida,  $H^+$ )



Desnitrificación (condición alcalina,  $OH^-$ )



Así, el pH dentro de la zona anóxica será de menos a más, o por lo menos casi igual (aumentará), y en la zona de aeración de más a menos (disminuirá).

Con relación a la presencia de oxígeno disuelto (OD) en el reactor biológico, la concentración de OD en la zona anóxica debe estar en un rango de 0.1 a 0.3 mg/L y en la zona de aeración debe ir de más a menos, debido a que en un inicio se tiene mayor carga orgánica y por tanto una mayor demanda de oxígeno y casi al final la demanda disminuye porque ya no hay materia orgánica que oxidar, y de acuerdo a la literatura se recomienda que se tenga un residual de aproximadamente 2 mg/L.

Es importante aclarar que en la memoria de cálculo se establece que la zona anóxica tiene una longitud de 15 m, sin embargo, físicamente se observa que esta zona se prolonga hasta los 30 m aproximadamente.

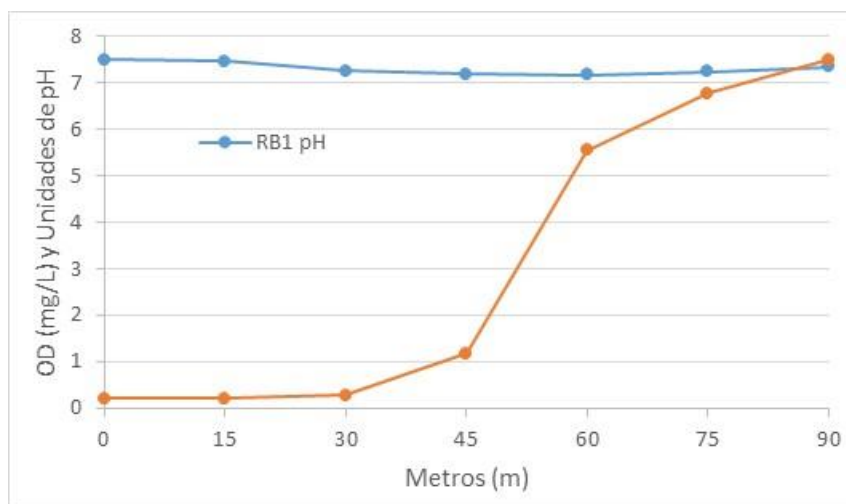
A continuación, se presentan una serie de gráficas (Figura 58 a Figura 72) en donde se pueden observar las tendencias de OD y pH en cada reactor.

En el reactor 1 el agitador o mezclador en la zona anóxica se encuentra sin operar.

En la Figura 58 se observa que las condiciones anóxicas son adecuadas para realizar la desnitrificación, ya que el OD se mantiene por debajo de 0.30 mg/L, sin embargo, el pH en lugar de aumentar disminuye ligeramente.

En la zona de aeración rápidamente se incrementa la concentración OD residual, lo que muestra que probablemente la carga orgánica está muy por

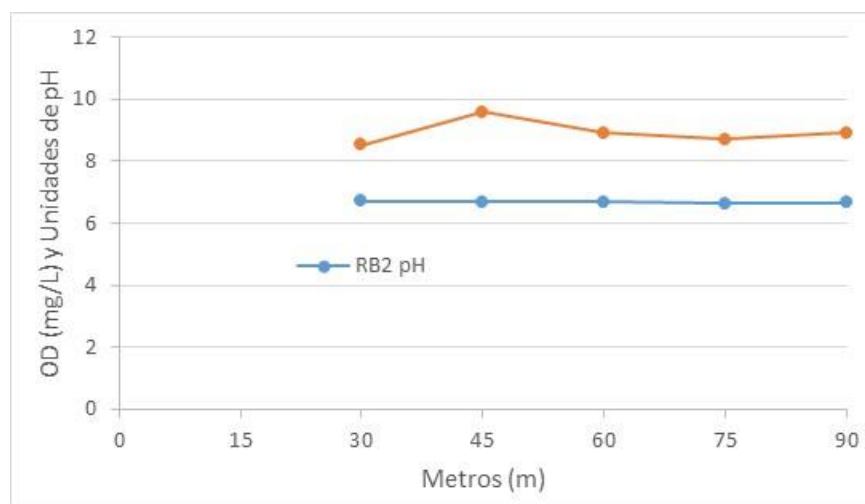
debajo de la de diseño (41,853 kg DBO/d), ya que a la mitad del reactor biológico probablemente toda la materia orgánica ha sido estabilizada, por lo que al final del reactor no existe consumo de oxígeno. Esto es congruente con la disminución de pH hasta los 60 m, punto hasta donde se da la nitrificación.



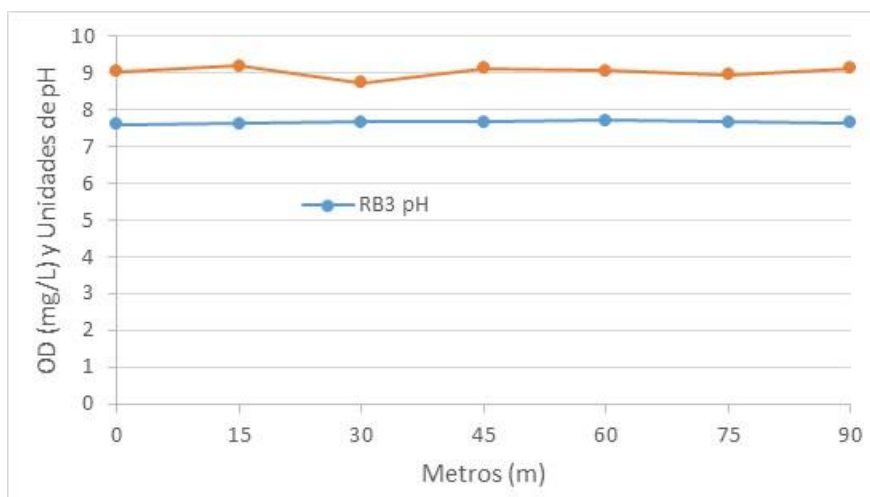
**Figura 58 pH y OD en el reactor 1**

En el reactor 2 el agitador o mezclador en la zona anóxica se encuentra sin operar.

No se realizaron las primeras dos determinaciones debido a que en la superficie se encontró una nata gruesa y espesa de lodos. A este reactor no ingresa agua, por lo que solo se mantiene en aeración, con un OD residual entre 8.5 y 8.9 y un pH menor a 7 unidades.



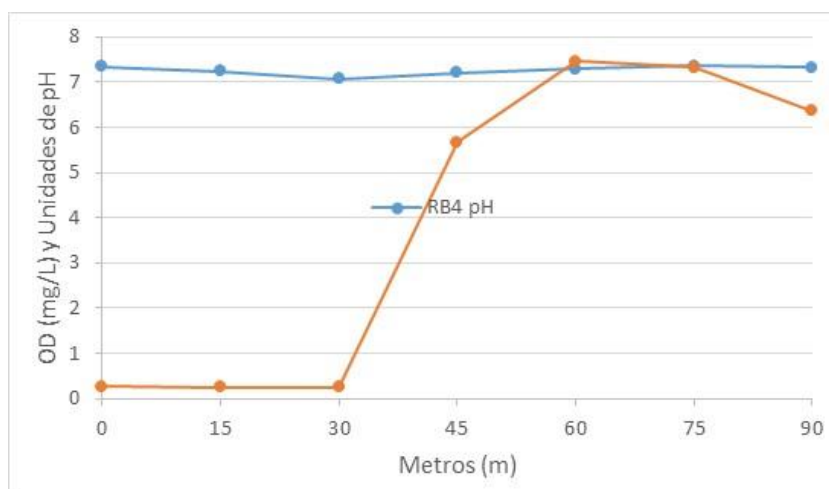
**Figura 59 pH y OD en el reactor 2**



**Figura 60 pH y OD en el reactor 3**

En el reactor 3 el agitador o mezclador en la zona anóxica se encuentra sin operar.

A este reactor no ingresa agua, por lo que solo se mantiene en aeración, con un OD residual entre 8.7 y 9.2 y un pH entre 7.6 y 7.7 unidades.

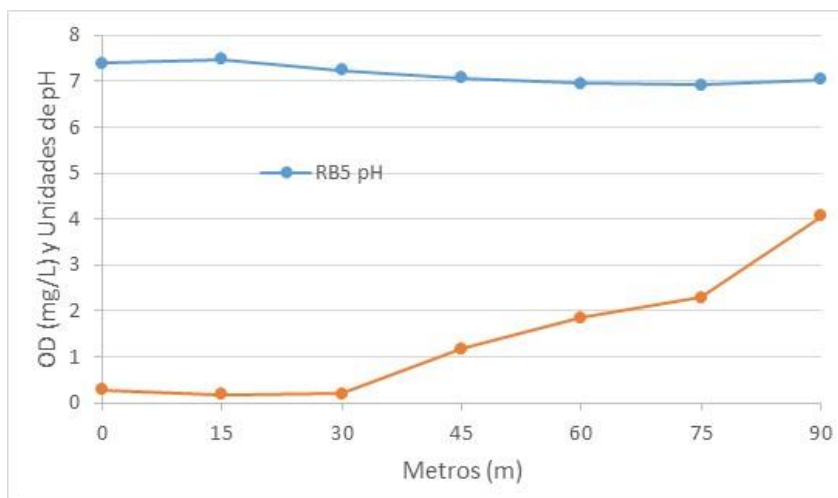


**Figura 61 pH y OD en el reactor 4**

En el reactor 4 el agitador o mezclador en la zona anóxica se encuentra sin operar.

En la Figura 61 se observa que las condiciones anóxicas son adecuadas para realizar la desnitrificación, ya que el OD se mantiene por debajo de 0.30 mg/L, sin embargo, el pH en lugar de aumentar disminuye ligeramente.

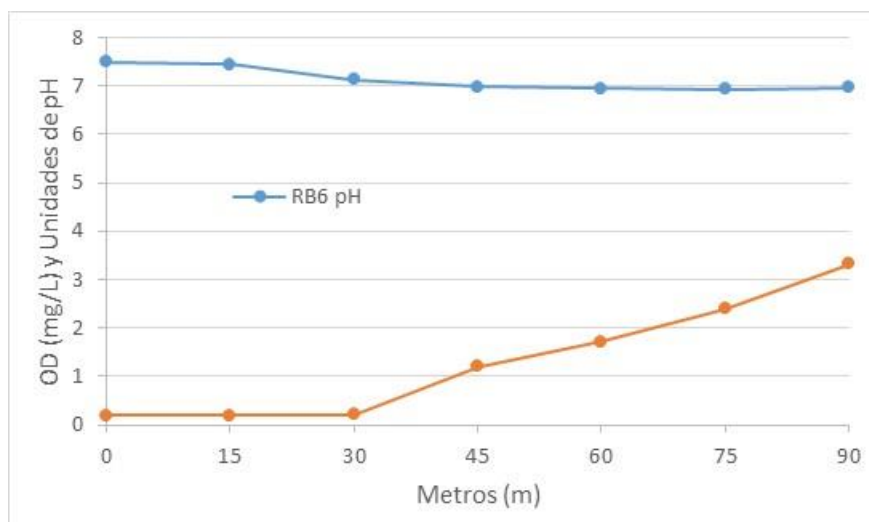
En la zona de aeración rápidamente se incrementa la concentración OD residual, lo que muestra que probablemente la carga orgánica está muy por debajo de la de diseño (41,853 kg DBO/d), ya que probablemente toda la materia orgánica ha sido estabilizada en los primeros 30 m, por lo que al final del reactor no existe consumo de oxígeno. El pH después de los 30 m presenta un ligero aumento de 7.06 a 7.36 unidades, lo que sugiere que no existe nitrificación en esta zona.



**Figura 62 pH y OD en el reactor 5**

En el reactor 5 el agitador o mezclador en la zona anóxica se encuentra sin operar.

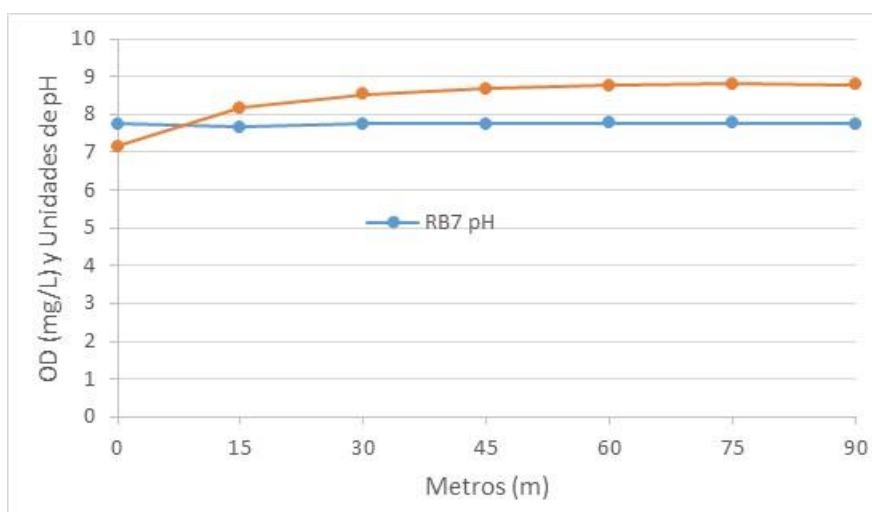
Se observa (Figura 62) que la zona anóxica opera adecuadamente al presentar OD residual menor a 0.3 mg/L y un aumento de pH hasta los 15 m. En la zona aerobia se va incrementando el OD residual hasta alcanzar una concentración de 2.29 mg/L (75 m), lo que muestra que existe estabilización de materia orgánica. El pH disminuye de 7.48 a 7 unidades, mostrando que se da el proceso de nitrificación correctamente.



**Figura 63 pH y OD en el reactor 6**

En el reactor 6 el agitador o mezclador en la zona anóxica se encuentra sin operar.

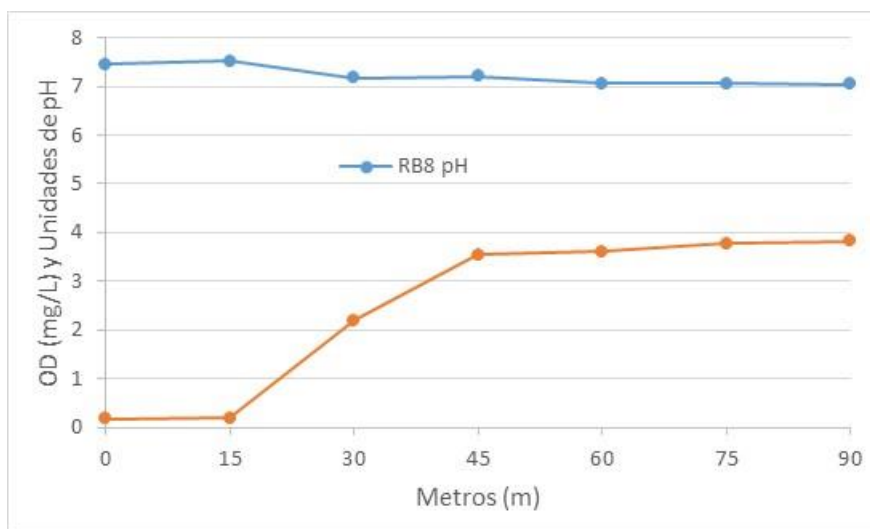
La Figura 63 muestra que la zona anóxica presenta OD residual menor a 3 mg/L, sin embargo, el pH en lugar de aumentar disminuye a lo largo de todo el reactor, pasa de 7.49 a 6.93 unidades, por lo que probablemente no se dé la desnitrificación, pero si la nitrificación. En la zona aerobia se va incrementando el OD residual hasta alcanzar una concentración de 2.4 mg/L (75 m), lo que muestra que existe estabilización de materia orgánica.



**Figura 64 pH y OD en el reactor 7**

En el reactor 7 el agitador o mezclador en la zona anóxica se encuentra sin operar.

A este reactor no ingresa agua, por lo que solo se mantiene en aeración, con un OD residual entre 7.15 a 8.8 y un pH alrededor de 7.5 unidades.

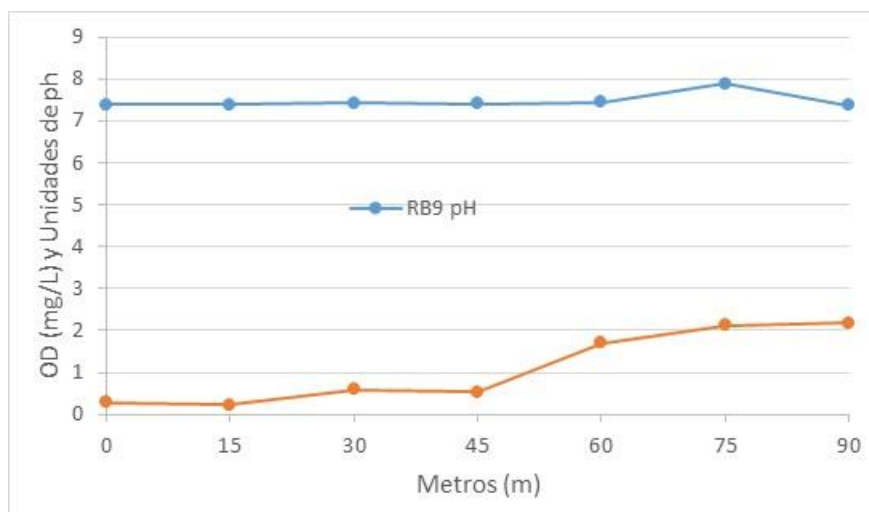


**Figura 65 pH y OD en el reactor 8**

En el reactor 8 el agitador o mezclador en la zona anóxica se encuentra sin operar.

Se observa (Figura 65) que la zona anóxica opera adecuadamente hasta los 15 m al presentar OD residual menor a 0.3 mg/L y un aumento de pH. En la zona aerobia se va incrementando el OD residual hasta alcanzar una concentración de 3.55 mg/L (45 m), lo que muestra que existe estabilización de materia orgánica muy rápida. El pH disminuye de 7.51 a 7.05 unidades, mostrando que se da el proceso de nitrificación correctamente.

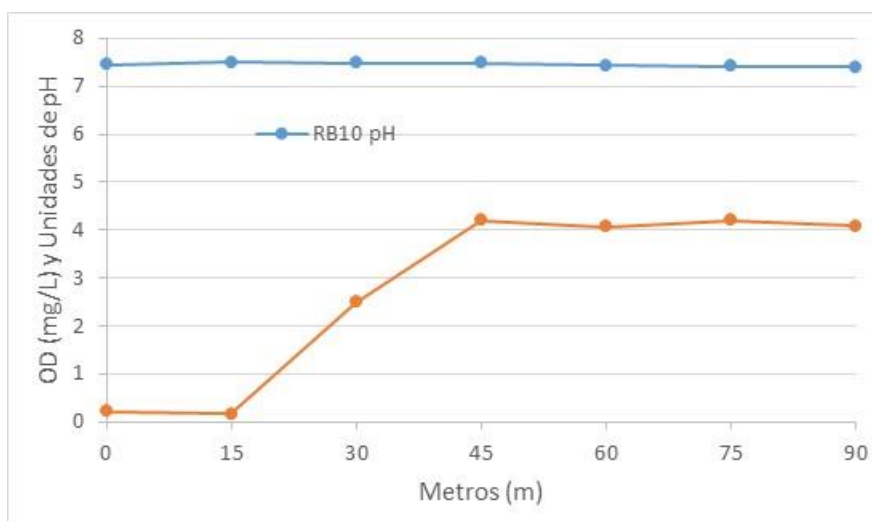




**Figura 66 pH y OD en el reactor 9**

En el reactor 9 el agitador o mezclador en la zona anóxica se encuentra sin operar.

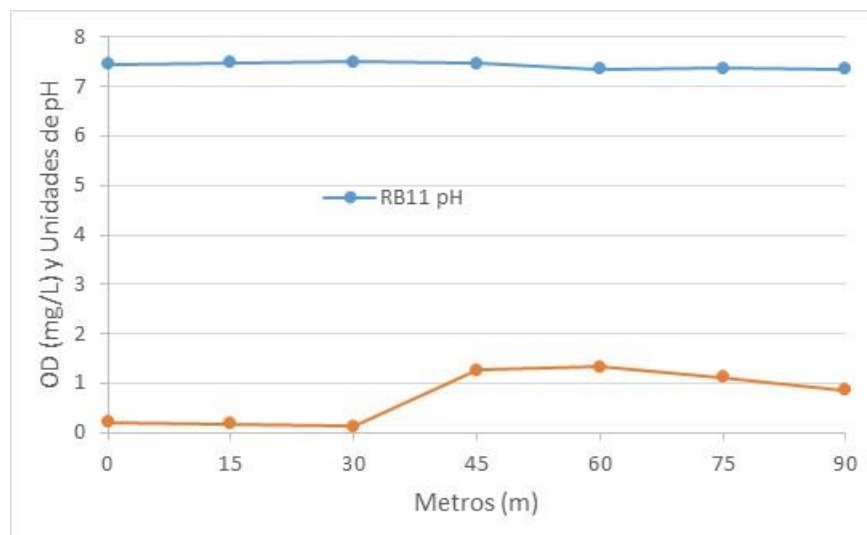
En relación con el comportamiento del pH a lo largo del reactor biológico se observa una tendencia de incremento de pH, que va de 7.38 a 7.88 unidades, lo que sugiere que el proceso de nitrificación no se dé adecuadamente, probablemente por falta de oxígeno. En este sentido se aprecia que hasta los 60 m el OD residual está por debajo de 1 mg/L y posteriormente llega alrededor de los 2 mg/L. Esto se puede deber a una sobrecarga orgánica en el reactor.



**Figura 67 pH y OD en el reactor 10**

En el reactor 10 el agitador o mezclador en la zona anóxica si se encuentra en operación.

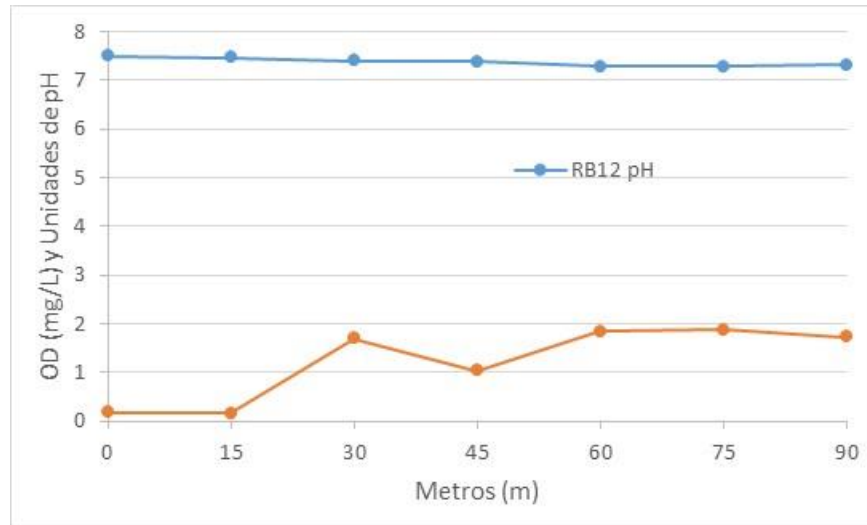
En la Figura 67 se observa que la zona anóxica opera adecuadamente hasta los 15 m al presentar OD residual menor a 0.3 mg/L y un ligero aumento de pH de 7.45 a 7.49 unidades. En la zona aerobia se va incrementando el OD residual hasta alcanzar una concentración de 4.20 mg/L (45 m), lo que muestra que existe estabilización de materia orgánica muy rápida. El pH posteriormente disminuye de 7.49 a 7.40 unidades, mostrando que se da el proceso de nitrificación correctamente.



**Figura 68 pH y OD en el reactor 11**

En el reactor 11 el agitador o mezclador en la zona anóxica se encuentra operando.

Se observa (Figura 68) que la zona anóxica opera adecuadamente al presentar OD residual menor a 0.3 mg/L y un aumento de pH 7.46 a 7.5 unidades hasta los 30 m. En la zona aerobia el OD residual se incrementa hasta alcanzar una concentración de 1.33 mg/L (60 m), sin embargo, después disminuye para finalizar con 0.86 mg/L, lo que muestra que existe estabilización de materia orgánica. El pH disminuye de 7.50 (30 m) hasta alrededor de 7.36 unidades (60 m), tramo en el que se desarrolla la nitrificación, después de este punto prácticamente permanece constante el pH, lo que puede indicar que el proceso de nitrificación no se desarrolla.



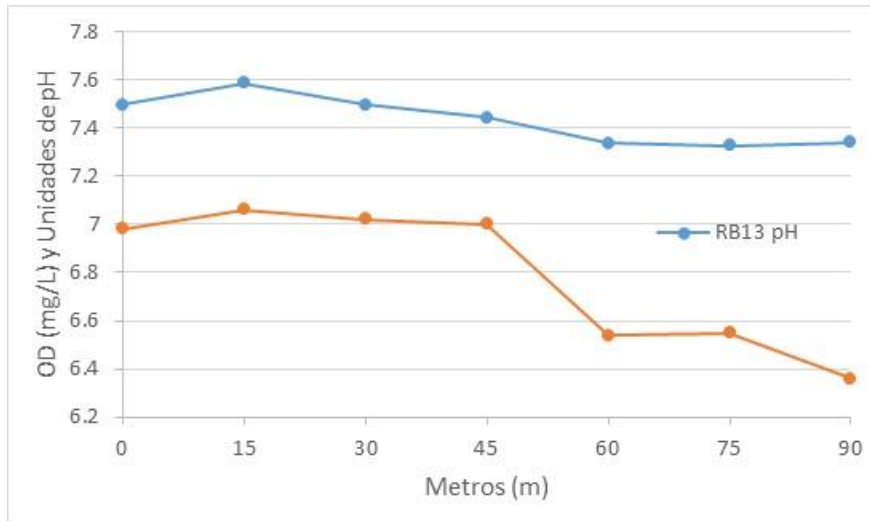
**Figura 69 pH y OD en el reactor 12**

En la Figura 69 se aprecia que la zona anóxica opera adecuadamente hasta los 15 m al presentar OD residual menor a 0.3 mg/L, además el pH permanece casi sin cambio. En la zona aerobia se va incrementando el OD residual hasta alcanzar una concentración de 1.87 mg/L (75 m), lo que muestra que existe estabilización de materia orgánica a lo largo del reactor biológico. El pH disminuye de 7.47 a 7.29 unidades, mostrando que se da el proceso de nitrificación correctamente.

En el reactor 12 el agitador o mezclador en la zona anóxica opera bajo condiciones inapropiadas, ya que se encuentra rodeado de maleza (Figura 70).

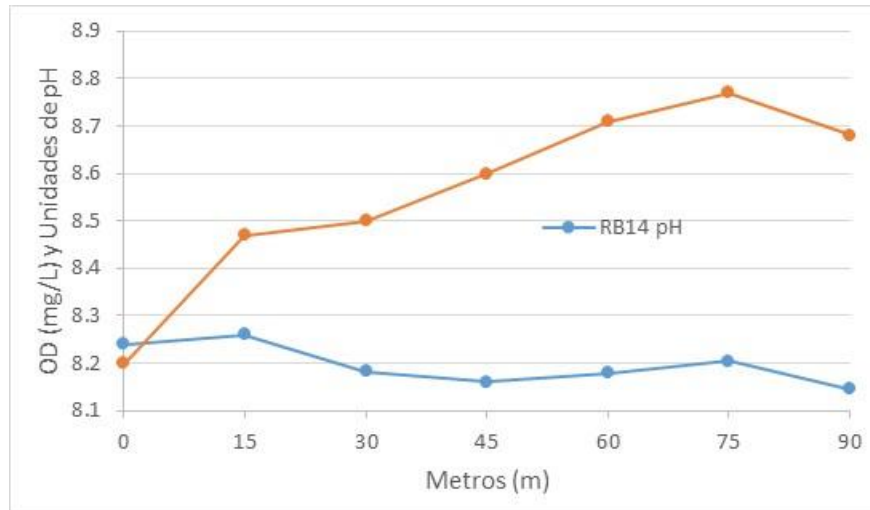


**Figura 70 Mezclador del reactor 12**



**Figura 71 pH y OD en el reactor 13**

Al reactor 13 no ingresa agua, por lo que solo se mantiene en aeración, con un OD residual entre 6.36 y 7.06 y un pH entre 7.33 y 7.59 unidades.



**Figura 72 pH y OD en el reactor 14**

A este reactor (14) no ingresa agua, por lo que solo se mantiene en aeración, con un OD residual entre 8.2 y 8.77 y un pH entre 8.15 y 8.26 unidades.

Es necesario hacer mención que este reactor solo contiene agua (Figura 73).



**Figura 73 Reactor 14**

**c) Manto de lodos**

a) Sedimentadores primarios

En la Tabla 34 muestran los resultados del manto de lodos presente en los sedimentadores primarios.

**Tabla 34 Manto de lodos en sedimentadores primarios (cm)**

| <b>Sedimentador</b> | <b>Inicio</b> | <b>Medio</b> | <b>Final</b><br>* |
|---------------------|---------------|--------------|-------------------|
| SP-01               | 230           | 233          | 100               |
| SP-02               | 270           | 270          | 260               |
| SP-03               | 200           | 140          | 80                |
| SP-04               | 100           | 80           | 70                |
| SP-05               | 60            | 50           | 30                |
| SP-06               | 70            | 70           | 60                |
| SP-07               | 110           | 70           | 30                |
| SP-08               | 50            | 50           | 40                |
| SP-09               | 190           | 50           | 20                |
| SP-10               | 150           | 80           | 80                |
| SP-11               | 170           | 90           | 60                |

| <b>Sedimentador</b> | <b>Inicio</b> | <b>Medio</b> | <b>Final</b><br>* |
|---------------------|---------------|--------------|-------------------|
| SP-12               | 180           | 80           | 20                |
| SP-13               | No hay        |              |                   |
| SP-14               | No hay        |              |                   |

\*Final, después de la media caña.

En la Figura 74 se muestra la ubicación de la media caña en el sedimentador primario.



**Figura 74 Media caña en el sedimentador primario**

En relación con los sedimentadores que están fuera de operación:

- Es importante mencionar que a los sedimentadores primarios SP-02, 03 y 07 no entra agua residual.
- El SP-02 a pesar de que no está en operación cuenta con una acumulación de lodos alrededor de los 270 cm, lo que genera condiciones anaerobias por el lodo acumulado.
- De igual manera sucede con el SP-03, con una acumulación que va de los 200 a 80 cm, y el SP-07 en menor medida, que va de 110 a 30 cm.
- Si estos sedimentadores están fuera de operación no deberían tener acumulación de lodo.

En relación con los sedimentadores que están en operación:

- En el SP-01 los niveles de lodo están alrededor de los 230 cm, lo que indica que no se ha purgado adecuadamente. Esto ocasiona una disminución del volumen útil de la unidad y por tanto la reducción del tiempo de residencia hidráulica, lo que origina un arrastre de sólidos y lo que disminuye su eficiencia de operación.
- Para los SP-04, 05, 06 y 08 los niveles de lodo son adecuados.
- En los SP-09, 10, 11 y 12 los niveles en un inicio son elevados, pero posteriormente éste desciende adecuadamente hasta ser menor a un metro. Esto indica un buen funcionamiento de la unidad y del retiro de los lodos.

b) Sedimentadores secundarios

Tomar en cuenta que la literatura recomienda mantener un manto de lodos de alrededor de un metro de altura, esto con el fin de tener un lodo no tan aguado ni tan espeso que no pueda ser bombeado por una bomba centrífuga. La concentración recomendada de SST es de 8,000 a 12,000 mg/L, o lo que es lo mismo de 0.8 a 1.2%.

En la Tabla 35 se muestran los resultados del manto de lodos presente en los sedimentadores secundarios.

**Tabla 35 Manto de lodos en sedimentadores secundarios (cm)**

| Sedimentador | Inicio             | Final* | Vertedor |    |
|--------------|--------------------|--------|----------|----|
|              |                    |        | 1        | 2  |
| SS-01        | 36                 | 0      | 0        | 0  |
| SS-02        | Fuera de operación |        |          |    |
| SS-03        | Fuera de operación |        |          |    |
| SS-04        | 22                 | 0      | 0        | 0  |
| SS-05        | 60                 | 5      | 0        | 0  |
| SS-06        | 170                | 0      | 0        | 0  |
| SS-07        | Fuera de operación |        |          |    |
| SS-08        | 150                | 5      | 0        | 0  |
| SS-09        | 70                 | 70     | 20       | 20 |
| SS-10        | 80                 | 50     | 10       | 0  |
| SS-11        | 80                 | 60     | 0        | 0  |
| SS-12        | 130                | 20     | 10       | 10 |
| SS-13        | Fuera de operación |        |          |    |
| SS-14        | Fuera de operación |        |          |    |

\*Final, después de la media caña.

En la Figura 75 se muestra la ubicación de la media caña en el sedimentador secundario.



**Figura 75 Media caña en el sedimentador secundario**

En relación con los sedimentadores que están fuera de operación:

- Recordar que a los sedimentadores primarios SP-02, 03, y 07, así como, a los módulos 13 y 14 no entra agua residual, por lo que los sedimentadores secundarios SS-02, 03, 07, 13 y 14 están fuera de operación.
- Los sedimentadores secundarios SP-02, 03 y 07 están vacíos.
- Los sedimentadores secundarios SP-13 y 14 contienen agua pero no se determinó el manto de lodos porque los reactores tienen concentraciones de SST muy bajas.

Con relación a los sedimentadores que están en operación:

- En los SS-06, 08 y 12 al inicio sobre pasa el nivel recomendado de 1 m de manto de lodos.
- En contraste los SS-01, 04, 05, 09, 10 y 11, presentan niveles por debajo del 1 m de manto de lodos.
- Los SS-01, 04, 05, 06 y 08, después del inicio no presentan manto de lodos.



- Los SS-09, 10 y 12, presentan un perfil de manto de lodo a lo largo de los mismos, que va de más a menos, lo que muestra una correcta distribución.

Con la información anterior se puede concluir que los sedimentadores primarios que están fuera de operación contienen lodo, los cuales presentan condiciones anaerobias, lo que genera que el área circundante tenga fuertes olores a ácido sulfhídrico.

Los sedimentadores primarios no son purgados de igual manera, ya que algunos presentan altos niveles de lodos y otros no.

Al parecer el caudal de agua que ingresa a cada tren de tratamiento no es equitativo, es por eso que no se tienen los mismos niveles de manto de lodos o no son purgados adecuadamente.

En relación con los sedimentadores secundarios que están fuera de operación algunos están vacíos y otros no.

El hecho de que los sedimentadores secundarios no presenten el mismo nivel de manto de lodos, puede ser debido a que de entrada no se recibe el mismo caudal en cada uno de los trenes y otra el caudal de recirculación de lodos es diferente.

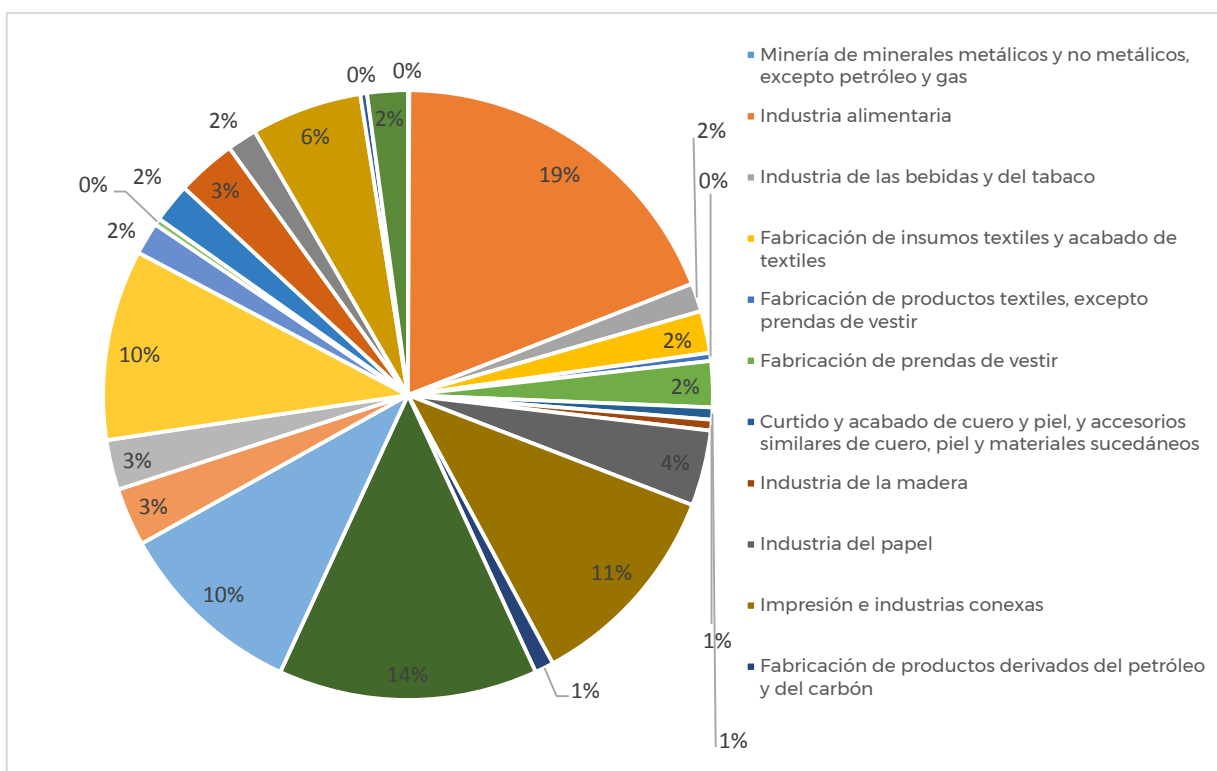
### **3.2.4. *Influencia industrial***

De acuerdo con la información proporcionada por el personal de la PTAR se desconoce si hay presencia de influentes industriales. Sin embargo, el Registro de Descargas de Aguas Residuales de la Ciudad de México (2015) menciona que existen 2131 descargas que van a la PTAR “Cerro de la Estrella”, de éstas 570 (40.8%) son de la industria, 1131 (27.3%) de servicios y 430 (38.2%) de comercios (Tabla 36). De acuerdo con estos datos, el caudal de agua residual es de 228.9 L/s, lo que representaría el 32.7% del influente que llega a la PTAR “Cerro de la Estrella”, considerando el caudal de operación actual.

**Tabla 36 Tipo de descarga y caudal por alcaldía**

| Alcaldía     | Número de descargas |             |            | Caudal (L/s) |          |          |               |
|--------------|---------------------|-------------|------------|--------------|----------|----------|---------------|
|              | Industria           | Servicio    | Comercio   | Industria    | Servicio | Comercio | Total         |
| Iztapalapa   | 317                 | 291         | 171        | 33.63        | 27.63    | 15.52    | 76.78         |
| Benito       | 64                  | 444         | 123        | 6.66         | 54.08    | 8.77     | 69.51         |
| Iztacalco    | 136                 | 118         | 50         | 16.54        | 11.22    | 4.25     | 32.01         |
| Coyoacán     | 53                  | 278         | 86         | 7.94         | 34.71    | 7.94     | 50.59         |
| <b>Total</b> | <b>570</b>          | <b>1131</b> | <b>430</b> | <b>Total</b> |          |          | <b>228.89</b> |

En la Figura 76 se presenta un gráfico del tipo de descargas industriales en general en la CDMX. El mayor número de descargas está relacionado con la industria alimentaria, la química y la de impresión y conexas, 19, 14 y 11%, respectivamente.



**Figura 76 Tipos de descargas industriales en la CDMX**

Durante el análisis de la información histórica se encontró que la relación DBO/DQO en promedio es de 0.7, lo que indica que no hay problemas de



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



biodegradabilidad del agua residual que llega a la PTAR Cerro de la Estrella, por lo que probablemente no se tenga una importante influencia industrial.

## **4. DIAGNÓSTICO DE PERSONAL**

### **4.1. Recursos Humanos**

En el Anexo I se presenta la plantilla del personal que labora en la PTAR Cerro de la Estrella.

La plantilla de la PTAR está conformada por 135 personas;

- 17 administrativas
- 71 operadores
- 21 mantenimiento
- 10 laboratorio
- 16 otros puestos

De éstas, 22 personas (16%) tienen una antigüedad de 1-10 años, 46 personas (34%) tienen de 11-20 años, 44 personas (32%) tienen de 20-30 años, 19 personas (14%) tienen entre 30-40 años, solo 4 personas (3%) tienen más de 40 años laborando en la PTAR. Lo que demuestra que la mayoría de su personal es antiguo.

En resumen, se puede establecer que el personal cuenta con la experiencia para poder trabajar en la planta de tratamiento de aguas residuales.

### **4.2. Evaluación de conocimientos**

Este apartado es resultado de la aplicación del Formato 04. Evaluación de conocimientos. Se aplicó un cuestionario a los operadores de la planta, sin embargo, solo 7 de los 71 reportados lo contestaron, de lo cual se observó lo siguiente:

- Jefes de operación en turno (2); ambos presentaron buenas bases en conocimientos básicos y generales, conocen bien la PTAR, cuenta con 52 y 29 años de experiencia.
- Auxiliar de PTAR; presenta conocimientos regulares en temas básicos, conoce el sistema de la PTAR.
- Operadores; solo 4 contestaron el formato y su conocimiento es nulo en temas básicos.

### **4.3. Capacitación**

#### **4.3.1. Cursos de capacitación recibidos**

A continuación, se citan los cursos que ha recibido el personal en los últimos tres años:

- Jefes de operación en turno; ninguno.
- Auxiliar de PTAR; ninguno.
- Operadores; solo la mitad recibió curso de manejo de gas cloro.

#### **4.3.2. Temas de capacitación solicitados**

De acuerdo con la información recolectada el personal de la PTAR mencionó algunos cursos de capacitación de su interés, los cuales se desglosan a continuación:

- Jefes de operación en turno: operación de PTAR, parámetros de laboratorio en proceso. Se hizo mención que los cursos deben darse en horario de trabajo para ambos turnos.
- Auxiliar de PTAR; Parámetros de laboratorio para control del proceso, operación de PTAR.
- Operadores; parámetros de laboratorio, lodos activados, gas cloro, primeros auxilios, calidad del agua, operación y mantenimiento de PTARs.

En resumen, es necesario implementar un programa de capacitación continua a todo el personal que labora en la PTAR.

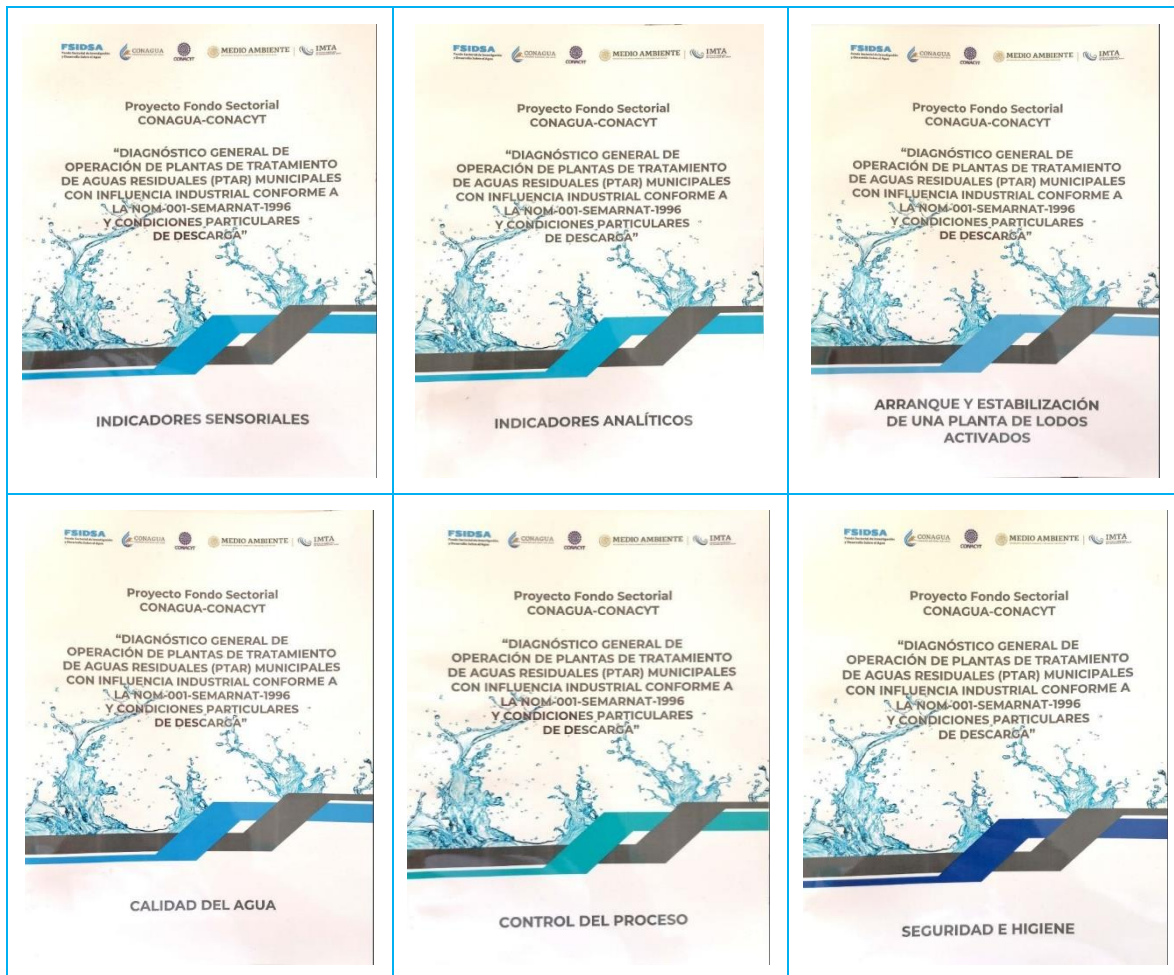
#### **4.3.3. Material didáctico entregado**

Para solventar un poco la problemática sobre material para la capacitación continua, se entregó el siguiente material didáctico en la PTAR

- a) Manuales: El contenido de cada uno de ellos se encuentra en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1m9GYeDsYFscSYAuUpRM5B V8VBsYqT-o8?usp=sharing>
- b) Infografías
- c) Manual de ejercicios prácticos

Los Manuales constan de 6 tomos cuyas temáticas son las siguientes (Figura 77).

- Indicadores sensoriales
- Indicadores analíticos
- Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
- Calidad del agua
- Control del proceso
- Seguridad e higiene



**Figura 77 Portada de los manuales**

Se elaboraron 15 infografías con la información de los manuales, las cuales se mencionan a continuación (Figura 78):

- Arranque de una PTAR de lodos activados
- Higiene y seguridad
- Indicadores analíticos A
- Indicadores analíticos B

- e) Indicadores sensoriales A
- f) Indicadores sensoriales B
- g) Índice volumétrico de lodos
- h) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-001-SEMARNAT-1996
- i) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-002-SEMARNAT-1996
- j) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-003-SEMARNAT-1997
- k) Parámetros de calidad del agua
- l) Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados
- m) Problemas frecuentes en un sistema de lodos activados
- n) Relación alimento/microorganismos
- o) Sistema mecanizado de tratamiento de aguas residuales

## ARRANQUE DE UNA PTAR DE LODOS ACTIVADOS

**División del equipo electromecánico**

Realizar un listado de todos los equipos electromecánicos por unidad de proceso. Realizar una prueba de arranque y paró, verificando el giro de motores y si es posible arrancar, esto con la finalidad de que no sea observado o pagado el motor.

**Revisión hidráulica de los tanques**

- Realizar el llenado de las unidades para verificar que no existan fugas o grietas en las paredes.
- Si agua será transferida de tanque en tanque.
- Para realizar esta actividad es necesario contar con planos de cada uno de las unidades de proceso, para señalar y marcar y describir en decenas las tuberías que se consideren pertinentes.

**No arrancar si faltan equipos y detalles de construcción**

El arranque de un proceso de lodos activados, se hace siempre y deberá tenerse ciertas condiciones para lograr su estabilización, así como un buen funcionamiento del proceso. Se recomienda realizarlo en **verano**.

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), de lodos activados se puede realizar **bajo dos escenarios, con y sin inóculo**, siendo considerado este último como una situación difícil.

### ARRANQUE SIN INÓCULO

**objetivo**

1. Instalar en su posición el reactor biológico hasta un cuarto de su capacidad y arrancar la unidad de aeración. A lo más esperar 10 minutos en el sistema, en cualquier momento cuando se realice.
2. Llenar reactor biológico a un 50% y continuar con la operación.
3. Llenar reactor biológico a un 70% y continuar con la operación.
4. Llenar reactor biológico a un 90% y continuar con la operación.
5. Hacer con un flujo continuo de agua residual a 20% del flujo de operación en el sistema de aeración y en el sistema de clarificación con recirculación al 100%. Después 200 y 300 ml para ajustar el nivel de la burbuja. Tomar muestras del agua residual cuando el nivel de clarificación sea 150 y 100 y 50% para establecer la eficiencia del proceso.
11. Aumentar el flujo de agua residual al 50%.
15. Aumentar el flujo de agua residual al 75%.
20. Aumentar el flujo de agua residual al 90%.
25. Aumentar el flujo de agua residual al 95%.
30. Aumentar el flujo de agua residual al 100%.

**Calcular recirculación y carga de lodos y realizar las pruebas necesarias. Continuar con niveles de agua residual y turbidez y SST en reactor.**

### ARRANQUE CON INÓCULO

**objetivo**

El llenar el reactor biológico con agua residual, al mismo tiempo agregar el inóculo, y arrancar la unidad de aeración, todo esto en los siguientes niveles del SST. La recirculación en el aerador secundario se debe hacer del 50%. Monitorear la formación de la espuma y controlar su desarrollo. Después 200 ml y 300 ml para ajustar el nivel de la burbuja. Tomar muestras del agua residual cuando el nivel de clarificación sea 150 y 100 y 50% y establecer la eficiencia del proceso.

1. Llenar el 50%.
2. Llenar el 70%.
3. Llenar el 90%.
4. Llenar el 95%.
5. Llenar el 100%.

**Aumentar el flujo de agua residual y turbidez y SST en reactor.**

**Aumentar el flujo de agua residual y turbidez y SST en reactor.**

**Aumentar el flujo de agua residual y turbidez y SST en reactor.**

**Si el SST disminuye cuando comienza el arranque y cuando toda la operación normal, se comienza la toma de las pruebas de calidad del agua del efluente.**

**Siempre durante las pruebas, se debe indicar una operación normal.**

**Siempre cuando haya cambios se debe de indicar.**

## HIGIENE Y SEGURIDAD

La higiene y seguridad deben iniciar por uno mismo y mantenerse para prevenir enfermedades y accidentes en el lugar de trabajo.

### Comité de higiene y seguridad

Las actividades del comité son:

- Realizar inspecciones
- Desarrollar el manual de higiene y seguridad
- Realizar capacitaciones de higiene y seguridad
- Realizar actividades de higiene y seguridad

### Programas

Los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento

- Programa de higiene y seguridad
- Programa de higiene y seguridad
- Programa de higiene y seguridad

**La capacidad de respuesta ante un riesgo depende de la estructura organizacional.**

### Medidas de higiene

**Hepatitis A**

**Hepatitis B**

**Salmonella**

**Siglo**

**Mucorales**

**Difteria**

**Tuberculosis**

**El agua potable con cloro residual y espumante si se requiere de acuerdo a las normas.**

| Clase / agente ambiental    | Clase / agente | Tipo de riesgo a la salud de la comunidad              |
|-----------------------------|----------------|--|
| Coliformos                  | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |
| Enterobacterias             | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |
| Escherichia coli            | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |
| Legionella                  | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |
| Staphylococcus aureus       | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |
| Streptococcus               | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |
| Salmonella                  | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |
| Shigella                    | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |
| Yersinia enterocolitica     | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |
| Yersinia pseudotuberculosis | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |
| Yersinia enterocolitica     | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |
| Yersinia pseudotuberculosis | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |
| Yersinia enterocolitica     | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |
| Yersinia pseudotuberculosis | Contaminación  | Contaminación de agua que se consume por las personas. |

## INDICADORES ANALÍTICOS

**Empleados para:**

- Monitorear el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que requieren las sustancias orgánicas para ser degradadas por bacterias aeróbicas.

- El aumento significa contaminación por materia orgánica.
- El aumento de BOD<sub>5</sub> indica que está yendo a la planta.
- El aumento de BOD<sub>5</sub> indica que la PTAR está recibiendo materia orgánica.
- El aumento de BOD<sub>5</sub> indica que la PTAR está recibiendo materia orgánica.
- El aumento de BOD<sub>5</sub> indica que la PTAR está recibiendo materia orgánica.

### FLUJO DE AGUA

El flujo de agua en el sistema de tratamiento de aguas residuales debe ser constante.

- El flujo de agua en el sistema de tratamiento de aguas residuales debe ser constante.
- El flujo de agua en el sistema de tratamiento de aguas residuales debe ser constante.
- El flujo de agua en el sistema de tratamiento de aguas residuales debe ser constante.

### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que requieren las sustancias orgánicas para ser degradadas por bacterias aeróbicas.

- El aumento significa contaminación por materia orgánica.
- El aumento de BOD<sub>5</sub> indica que está yendo a la planta.
- El aumento de BOD<sub>5</sub> indica que la PTAR está recibiendo materia orgánica.
- El aumento de BOD<sub>5</sub> indica que la PTAR está recibiendo materia orgánica.

### GRASAS Y ACEITES

El exceso de grasas y aceites en el agua residual puede causar problemas operacionales.

- El exceso de grasas y aceites en el agua residual puede causar problemas operacionales.
- El exceso de grasas y aceites en el agua residual puede causar problemas operacionales.
- El exceso de grasas y aceites en el agua residual puede causar problemas operacionales.

### NUTRIENTES

Las altas concentraciones de nutrientes en el agua residual pueden causar problemas operacionales.

- Las altas concentraciones de nutrientes en el agua residual pueden causar problemas operacionales.
- Las altas concentraciones de nutrientes en el agua residual pueden causar problemas operacionales.
- Las altas concentraciones de nutrientes en el agua residual pueden causar problemas operacionales.

### TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICO

El tiempo de retención hidráulica es el tiempo que tarda el agua en pasar por el sistema de tratamiento de aguas residuales.

- El tiempo de retención hidráulica es el tiempo que tarda el agua en pasar por el sistema de tratamiento de aguas residuales.
- El tiempo de retención hidráulica es el tiempo que tarda el agua en pasar por el sistema de tratamiento de aguas residuales.
- El tiempo de retención hidráulica es el tiempo que tarda el agua en pasar por el sistema de tratamiento de aguas residuales.

| Unidad                         | Significado                    | Medida              |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Demanda Química de Oxígeno     | Demanda Química de Oxígeno     | mg/l                |
| Flujo de Agua                  | Flujo de Agua                  | m <sup>3</sup> /día |
| Grasas y Aceites               | Grasas y Aceites               | mg/l                |
| Nutrientes                     | Nutrientes                     | mg/l                |
| Tiempo de Retención Hidráulico | Tiempo de Retención Hidráulico | horas               |

**MEDIO AMBIENTE** | **IMTA**

## INDICADORES ANALÍTICOS

**Empleados para:**

- Monitorear el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

### TEMPERATURA

Temperatura ambiente para la actividad bacteriana óptima: 20-35°C.

### OXÍGENO DISUELTO (DO)

El DO es un indicador de la salud del sistema de tratamiento de aguas residuales.

- El DO es un indicador de la salud del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- El DO es un indicador de la salud del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- El DO es un indicador de la salud del sistema de tratamiento de aguas residuales.

### pH

El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad del agua residual.

### SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y VOLÁTILES

Los sólidos suspendidos totales y volátiles son indicadores de la contaminación por materia orgánica.

### CONSUMO DE OXÍGENO

El consumo de oxígeno es un indicador de la actividad bacteriana en el sistema de tratamiento de aguas residuales.

**MEDIO AMBIENTE** | **IMTA**

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Material flotante

Indicador de alta concentración de grasas y aceites.

### Acumulación de sólidos

Su origen se debe a una operación ineficiente del afluente o del sedimentador primario o secundario.

### Traectoria de flujos

La observación de la trayectoria del flujo se utiliza para identificar problemas.

### Mezcla y turbulencia

Un tanque bien mezclado presenta uniformidad de concentración en todo su volumen.

### Burbujeo

En el sedimentador secundario indican que el flujo de agua residual está muy turbulento.

**MEDIO AMBIENTE** | **IMTA**

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Color

Todo activado aerado en buenas condiciones debe tener un color ámbar claro.

### Olor

Una PTAR bien operada no genera malos olores.

### Tacto

Una temperatura o vibración excesiva en equipos de bombeo y tuberías indican un mal funcionamiento.

### Algas

Se detectan en las paredes de los tanques de afluente, clarificadores secundarios y en el fondo de los tanques.

### Turbiedad del efluente

Las concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario o en el tanque de contacto de cloro indican un mal funcionamiento de la PTAR.

### Espuma

Color café oscuro: Se puede presentar en el reactor biológico y en los tanques de clarificación secundaria.

**MEDIO AMBIENTE** | **IMTA**



# ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)

- IVL (mL/g) Volumen de lodos sedimentado (mL) / concentración de SSTM (g/L)
- El volumen de lodos sedimentados se determina en una probeta de 1 L después de 30 minutos.
- Los valores de IVL están comprendidos dentro del intervalo 150 a 250 mL/g

**Demasiado joven**

- Aumentar la recirculación
- Eliminar la purga

**Edad adecuada**

**Demasiado viejo**

- Reducir al mínimo la recirculación
- Aumentar la purga

- Se registra el volumen del lodo cada 5 minutos.
- Los datos se grafican para obtener una curva de sedimentabilidad, que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el reactor biológico.
- Durante la prueba se podrá apreciar la forma del floculo, su color y olor.
- El aspecto final de la prueba da una idea de lo que se espera en el sedimentador secundario.
- La información de esta prueba ayudará a conocer el comportamiento del sistema y a detectar problemáticas operacionales.

MEDIO AMBIENTE | IMTA

# NORMATIVA MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

## NOM-001-SEMARNAT-1996

Que establece los límites máximos permitidos de contaminantes en las aguas residuales tratadas que se reúnen en servidumbre al público.

Con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.

| Contaminante                               | Unidad   | Límite Máximo Permisible |
|--|----------|--------------------------|
| Grasas y aceites                           | mg/L     | 100                      |
| Sólidos sedimentables (militros por litro) | militros | 10                       |
| Amoníaco total                             | mg/L     | 1                        |
| Cadmio total                               | mg/L     | 1                        |
| Cianuro total                              | mg/L     | 2                        |
| Cobre total                                | mg/L     | 20                       |
| Cromo hexavalente                          | mg/L     | 1                        |
| Mercurio total                             | mg/L     | 0.02                     |
| Níquel total                               | mg/L     | 6                        |
| Plomo total                                | mg/L     | 2                        |
| Zinc total                                 | mg/L     | 12                       |

MEDIO AMBIENTE | IMTA

# NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

## NOM-002-SEMARNAT-1996

Que establece los límites máximos permitidos de contaminantes en las aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la salud humana y el medio ambiente, y de hacer cumplir la legislación para las responsabilidades de dichas descargas.

El límite máximo permisible de temperatura es de 60°C.

Los límites máximos permitidos para los parámetros DBO y SST, son los establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES**

| Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifica otra) | Promedio mensual | Promedio diario | Instantáneo |
|--|------------------|-----------------|-------------|
| Grasas y aceites   | 30               | 75              | 100         |
| Sólidos sedimentables (militros por litro)                           | 5                | 7.5             | 10          |
| Amoníaco total   | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cadmio total   | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cianuro total  | 1                | 1.5             | 2           |
| Cobre total  | 10               | 15              | 20          |
| Cromo hexavalente  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Mercurio total   | 0.01             | 0.015           | 0.02        |
| Níquel total   | 4                | 6               | 6           |
| Plomo total  | 1                | 1.5             | 2           |
| Zinc total   | 6                | 9               | 12          |

MEDIO AMBIENTE | IMTA

# NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

## NOM-003-SEMARNAT-1997

Que establece los límites máximos permitidos de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúnen en servidumbre al público.

Con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.

SECTOR DE SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO:

- De él que se dedican a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto íntimo. Se consideran las siguientes rejas:

SECTOR DE SERVICIO DE ALTA Y BAJA CON CONTACTO NO DIRECTO U OCASIONAL:

- De él que se dedican a actividades donde el público en general está expuesto indirectamente o en contacto íntimo ocasional, ya sea por barreras físicas o paramoneras de seguridad, así como en las siguientes rejas:

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES**

| TIPO DE REUSO  | Coliformes Totales (NMP/litro) | Mercurio Hexavalente (μg/L) | Cromo y Vanadio (mg/L) | DBO (mg/L) | SST (mg/L) |
|--|--------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------|------------|
| Servicio al público con contacto directo               | 240                            | 1                           | 15                     | 30         | 20         |
| Servicio al público con contacto indirecto u ocasional | 1,000                          | 5                           | 15                     | 30         | 30         |

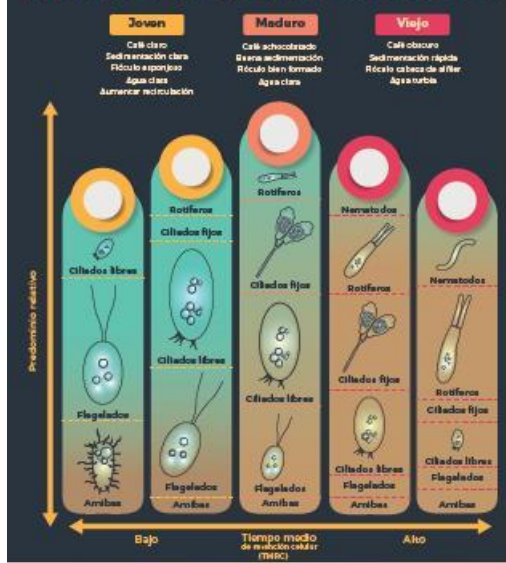
- La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada.
- El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y estadores mayores a los límites máximos permitidos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

MEDIO AMBIENTE | IMTA

### PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

| PARÁMETRO                      | ABREVIACIÓN  | IMPORTANCIA   |
|--------------------------------|--|---|
| Sólidos totales                | ST   | Tiene mayor relevancia en un agua residual y menor relevancia en un agua residual que se va a utilizar para su tratamiento.   |
| Sólidos volátiles totales      | TVT  |   |
| Sólidos fijos totales          | SFT  |   |
| Sólidos suspendidos totales    | STT  |   |
| Sólidos disueltos totales      | SDT  |   |
| Sólidos sedimentables          | SDed   | Indicador de la capacidad por un período específico de tiempo.  |
| Turbiedad                      | NTU  | Para medir la turbiedad de agua residual.   |
| Color                          | CU   | Para medir la turbiedad de agua residual.   |
| Oxígeno                        | NO <sub>2</sub>  | Es importante en el diseño y operación de procesos de tratamiento biológico.  |
| Temperatura                    | Temp   | Es importante en el diseño y operación de procesos de tratamiento biológico.  |
| Condutividad                   | Cl   | Es importante en el diseño y operación de procesos de tratamiento biológico.  |
| Amoníaco libre                 | NH <sub>4</sub>  | Es importante como una medida de nutrientes presentes en el agua residual. Las formas oxidadas pueden ser tomadas como una medida del grado de oxidación.   |
| Nitrógeno orgánico             | NOrg   |   |
| Nitrógeno total Kjeldahl       | NTK  |   |
| Nitratos                       | NO <sub>3</sub>  |   |
| Nitrógeno                      | NO <sub>x</sub>  |   |
| Hidrógeno sulfídrico           | H <sub>2</sub> S   | Es importante como una medida de nutrientes presentes en el agua residual. Las formas oxidadas pueden ser tomadas como una medida del grado de oxidación.   |
| Fósforo inorgánico             | P Inorg  |   |
| Fósforo total                  | PT   |   |
| Fósforo orgánico               | POrg   |   |
| pH                             |  |   |
| Alcalinidad                    |  | Una medida de la capacidad de amortiguamiento del agua en un proceso de tratamiento.  |
| Cloruro                        | Cl   | Importante para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.   |
| Sulfuro                        | SO <sub>4</sub>  | Para evaluar la potencialidad de generar olores y su impacto en el tratamiento de lodos residuales.   |
| Metales                        | Ag, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Hg, Mn, Ni, K, Mo, N, Na, Ni, Zn | Para evaluar la potencialidad de generar olores y su impacto en el tratamiento de lodos residuales. Condiciones toxicas pueden ser importantes para el desarrollo de los microorganismos en un tratamiento biológico. |
| Demanda biológica de oxígeno   | BOD  | Cantidad de oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica biodegradable.   |
| Demanda química de oxígeno     | DQO  | Es un indicador para evaluar la oxidación de la materia orgánica biodegradable. A menudo empleado para sustituir la determinación de BOD.   |
| Carbono orgánico total         | COT  | Indicador de la presencia de compuestos orgánicos específicos y evaluar el desempeño de los procesos de tratamiento.  |
| Toxicidad                      |  | Para determinar la presencia de compuestos orgánicos específicos y evaluar el desempeño de los procesos de tratamiento.   |
| Compuestos orgánicos volátiles | COV  | Para evaluar la presencia de compuestos orgánicos volátiles y su impacto en el proceso de tratamiento.  |
| Organismos coliformes          | CT, CF   | Para evaluar la presencia de organismos coliformes y su impacto en el proceso de tratamiento.   |
| Microorganismos específicos    | Bacterias, protozoos, helmintos, virus                       | Definición de la presencia de organismos específicos en un proceso de tratamiento biológico.  |

### Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados



### PROBLEMAS FRECUENTES EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

| Problema  | Causas   | Observación   |
|---|--|---|
| El reactor turbio, ausencia de floculos sedimentables o dispersos en el medio o esponjoso   | Alta AYM, elevada temperatura de entrada, fase inicial del sistema, elevada DBO                            | Ausencia de floculos, células dispersas en el medio líquido, no ocurre bifloculación  |
| Pérdida permanente de pequeños floculos con el efluente final, IVL bajo (<100 mL/g)   | Diseño turbulento, o tiempo de retención celular elevado, lodo mineralizado, baja F/M                      | Floculos muy pequeños, débiles, como cabezas de alfiler   |
| Capa de lodo espesa en la superficie del sedimentador   | Surgimiento del lodo desde el fondo del sedimentador por desbordamiento, exceso de turbulencia, algas      | Floculos ricos en burbujas de gas con o sin filamentos, espumoso y lodo de igual aspecto  |
| Espuma azul, blanquecina, inestable sobre la superficie del agua  | Presencia de sustancias difíceles biológicamente degradables, tóxicas                                      | Ninguna influencia sobre la estructura de los floculos  |
| Espuma espesa amarillada, estable principalmente en el tanque aerobio   | Presencia de bacterias filamentosas u hongos extremófilos. Formación de espumas                            | Espuma rica de Hordard, Aferobacter, penicilina o Tipo 1022   |
| Lodo de consistencia gelatinosa, IVL alto, espuma gelatinosa en el tanque aerobio, pérdida de floculos en el efluente final   | Aglomerado viscoso o no filamentoso, carencia de nutrientes y alto F/M                                     | Floculos ricos en formas coqueales y presencia de polímeros asociados en el efluente con la presencia de lodo chito. Presencia de Thauvergo sp.   |
| IVL alto o muy alto (>100 mL/g), difícil para separar los líquidos de sólidos, inicio con un efluente limpio de excelente calidad hasta la pérdida masiva de floculos. Lodo de recirculación poco concentrado | Presencia de bacterias filamentosas en exceso. Las causas varían en relación al tipo de organismo presente | Floculos con crecimiento de filamentosos desde la periferia hacia el líquido circundante, puente entre floculos o filamentosos creciendo en el interior y debilitando la forma de los floculos, o en tramo que dejan espacios vacíos en su estructura |

### RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS





**Figura 78 Infografías**

En el caso del Manual de ejercicios prácticos, en este manual (Figura 79) se presentan una serie de ejercicios prácticos que están clasificados por niveles, de tal manera que el operador podrá resolverlos inicialmente por el mismo y posteriormente la complejidad de los ejercicios le requerirá hacer uso de materiales de apoyo, o recurrir a sus colegas para dar una solución adecuada, y finalmente en un nivel más superior para poder resolver el ejercicio tendrá que recurrir a la ayuda del instructor.

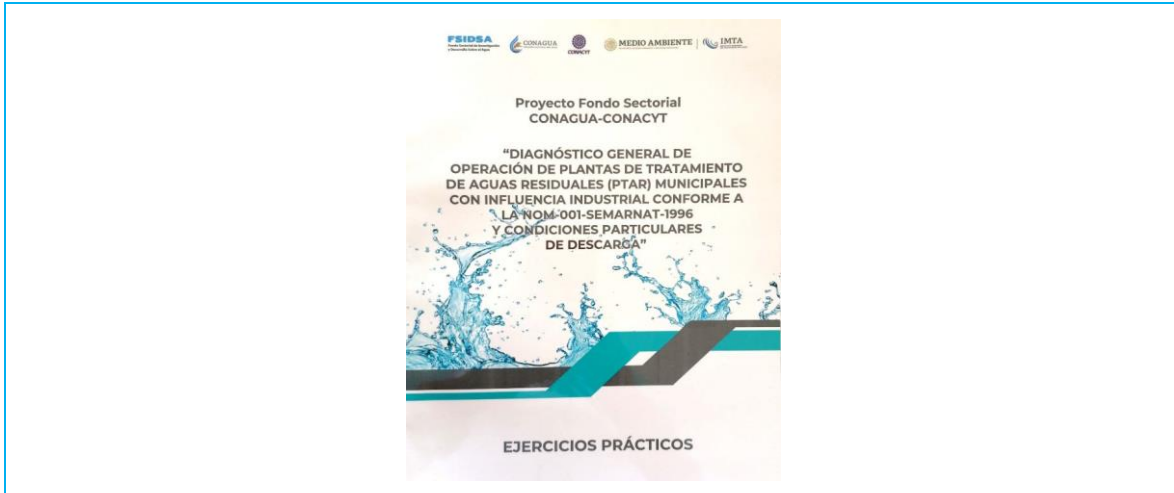
Para la ejecución de estos ejercicios se hará uso de:

- Preguntas de opción múltiple
- Preguntas directas
- Presentación de problemas operacionales
- Preguntas de reflexión, con problemas que desde un punto de vista pueden presentar múltiples interacciones entre los procesos

Estos ejercicios están relacionados a su vez con conocimientos generales, teóricos y prácticos de la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por lo anterior, lo que pretende este manual es que el operador al final cuente con los conocimientos que le permita discernir los niveles de problemas operacionales que se pueden presentar en una PTAR y a su vez tener una herramienta que le permita jerarquizarlos para obtener la mejor y correcta solución.

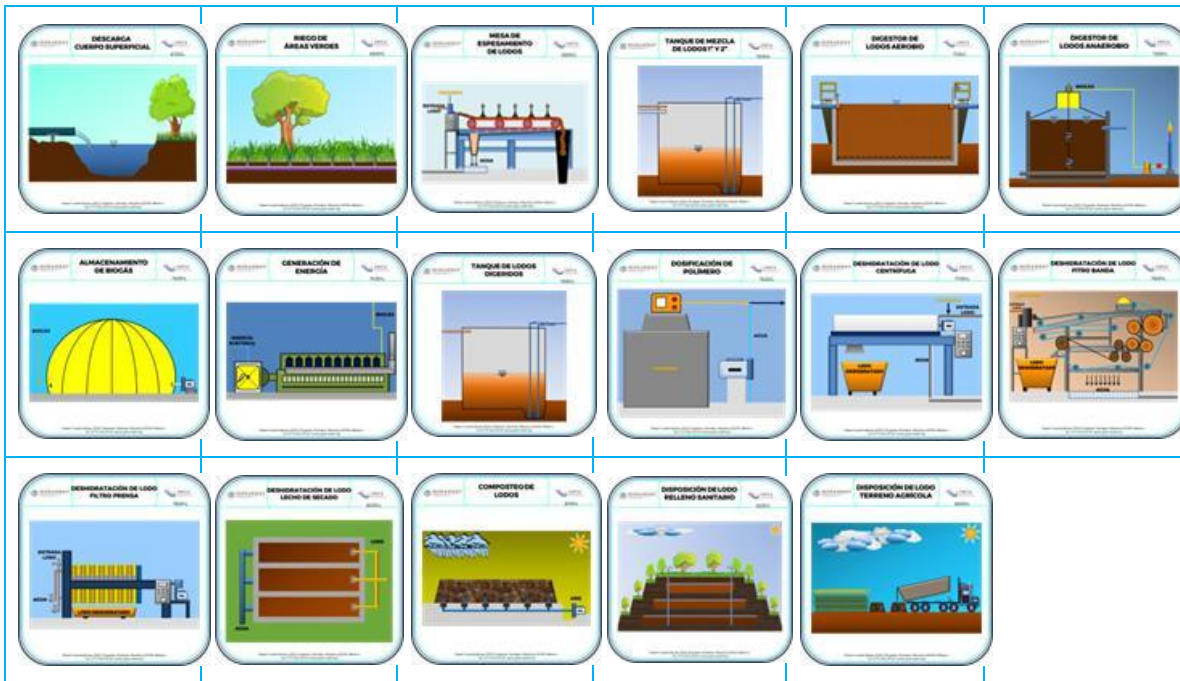
Este manual va acompañado de un kit de imágenes (Figura 80) que representan todos los posibles procesos que pueden estar presentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.



**Figura 79 Manual de ejercicios prácticos**







**Figura 80 Kit de figuras**

A continuación, en la Figura 81 se muestra el oficio de entrega.

## CARTA DE ENTREGA Y RECEPCIÓN

### MATERIAL DE APOYO TÉCNICO IMPRESO

El que suscribe Iny. Sergio Núñez Arias en representación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Cerro de la Estrella", ubicada en CDMX, manifiesta recibir de conformidad el material de apoyo técnico impreso en perfecto estado, consiste en:

1. Infografía
2. Manual:
  - a. Seguridad e higiene
  - b. Control de proceso
  - c. Calidad del agua
  - d. Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
  - e. Indicadores sensoriales
  - f. Indicadores analíticos
  - g. Ejercicios prácticos
3. Kit de imágenes de proceso

Dicho material impreso está relacionado con las actividades del proyecto Fondo Sectorial CONAGUA-CONACYT "DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA"

Se firma la presente carta de entrega y recepción del material de apoyo técnico impreso a los 8 días del mes de Dic. de 2021.

Recibe de conformidad



**Figura 81 Entrega de material didáctico**

## 5. SEGURIDAD E HIGIENE

De acuerdo con la información recabada en campo, no se cuenta con un estudio de análisis de riesgos en la PTAR, sin embargo, las zonas de riesgo están relacionadas con el uso de gas cloro, el cual podría causar riesgo químico, para ello tienen establecido horarios para su almacenamiento, así como una cuadrilla de personal designado para esta actividad, la cual cuenta con equipo básico de protección (guantes, lentes, casco, cubrebocas). En la planta también se observaron riesgos sanitarios, de caídas, eléctricos y uso de equipo pesado.

La planta cuenta con vigilancia en la entrada y una bitácora de registro para toda persona externa que ingrese o salga de las instalaciones.

La planta no cuenta con planes de contingencia, para atención de incendios y/o derrames de combustibles, cuentan con espacio para extintores, sin embargo, estos están vacíos.

Cuentan con áreas de punto de reunión en caso de sismo, pero no se encuentran señaladas, solo se conocen dichas áreas por los simulacros realizados de manera esporádica, además, no se cuenta con equipo ni cuadrilla específica para sismos.

En los pasillos, de las instalaciones de la planta, se observó el riesgo de caídas, por el deterioro del suelo, además de riesgos eléctricos por la exposición de cables sueltos y riesgos por posibles fugas en el área de cloración. En algunas partes de la planta se observaron letreros donde indican el riesgo de la zona (Figura 82).

Existen dentro de la planta disposiciones de seguridad, tales como, el uso de equipo de protección para los operadores. Además, se tienen algunas áreas con señales de seguridad y peligro. En las tuberías se observó su identificación por colores, así como las áreas destinadas para el uso de sustancias químicas peligrosas o residuos como el aceite usado. Dentro del área de oficinas se cuenta con teléfono fijo para llamadas de emergencia.

En el caso de la sala de cloración, debido a que actualmente no se clora, no se utiliza equipo de protección.

En la planta se cuenta con enfermería y médico en ambos turnos la cual está equipada para dar primeros auxilios y medicamentos básicos.



En relación con las medidas de seguridad por SARS-CoV-2, se cuentan en oficinas y áreas comunes con gel desinfectante y zona específica para duchas. El personal debe contar siempre con cubrebocas.

Las actividades que realiza el personal con equipo de protección son las siguientes:

- Extracción de sólidos en rejillas mecanizadas; se realiza una vez por turno. Equipo de protección; guantes, fajas y lentes.
- Medición de parámetros en el sistema biológico; se realiza dos veces al día con tomas simples o compuestas para su posterior análisis en el laboratorio. Equipo de protección; guantes, bata y lentes.
- Mantenimiento y limpieza de agitadores; esta actividad se realiza 1 vez la semana. Equipo de protección; guantes, fajas y casco de protección.
- Vaciado de unidad de proceso; se realiza cada 3 meses y depende del que requiera mantenimiento ya que varía en el tanque primario o secundario. Equipo de protección; guantes, fajas y mascarilla.
- Disposición de grasas y aceites; se realiza cada 3 meses, es necesario el paro del equipo soplador, para poder realizar el cambio de aceite. Equipo de protección; guantes, fajas y lentes.
- Control de bombas; 1 vez por turno, revisión del equipo motor, arrancador y puesta en marcha. Equipo de protección; guantes y lentes.
- Control de tableros eléctricos; 1 vez por turno, paro del equipo revisión y reparación de falla en tablero. Equipo de protección; casco, guantes, fajas y lentes.





**Figura 82 Zonas de riesgo en la PTAR Cerro de la Estrella**

## 6. LABORATORIO

La PTAR cuenta con un laboratorio y se labora en dos turnos; mañana y tarde. Cada uno con un técnico químico industrial como responsable del área y tres ayudantes analíticos. Los parámetros que se analizan dos veces al día son:

- Sólidos sedimentables
- Oxígeno disuelto
- Conductividad
- Cloruros
- Temperatura
- Alcalinidad
- Dureza total
- Dureza de calcio
- Sólidos suspendidos totales
- Sólidos suspendidos volátiles
- Sólidos suspendidos fijos

Los resultados de los análisis de la PTAR sirven para conocer el funcionamiento diario de la planta o si algo está fallando en el sistema operacional de la misma. Cabe hacer mención que tanto el laboratorio como el personal no están certificados ante la EMA o Conagua.

Las instalaciones se observan limpias, con una distribución ordenada, libre de obstáculos y ventilada, sin embargo, no se tienen identificadas las diferentes áreas. Con respecto a las instalaciones eléctricas se cuentan con varios contactos de toma de corriente, pero muchas no funcionan.

El laboratorio no cuenta con el equipo para realizar las determinaciones analíticas de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno ni nitratos, se cuenta con una mufla y una estufa pequeña, se carece de un programa de mantenimiento para equipos. En ocasiones se usan botellas como recipientes contenedores. No se cuenta con la iluminación adecuada (Figura 83).



**Figura 83 Equipo de laboratorio**

En términos de seguridad no existen señalizaciones o rutas de evacuación, el botiquín de primeros auxilios se encontró vacío y en el área de extintor éste no se encontró. La campana de extracción es utilizada para otros fines y no está habilitada para su funcionamiento (Figura 84).



**Figura 84 Seguridad en el laboratorio**

Con respecto a manuales, solo se cuenta con el de procedimientos y análisis, no hay de buenas prácticas de laboratorio, así como tampoco bitácoras personales o de uso de equipo y mantenimiento.

Por pandemia del SARS-CoV-2 la frecuencia de los análisis se vio afectada y en el reporte de éstos solo se encuentran sólidos y conductividad.

En resumen, el laboratorio opera de manera deficiente por falta de equipo y reactivos, los técnicos sugieren capacitación en términos de la norma para la realización del análisis de los parámetros.

## 7. CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR

### 7.1. Causas

Para poder ponderar las causas que influyen de manera negativa en el desempeño de la PTAR, se hace uso de una clasificación que consta de tres niveles de impacto, a saber:

#### Nivel I

Son los que presentan un mayor efecto y con problemas físicos difíciles de resolver de las unidades de proceso más importantes.

#### Nivel II

Son los que contribuyen rutinariamente al bajo desempeño o producen mayores efectos en una base periódica o estacional.

#### Nivel III

Son los que presentan mínimos efectos, fáciles y económicos de resolver, normalmente de operación y administración.

Así, tomando como base la información obtenida de los capítulos anteriores, y la clasificación de las causas que influyen en el desempeño de la PTAR, se elabora la Tabla 37.

**Tabla 37 Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR**

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño                            | Atención      |
|-----|-------|--|---------------|
| 1   | I     | Acumulación de lodo en sedimentadores primarios          | Corto plazo   |
| 2   |       | Fuera de operación de agitadores en selectores           | Corto plazo   |
| 3   |       | Presencia de maleza en filtros                           | Corto plazo   |
| 4   |       | Falta de cloro para desinfección de agua tratada         | Corto plazo   |
| 5   |       | Falta mantenimiento                                      | Corto plazo   |
| 1   | II    | Control de entrada del caudal a cada tren de tratamiento | Corto plazo   |
| 2   |       | Fugas de aire en sistemas de difusión                    | Corto plazo   |
| 3   |       | Barandales en mal estado en unidades de operación        | Mediano plazo |
| 4   |       | Equipos electromecánicos fuera de servicio               | Corto plazo   |
| 1   | III   | Acumulación de basura en unidades de operación           | Corto plazo   |

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño   | Atención      |
|-----|-------|---|---------------|
| 2   |       | Falta de equipos, materiales y reactivos para análisis de parámetros de control | Corto plazo   |
| 3   |       | Falta de un programa de mantenimiento preventivo                                | Mediano plazo |
| 4   |       | Capacitación al personal de operación   | Mediano plazo |
| 5   |       | Capacitación al personal de laboratorio   | Mediano plazo |

## 7.2. Descripción de la causa y recomendaciones

### 7.2.1. Nivel I

| Causa   | Recomendación   |
|---|---|
| <p><b>1. Acumulación de lodo en sedimentadores primarios</b></p> <p>Hay una acumulación de lodos en los trenes 2, 3 y 7, que no debería existir, ya que no están en operación. De igual manera en los trenes 1, 9, 10, 11 y 12, existe una acumulación de lodos, algo que no sucede en los trenes 4, 5, 6 y 8.</p> <p>La acumulación de lodos se debe a que las rastras no están operando, el sistema mecánico está en malas condiciones por lo que se encuentra fuera de operación. Además, las bombas de purga de lodos están en malas condiciones o fuera de operación. Por lo que, solo se extrae por gravedad lo que se acumula en tolvas, siendo una actividad poco recurrente.</p> | <p>Como primera acción sería el vaciado de las unidades y limpieza. Segunda, sustitución de rastras y su sistema mecánico. Tercero, instalación de nuevas bombas de purga de lodos.</p> |

| <b>Causa</b>  | <b>Recomendación</b>  |
|---|---|
| <p>Esto ha ocasionado que la eficiencia de los sedimentadores primarios en la remoción de los SST sea muy baja o negativa en algunos casos. Esto se debe a que la acumulación del lodo resta volumen a la unidad y por tanto, se disminuye el tiempo de residencia hidráulica, lo que ocasiona que la velocidad de paso se incremente impidiendo la sedimentación de las partículas y ocasionando en algunos casos hasta el arrastre de las sedimentadas.</p>   |   |
| <p><b>2. Fuera de operación de agitadores en selectores</b></p> <p>Los reactores biológicos fueron diseñados con una zona anóxica o selectores, con el objetivo de remover nitrógeno, por lo que se cuenta con un agitador para mezclar el agua residual con el lodo de recirculación (microorganismos), además de evitar que este sedimento, y así los microorganismos estén en contacto con la materia orgánica y los nitratos. Sin embargo, actualmente, no se encuentran en operación. Lo que origina que los selectores tengan una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica y nitrógeno, ya que por la falta de mezcla se promueva la sedimentación de los</p> | <p>Rehabilitar motores o cambio de total de los agitadores.</p> |

| <b>Causa</b>   | <b>Recomendación</b>  |
|--|---|
| <p>SST y la generación de cortos circuitos.</p>  |   |
| <p><b>3. Presencia de maleza en filtros</b></p> <p>Los filtros de arena sílica fueron rehabilitados en 2007, para operar de manera manual, semiautomáticamente y automáticamente, sin embargo, con el paso de los años el sistema se fue deteriorando y no se dio el mantenimiento requerido, de tal manera que los filtros quedaron fuera de servicio. Además, no se repuso arena en este lapso de operación.</p> <p>El hecho de que estén fuera de operación ha generado la proliferación de malezas sobre su superficie, lo que impide aún más su correcta operación, ya que no se puede aprovechar todo el volumen de la cama de filtración.</p> | <p>Remover la maleza y material filtrante. Comprobar estado del bajo dren y de ser necesario sustituir. Colocar nuevo material filtrante. Valorar si la operación puede ser manual o la posibilidad de adquirir un nuevo PLC para una operación y retrolavado automática.</p> |
| <p><b>4. Falta de cloro para desinfección de agua tratada</b></p> <p>Actualmente, no se cuenta con cloro en la PTAR, por lo que el agua residual tratada no es desinfectada, y recordar que el agua es reusada en riego de áreas verdes y llenado de lagos, así como por algunas industrias. Lo anterior puede repercutir en un problema de salud pública.</p>   | <p>Obtener los recursos económicos para su pronta adquisición.</p>  |



| <b>Causa</b>   | <b>Recomendación</b>   |
|--|--|
| <p><b>5. Falta mantenimiento</b></p> <p>En general, no se observa mantenimiento en las unidades de proceso. De acuerdo con pláticas con personal de operación, no se cuenta las herramientas ni refacciones ni los recursos económicos suficientes para atender las necesidades que se requieren en la planta. Se opera con lo que se tiene.</p> | <p>Realizar las gestiones ante las autoridades pertinentes para solicitar el presupuesto necesario para reparar al 100% la planta y posteriormente contar con los recursos anuales que permitan mantener las instalaciones operando adecuadamente.</p> |

### **7.2.2. Nivel II**

|  |  |
|--|--|
| <p><b>1. Control de entrada del caudal a cada tren de tratamiento</b></p> <p>Actualmente, el control del caudal hacia cada tren de tratamiento se hace mediante una compuerta que controlan los operadores mediante un número de vueltas, sin saber a ciencia cierta cuál el caudal de agua que ingresa a cada tren.</p> | <p>Establecer una metodología de control. Se recomienda la instalación de medidores ultrasónicos que permitan saber exactamente el caudal que ingresa a cada tren de tratamiento.</p>  |
| <p><b>2. Fugas de aire en sistemas de difusión</b></p> <p>Todos los reactores cuentan con un sistema de difusión de burbuja fina, que es alimentado por aire. Estos sistemas además cuentan con una purga de condensados que está colocada junto a la entrada de aire del cabezal,</p>                                   | <p>Recurrir a los proveedores de los difusores, verificar su tiempo de vida útil y el flujo de aire de diseño, de igual manera para los sopladores. Realizar cálculos para determinar si no existe un sobre flujo de aire en los difusores.</p> <p>Cambiar de ubicación a las tuberías de purgas de condensados.</p> |

|  |   |
|--|---|
| <p>cuando debería estar al final del mismo, para que exista el arrastre del agua condensada. Además, la tubería de las purgas es de una manguera, que en varios reactores se encuentra rota, por lo que existe una fuga de aire.</p> <p>Por otra parte, en varios reactores existen difusores rotos, ya que se aprecia borbollones de aire en la superficie del agua. Esto ocasiona que en estas zonas la transferencia de oxígeno sea muy deficiente, además, de que la formación de burbujas grandes y a la velocidad a la que emergen a la superficie, crea una turbulencia excesiva en el agua que rompe los flóculos. Lo que posteriormente puede ocasionar una mala sedimentación.</p> | <p>Revisar estado de difusores y cambiar los dañados y de ser necesario sustituirlos.</p>   |
| <p><b>3. Barandales en mal estado en unidades de operación</b></p> <p>Las instalaciones de civiles de la planta datan desde los inicios de 1970, por lo que actualmente tiene más o menos 50 años, por lo que varias estructuras civiles y barandales se encuentran deterioradas.</p>  | <p>Realizar recorrido por las instalaciones e identificar las áreas de mayor a menor requerimiento de atención y elaborar un calendario de sustitución de barandales y de partes civiles.</p> |

### 7.2.3. Nivel III

|   |   |
|---|---|
| <p><b>1. 1. Acumulación de basura en unidades de operación</b></p> <p>En todas las unidades de operación existe en mayor o menor medida presencia de basura o malezas en la superficie del agua, lo que da un mal aspecto a la planta. Sin embargo, el personal de operación no cuenta con el equipo necesario para retirar estos sólidos.</p>  | <p>Adquirir los implementos necesarios para que el personal de operación ejecute las actividades de limpieza de las unidades de proceso.</p>                                    |
| <p><b>2. Falta de equipos, materiales y reactivos para análisis de parámetros de control</b></p> <p>Si bien se cuenta con un laboratorio equipado, algunos de éstos ya son obsoletos o requieren mantenimiento y en relación con material, y en especial el de cristalería, está muy deteriorado. Además, el personal no cuenta con los reactivos necesarios para realizar los análisis de los parámetros básicos para el control del proceso.</p> <p>Por lo que actualmente, la planta casi se opera solo con la experiencia del personal de operación, y sin ningún fundamento técnico.</p> | <p>Obtener los recursos económicos para su pronta adquisición.</p>  |
| <p><b>3. Falta de un programa de mantenimiento preventivo</b></p> <p>En general, se observa en todas las unidades de proceso una falta de</p>   | <p>Obtener los recursos económicos para la adquisición de los recursos materiales necesarios, herramientas, materiales y refacciones, para su pronta su pronta elaboración.</p> |

|   |   |
|---|---|
| <p>mantenimiento, tanto para equipos electromecánicos, instalaciones eléctricas, hidráulicas y civiles. Se observó que no se cuenta con un programa de mantenimiento preventivo porque no se cuenta con recursos materiales ni económicos para llevarlo a cabo.</p>   |   |
| <p><b>4. Capacitación al personal de operación</b></p> <p>La planta cuenta con alrededor de 70 operadores, de los cuales solo siete entregaron su diagnóstico por escrito, lo cual pone de manifiesto su temor a ser señalados por su falta de conocimientos técnicos, aunque es importante reconocer que conocen bastante bien las plantas de tratamiento, aunado a que tienen, en su mayoría, más de 20 años de servicio.</p> <p>Si bien, para subsanar un poco esta problemática, se les proporcionó material didáctico que consistió en manuales técnicos e infografías.</p> <p>En pláticas con personal de operación, se pudo constatar el interés que muestran por saber y entender técnicamente como se desarrolla el proceso de lodos activados, sin embargo, algunos comentan que nunca han recibido capacitación.</p> | <p>Realizar obligatoriamente un diagnóstico a todo el personal que esté involucrado en la operación y control, de la planta de tratamiento.</p> <p>De acuerdo con el diagnóstico, elaborar un programa que establezca que personal requiere de capacitación a corto, mediano y largo plazo.</p> <p>Elaborar temarios de acuerdo con los resultados del diagnóstico.</p> <p>Elaborar un programa de capacitación.</p> <p>De preferencia que los grupos de capacitación como máximo sean de 15 personas y que los cursos en su mayoría cuenten con al menos un 60% de prácticas.</p> <p>Que los cursos se impartan en las mismas instalaciones, ya que se cuenta con aula. Esto favorecería la participación.</p> |

### **5. Capacitación al personal de laboratorio**

Es necesario realizar un programa de monitoreo de control analítico de los parámetros que se efectúa el personal, así como tener un manual de buenas prácticas de laboratorio actualizado. Así como, actualizar los procedimientos analíticos.

El personal tiene, en su mayoría, más de 20 años de servicio.

En pláticas con personal, se pudo constatar el interés que muestran por saber y conocer nuevas técnicas y procedimientos, sin embargo, algunos comentan que nunca han recibido capacitación.

Elaborar un programa de capacitación.

Que los cursos se impartan en las mismas instalaciones, ya que se cuenta con aula y el laboratorio. Esto favorecería la participación.

## 8. CONCLUSIONES

- 1) La PTAR Cerro de la Estrella es de lodos activados en modalidad Ludzack-Ettinger, que además de estabilizar materia orgánica también remueve nitrógeno, y consta de 14 trenes de tratamiento de aguas residuales.
- 2) El agua residual tratada se reúsa en riego de camellones, parques recreativos y deportivos, recarga de lagos y canales y en la industria.

### 3) Título de concesión de descarga

- a) La planta de tratamiento no cuenta con Título de concesión de descarga otorgada por la Comisión Nacional del Agua. Aunque, tiene dos tomas de agua residual tratada de llenado de pipas, una ubicada dentro de las instalaciones de la PTAR y otra sobre la avenida San Lorenzo. Además, el agua es bombeada a la industria y a lagos en Cuernavaca y Xochimilco.

### 4) Memoria de cálculo

- a) Tiene fecha 20/04/2007, que corresponde al año en el cual se realizó la última rehabilitación a la PTAR.
- b) Se basa en las unidades de proceso ya construidas, por lo que solo se hacen ajustes.
- c) Tener tiempos medios de retención celular, de 4 a 5 días, lo que sugiere una alta producción de lodos.
- d) En el cálculo de la demanda de oxígeno se cita que el reactor biológico no nitrificará, estabilización de nitrógeno amoniacal a nitrógeno de nitratos, cuando esta unidad cuenta con un selector anóxico, que es empleado para remover nitrógeno y en donde deben estar presentes los nitratos. Lo anterior lleva a una incongruencia en la memoria de cálculo. Lo anterior puede llevar a una falta de oxígeno en el sistema de tratamiento.

### 5) Información histórica de calidad del agua

- a) El laboratorio central de SACMEX realiza un análisis rutinario cada mes a la descarga de la PTAR. Se proporcionó información del periodo enero a septiembre del año 2021.
- b) Considerando que el agua residual tratada es empleada para el riego de áreas verdes, llenado de lagos y en la industria los parámetros que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997 son: pH, SST, S Sed., PT, DBO, G y A, y metales. No cumplen con la norma; NT y CF.

- c) Los valores de la relación DBO/DQO va de 0.5 a 1.0, con un promedio de 0.7, lo que indica que es un agua residual sin problemas de biodegradabilidad, o en otras palabras, que tiene muy poca influencia industrial.
- d) Solo se proporcionó información de 2019 del caudal que ingresa a la PTAR, y éste está comprendido entre los 1,100 y 1,500 L/s, lo que representa de un 37 a 50% de caudal de diseño (3,000 L/s). Por lo que la planta estuvo subutilizada.

## **6) Información del Proceso**

- a) En los años 2020 y 2021 a causas de la pandemia del Covid-19, el laboratorio ha operado muy poco, ya que el personal no asiste con regularidad y tampoco se cuenta con recursos para material y reactivos, por lo tanto, los análisis realizados son muy escasos.
- b) Se proporcionó información del año 2019 (enero-noviembre).
- c) El caudal en el periodo de estudio fue de 1,100 a 1,500 L/s, menor al de operación, que es de 3,000 L/s.
- d) El consumo de alcalinidad es un indicador indirecto de que el proceso si nitrifica, contrario a lo que se cita en la memoria de cálculo.
- e) Los sólidos sedimentables cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-003-SEMARNAT-1997.
- f) No se proporcionó el programa de mantenimiento anual.
- g) Existe una bitácora de operación y reporte de fallas, en donde se registra el mantenimiento ocasional que se les llega a dar a los equipos electromecánicos.

## **7) Funcionamiento de la PTAR**

- a) El estado físico de las estructuras metálicas (pasillos y barandales) se encuentra, en su mayoría corroídas, lo que representa un problema de seguridad para los trabajadores y visitantes
- b) El estado de la obra civil de la PTAR está deteriorado por la antigüedad de la misma y la falta de mantenimiento.
- c) El registro del caudal de entrada se realiza por medio de dos canales Parshall, uno al norte para los trenes 1 a 8 y otro al sur para los trenes 9 a 14.
- d) La entrada de caudal a cada tren se hace por medio de compuertas, que no cuentan con una medición, por lo que a ciencia cierta se desconoce cuánta agua residual ingresa a cada tren.
- e) Los sedimentadores primarios se encuentran fuera de operación, solo pasa el agua por ellos. El sistema mecánico de las rastras y las bombas

de purga de lodos están en muy mal estado. Por lo que existe acumulación de lodos.

- f) La purga de lodos de los sedimentadores primarios se realiza de manera ocasional, solo se abre la válvula y se extrae por carga hidráulica lo que contiene la tolva.
- g) En la superficie de los sedimentadores primarios se observa una gran acumulación de basura y maleza. Además, existe un fuerte olor a ácido sulfhídrico, lo cual ha corrido la mayoría de los vertedores.
- h) Los agitadores en los selectores se encuentran fuera de operación, por lo que la nitrificación no es del 100%.
- i) Existen fugas de aire en las líneas de purga de condensados.
- j) Existen varios difusores dañados.
- k) Existe presencia de maleza en el área de andadores entre los reactores biológicos.
- l) El estado físico de los sedimentadores secundarios es bueno, ya que no presentan problemas en su mecanismo de rastras ni presencia de natas en la superficie,
- m) El agua clarificada no ingresa a los filtros y es conducida por un by pass al tanque de contacto de cloro.
- n) El sistema de control de operación y retrolavado de filtros se encuentra deshabilitado, por lo que éstos se encuentran fuera de operación.
- o) Desde el 2007 no se ha realizado un cambio o reposición de material filtrante.
- p) Los filtros se encuentran saturados con maleza y plantas acuáticas.
- q) Actualmente no se realiza la desinfección del agua residual tratada, debido a que no se cuenta con gas cloro. Se estima, que es un riesgo para la población que rodea a la PTAR.
- r) La mayoría de los equipos electromecánicos se encuentran fuera de servicio, además hay muchos que ya no se utilizan y no han sido dispuestos en un lugar adecuado.
- s) El estado físico de los equipos electromecánicos es malo y la obra civil en donde se resguardan requiere mantenimiento.

## **8) Muestreo**

- a) El caudal de la PTAR durante el muestreo fue de 734.9 L/s, por lo que, opera al 24.5% de su capacidad, que es de 3,000 L/s. Esto se debe a una ruptura del emisor que conduce al agua residual a la PTAR, de acuerdo con información del personal.



- b) En el momento de la evaluación los trenes 2, 3, 7, 13 y 14 estaban fuera de operación, por lo que, solo se mantienen aerados.
- c) Los parámetros evaluados en el muestreo compuesto y que cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021 son; pH, temperatura, coliformes fecales, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales, nitrógeno y fósforo total, demanda bioquímica y química de oxígeno, color, metales y toxicidad.
- d) La concentración de materia orgánica en el influente, medida como DBO fue de 71 mg/L y como DQO de 253 mg/L, concentraciones por debajo de lo establecido en el diseño de la PTAR, 217 y 401.5 mg/L, respectivamente.
- e) El valor de la relación de entrada DBO/DQO es de 0.28, lo que sugiere una influencia industrial, hecho que puede ser comprobado con la toxicidad que proporciona un valor de 2 UT.
- f) Los parámetros evaluados en el muestreo simple y que cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021 son; pH, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica y química de oxígeno y fósforo total, sin embargo, el nitrógeno total no cumple.
- g) Al comparar los resultados obtenidos por el muestreo compuesto y simple, con los establecidos en el diseño de la PTAR, se puede establecer que ésta cumple al 100%.

#### **9) Determinaciones de campo**

- a) De acuerdo con las pruebas de sedimentabilidad, los lodos presentan un color café ligeramente oscuro, característico de un lodo viejo, además, de que sedimentan muy rápidamente en los primeros 5 minutos. Sin embargo, el clarificado es claro.
- b) Debido a que los trenes operan por debajo del 50% del caudal de diseño y a que la carga orgánica es baja, la concentración de SSV de diseño (2,000 mg/L) no se cumple, ya que en su mayoría están por debajo de los 1,000 mg/L. Esto no permite tener un valor adecuado de IVL.
- c) En la memoria de cálculo se establece que la zona anóxica tiene una longitud de 15 m, sin embargo, físicamente se observa que esta zona se prolonga hasta los 30 m aproximadamente.
- d) La falta de operación de los agitadores o mezcladores en los reactores biológicos del 1 al 9, es un factor negativo para obtener una mezcla homogénea en la zona anóxica, y por ende en la obtención de un eficiente proceso de desnitrificación.

- e) En los reactores biológicos 1, 4, 8 y 10 se observa que la concentración del oxígeno disuelto residual se incrementa rápidamente después de los 45 m, lo que sugiere la entrada de una baja carga orgánica y de nitrógeno amoniacal, y por ende un menor caudal de agua residual. Esto hace suponer que el control del caudal por medio de compuertas no es equitativo a cada tren.
- f) Los reactores biológicos 5, 6, 9, 11 y 12 muestran una tendencia normal de acuerdo con lo que se presenta en la literatura; aumento de pH y baja concentración de oxígeno disuelto residual en la zona anóxica y en la parte aerobia descenso de pH y una concentración de oxígeno residual alrededor de los 2 mg/L.
- g) El hecho de que los sedimentadores secundarios no presenten el mismo nivel de manto de lodos, puede ser debido a no se recibe el mismo caudal en cada uno de los trenes y otra el caudal de recirculación de lodos es diferente.

## **10) Influencia industrial**

- a) El Registro de Descargas de Aguas Residuales de la Ciudad de México (2015) menciona que existen 570 (40.8%) descargas que son industriales, 1131 (27.3%) son de servicios y 430 (38.2%) de comercios.
- b) El caudal de agua residual de industrias, servicios y comercios es de 228.9 L/s, y representa el 32.7% del influente que llega a la PTAR (3,000 L/s de diseño).

## **11) Evaluación de conocimientos**

- a) Un 84% del personal que labora en la PTAR tiene más de 20 años de antigüedad.
- b) Se cuenta con una plantilla de 71 operadores, y sin embargo, solo siete contestaron el diagnóstico.
- c) El diagnóstico muestra que el personal de operación conoce muy bien la planta y los procesos que la conforman, sin embargo, no tienen bases técnicas.
- d) Para subsanar la falta de conocimientos técnicos, se entregó material didáctico que consta de manuales e infografías, con temas relacionados al proceso de lodos activados, normatividad y seguridad.

## **12) Seguridad**

- a) No se cuenta con un estudio de análisis de riesgos en la PTAR, sin embargo, las zonas de riesgo están relacionadas con el uso de gas cloro, sanitario, de caídas, eléctricos y uso de equipo pesado.

- b) La planta cuenta con vigilancia en la entrada y una bitácora de registro para toda persona externa que ingrese o salga de las instalaciones.
- c) La planta no cuenta con planes de contingencia, para atención de incendios y/o derrames de combustibles, cuentan con espacio para extintores, sin embargo, estos están vacíos.
- d) Cuentan con áreas de punto de reunión en caso de sismo, pero no está señalada, además, no se cuenta con equipo ni cuadrilla específica para sismos.
- e) Existen dentro de la planta disposiciones de seguridad, tales como, el uso de equipo de protección para los operadores. Además, se tienen algunas áreas con señalamientos de seguridad y peligro.
- f) Las tuberías están identificadas por colores, así como las áreas destinadas para el uso de sustancias químicas peligrosas o residuos como el aceite usado.
- g) En oficinas se cuenta con teléfono fijo para llamadas de emergencia.
- h) Se cuenta con enfermería y médico, la cual está equipada para dar primeros auxilios y medicamentos básicos.
- i) Las medidas de seguridad por SARS-CoV-2, son contar en oficinas y áreas comunes con gel desinfectante y zona específica para duchas. El personal debe contar siempre con cubrebocas.

### **13) Laboratorio**

- a) La PTAR cuenta con un laboratorio y se labora en dos turnos; mañana y tarde. Cada uno con un técnico químico industrial como responsable del área y tres ayudantes analíticos.
- b) Se tiene la capacidad para analizar dos veces al día los siguientes parámetros: Sólidos sedimentables, Oxígeno disuelto, Conductividad, Cloruros, Temperatura, Alcalinidad, Dureza total, Dureza de calcio, Sólidos suspendidos totales, Sólidos suspendidos volátiles y Sólidos suspendidos fijos.
- c) El laboratorio no cuenta con el equipo para realizar las determinaciones analíticas de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno ni nitratos.
- d) En términos de seguridad no existen señalizaciones o rutas de evacuación, el botiquín de primeros auxilios se encontró vacío y en el área de extintor éste no se encontró.

- e) Se cuenta con manuales de procedimientos y análisis, pero no hay de buenas prácticas de laboratorio, así como tampoco bitácoras personales o de uso de equipo y mantenimiento.
- f) Por pandemia del SARS-CoV-2 la frecuencia de los análisis se vio afectada y solo se reportan sólidos y conductividad.
- g) El laboratorio opera de manera deficiente por falta de equipo, material y reactivos.

#### **14) Causas que limitan el desempeño de la PTAR**

- a) Los sedimentadores primarios están fuera de operación.
  - b) El sistema de difusión de aire presenta fugas.
  - c) Los filtros están fuera de operación.
  - d) No se desinfecta el agua residual tratada.
  - e) En términos generales hace falta urgentemente una rehabilitación total en la PTAR.
- 15) Tomando como base las condiciones bajo las cuales fue diseñada la PTAR y aun que las instalaciones civiles, hidráulicas, eléctricas y de equipos electromecánicos se encuentran en mal estado, la PTAR cumple con lo estipulado en la NOM-001-SEMARNAT-2021. Sin embargo, si se toman en cuenta las recomendaciones propuestas, se puede obtener una calidad de agua excelente, que incluso se podía vender, con el objetivo de hacer sustentable la operación de la planta.

# **ANEXO I. Plantilla de Personal**

## RECURSOS HUMANOS

| Nombre  | Puesto   | Escolaridad           | Antigüedad     |                                  |
|---|--|-----------------------|----------------|----------------------------------|
|   |  |                       | En la planta   | En el puesto                     |
| Personal administrativo                         |  |                       |                |                                  |
| BALDERAS ACEVEDO<br>PATRICIA LEONOR             | AUX. OPERATIVO<br>EN OFNAS.<br>ADMVAS.<br>(AUXILIAR<br>ADMVO)                    | PREPARATORIA TRUNCA   | 01/10/201<br>2 | 9<br>AÑO(S)<br>2<br>MES(ES<br>)  |
| GALVAN MORA JOSE DE<br>JESUS                    | JEFE DE SECCION<br>(AUXILIAR<br>ADMINISTRATIVO<br>)                              | PREPARATORIA          | 16/08/199<br>3 | 28<br>AÑO(S)<br>4<br>MES(ES<br>) |
| HERNANDEZ DIONICIO<br>ARACELI                   | ADMINISTRATIVO<br>Y/O SERVICIOS<br>GENERALES<br>(AUXILIAR<br>ADMINISTRATIVO<br>) | TEC. QUIMICA ESP. IND | 01/02/201<br>8 | 3<br>AÑO(S)<br>0<br>MES(ES<br>)  |
| HERNANDEZ PADILLA LETICIA                       | JEFE DE MESA<br>(ADMINISTRATIV<br>O)   | SECUNDARIA            | 16/01/200<br>1 | 20<br>AÑO(S)<br>0<br>MES(ES<br>) |
| MALAGON JIMENEZ<br>MARIANA<br>COMISION SINDICAL | PEON (AUXILIAR<br>ADMINISTRATIVO<br>)  | BACHILLERATO          | 01/01/201<br>5 | 6<br>AÑO(S)<br>1<br>MES(ES<br>)  |
| NERI RIOS MARISOL                               | PEON (AUXILIAR<br>ADMINISTRATIVO<br>)  | SECUNDARIA            | 01/02/201<br>7 | 4<br>AÑO(S)<br>0<br>MES(ES<br>)  |
| NUÑEZ ARIAS SERGIO                              | ADMINISTRATIVO<br>ESPECIALIZADO<br>"L" (JEFE DE<br>OFICINA)                      | PASANTE ING. CIVIL    | 01/10/198<br>8 | 33<br>AÑO(S)<br>2<br>MES(ES<br>) |
| OLVERA VIGUERAS MARCO<br>ANTONIO                | ADMINISTRATIVO<br>OPERATIVO<br>(SUPERVISOR)                                      |                       | 16/01/1991     | 30<br>AÑO(S)<br>1<br>MES(ES<br>) |
| PEDROZA AGUILAR JOSE<br>ROBERTO                 | JEFE DE<br>SISTEMAS  | ING. CIVIL            | 01/09/198<br>4 | 37<br>AÑO(S)                     |

| Nombre                        | Puesto   | Escolaridad                               | Antigüedad   |                        |
|-------------------------------|--|---|--------------|------------------------|
|                               |  |   | En la planta | En el puesto           |
|                               | ADMINISTRATIVOS (ING. RESIDENTE DE PLANTA)                 |   |              | 3 MES(ES)              |
| PEREZ PEREZ CLAUDIA           | AUXILIAR ADMINISTRATIVO (SECRETARIA)                       | SECUNDARIA                                | 01/03/2010   | 11 AÑO(S)<br>9 MES(ES) |
| RAMIREZ GARCIA CECILIA        | AUX. OPERATIVO EN OFNAS. ADMVAS. (AUXILIAR ADMINISTRATIVO) | TEC. EN INFORMÁTICA                       | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| RAMIREZ IBAÑEZ BEATRIZ SELENE | REVISOR TÉCNICO (AUXILIAR ADMINISTRATIVO)                  | PREPARATORIA                              | 16/06/1994   | 27 AÑO(S)<br>6 MES(ES) |
| RAMIREZ MENDOZA SERGIO        | AUXILIAR DE ANALISTA ADMINISTRATIVO (ENC. DE ALMACEN)      | BACHILLERATO                              | 01/10/1993   | 28 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| RIOS BELTRAN CINTHYA          | AUXILIAR A (AUXILIAR ADMINISTRATIVO)                       | BACHILLERATO                              | 01/02/2018   | 3 AÑO(S)<br>10 MES(ES) |
| SERRANO GARRIDO MARIA JAZMIN  | JEFE DE SECCION "A" (JEFE ADMVO. DE OFICINA)               | SECUNDARIA                                | 01/11/1990   | 31 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| VAZQUEZ VARGAS ARGENIS OMAR   | ADMINISTRATIVO Y/O SERVICIOS GENERALES (AYUDANTE GENERAL)  | BACHILLERATO                              | 01/02/2018   | 3 AÑO(S)<br>10 MES(ES) |
| ZUÑIGA DURAN AMBROSIO         | RESIDENTE (ENCARGADO DE LA PLANTA "SANTA MARTHA ACATITLA") | DIPLOMADO EN ARQ. Y TÉCNICO EN CONSTRUCC. | 16/11/2005   | 16 AÑO(S)<br>0 MES(ES) |
| Personal operativo            |  |   |              |                        |
| ACOSTA MEDINA MARTIN          | SUPERVISOR (OP. PTA. DE TRAT.)                             | SECUNDARIA                                | 01/11/1991   | 30 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| ALMANZA RODRIGUEZ PRUDENCIO   | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS                            | PRIMARIA                                  | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |

| Nombre                           | Puesto  | Escolaridad        | Antigüedad   |                         |
|----------------------------------|---|--------------------|--------------|-------------------------|
|                                  |   |                    | En la planta | En el puesto            |
|                                  | URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)                                 |                    |              | MES(ES )                |
| ALVAREZ ALMANZA JOSE ANTONIO     | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.) | SECUNDARIA         | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)<br>2 MES(ES ) |
| AMADOR MARTINEZ ADAN             | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.) | BACHILLERATO       | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)<br>2 MES(ES ) |
| ANGELES CRAVIOTO JERONIMO        | ADMINISTRATIVO Y/O SERVICIOS GENERALES (OP. PTA. DE TRAT.)  | SECUNDARIA         | 01/02/2018   | 3 AÑO(S)<br>0 MES(ES )  |
| ATLAGCO DE LA ROSA CARLOS MARTIN | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.) | BACHILLERATO       | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)<br>2 MES(ES ) |
| BLANCAS CONTRERAS CAROLINA       | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.) | SECUNDARIA         | 01/06/2006   | 15 AÑO(S)<br>6 MES(ES ) |
| BLANCAS MARTINEZ DANIEL          | ADMINISTRATIVO Y/O SERVICIOS GENERALES (OP. PTA. DE TRAT.)  | SECUNDARIA         | 01/02/2018   | 3 AÑO(S)<br>0 MES(ES )  |
| BONILLA DIEGO JOSE RAUL          | ADMINISTRATIVO Y/O SERVICIOS GENERALES (OP. PTA. DE TRAT.)  | PRIMARIA           | 01/02/2018   | 3 AÑO(S)<br>0 MES(ES )  |
| CABELLO SEVERIANO                | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.) | SECUNDARIA         | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)<br>2 MES(ES ) |
| CASTILLO VALENCIA ALFREDO        | ADMINISTRATIVO OPERATIVO (OP. PTA. DE TRAT.)                | LIC. EN PSICOLOGIA | 01/05/1987   | 34 AÑO(S)<br>7 MES(ES ) |
| CASTRO CASTILLO MARCO ANTONIO    | TECNICO EN MANTTO. DE SIST. COMPUTACIONA (OP. MAQ. PESADA)  | SECUNDARIA         | 16/09/1990   | 31 AÑO(S)<br>3 MES(ES ) |
| CERRITO CAMACHO LEOPOLDO         | AUXILIAR DE ANALISTA  | SECUNDARIA         | 01/10/1993   | 28 AÑO(S)               |



| Nombre                          | Puesto  | Escolaridad         | Antigüedad   |                        |
|---------------------------------|---|---------------------|--------------|------------------------|
|                                 |   |                     | En la planta | En el puesto           |
|                                 | ADMINISTRATIVO (OP. PTA. DE TRAT.)                                |                     |              | 2 MES(ES)              |
| COLLADO GALLEGOS TRANQUILINO G. | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (OP. PTA. DE TRAT.)          | SECUNDARIA          | 16/09/1991   | 30 AÑO(S)<br>3 MES(ES) |
| CHAVEZ TORRES MARCOS RICARDO    | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)       | LIC. DISEÑO GRAFICO | 16/11/2005   | 16 AÑO(S)<br>0 MES(ES) |
| ESPEJO MENDOZA JORGE AQUILES    | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)       | PREPARATORIA        | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| ESTRADA MOLINERO JOSE IGNACIO   | SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO (OP. PTA. DE TRAT.)                   | SECUNDARIA          | 01/10/1993   | 28 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| FLORES ALVAREZ FERNANDO         | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (OP. MAQ. PESADA)            | SECUNDARIA          | 01/04/1997   | 24 AÑO(S)<br>8 MES(ES) |
| FLORES BAEZ FILIBERTO           | ANALISTA DE PROYECTOS (OP. MAQ. PESADA)                           | SECUNDARIA          | 16/08/1989   | 32 AÑO(S)<br>4 MES(ES) |
| FLORES CHAVARRIA JUAN           | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)       | SECUNDARIA          | 01/11/2006   | 15 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| GALICIA MONTESINOS MARIO        | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)       | SECUNDARIA          | 01/10/2012   | 9 AÑO(S)<br>2 MES(ES)  |
| GALICIA MORALES MARIO           | ADMINISTRATIVO 'B'-ESCALAFON DIGITAL (ENC. DE TURNO DE OPERACIÓN) | SECUNDARIA          | 01/10/1988   | 33 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| GARCIA MARQUEZ RAFAEL           | ANALISTA DE PROYECTOS (OP. PTA. DE TRAT.)                         | SECUNDARIA          | 16/09/1990   | 31 AÑO(S)<br>3 MES(ES) |

| Nombre                                  | Puesto   | Escolaridad                | Antigüedad   |                        |
|---|--|----------------------------|--------------|------------------------|
|   |  |                            | En la planta | En el puesto           |
| GARCIA VILLASEÑOR ARTURO                | ADMINISTRATIVO 'C'-ESCALAFON DIGITAL (OP. MAQ. PESADA)       | PREPARATORIA TRUNCA        | 01/01/1985   | 36 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| GASPAR DE LA ROSA HECTOR                | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)  | SECUNDARIA                 | 01/10/2012   | 9 AÑO(S)<br>2 MES(ES)  |
| GOMEZ CALDERON JOSE MANUEL              | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (OP. PTA. DE TRAT.)     | LIC. EN EDUCACION PRIMARIA | 01/08/1993   | 28 AÑO(S)<br>4 MES(ES) |
| HERNANDEZ CRUZ ROCIO                    | CABO DE CONSTRUCCION (OP. PTA. DE TRAT.)                     | LIC. BIOLOGIA              | 01/12/2008   | 13 AÑO(S)<br>0 MES(ES) |
| HERNANDEZ MARTINEZ JOSE                 | ANALISTA DE PROYECTOS (OP. DE REBOMBEO)                      | TEC. QUIMICO               | 01/10/1993   | 28 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| HERNANDEZ MORALES JOSE MOISES ASCENCION | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (OP. DE REBOMBEO)       | PRIMARIA                   | 01/01/1988   | 33 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| HERNANDEZ RODRIGUEZ ANTONIO             | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)  | TEC. MECANICO AUT.         | 16/10/2010   | 11 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| JIMENEZ NIETO GERARDO                   | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. DE REBOMBEO)    | CARRERA TECNICA            | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| LOPEZ PLATA ISRAEL                      | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)  | SECUNDARIA                 | 01/10/2012   | 9 AÑO(S)<br>2 MES(ES)  |
| LOPEZ RODRIGUEZ ENRIQUE                 | OPERADOR DE SISTEMAS ESPZDOS. DE COMPUTO (OP. PTA. DE TRAT.) | PRIMARIA                   | 16/08/1993   | 28 AÑO(S)<br>4 MES(ES) |
| LOZADA CELIS FERMIN                     | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS                              | BACHILLERATO               | 01/11/2007   | 14 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |

| Nombre                       | Puesto  | Escolaridad                   | Antigüedad   |                        |
|------------------------------|---|-------------------------------|--------------|------------------------|
|                              |   |                               | En la planta | En el puesto           |
|                              | URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)   |                               |              |                        |
| LUNA OTERO JOSE ANGEL        | ADMINISTRATIVO OPERATIVO (OP. PTA. DE TRAT.)                              | SECUNDARIA                    | 01/09/1974   | 47 AÑO(S)<br>3 MES(ES) |
| MALDONADO GARCIA FLORENCIO   | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (ENC. DE TURNO DE OP. PTA. DE TRAT.) | SECUNDARIA                    | 01/10/1993   | 28 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| MANZANARES RAMIREZ GABRIEL   | AUXILIAR DE ANALISTA ADMINISTRATIVO (ENC. DE TURNO DE OPERACIÓN)          | PASANTE ING. MECANICO         | 01/11/2006   | 15 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| MARTINEZ MONTUY ANGEL        | SUPERVISOR (OP. DE REBOMBEO)  | PREPARATORIA                  | 01/01/1985   | 36 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| MARTINEZ VILLA MIGUEL        | OPERADOR DE SISTEMAS ESPZDOS. DE COMPUTO (OP. PTA. DE TRAT.)              | 4TO. SEMESTRE DE BACHILLERATO | 16/11/1991   | 30 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| MATA SALAZAR FELIPE DE JESUS | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (OP. DE REBOMBEO)                    | LIC. EN CIENCIAS POLITICAS    | 16/04/1994   | 27 AÑO(S)<br>8 MES(ES) |
| MATEOS PUEBLITA JOSE LUIS    | ADMINISTRATIVO Y/O SERVICIOS GENERALES (OP. DE REBOMBEO)                  | SECUNDARIA                    | 01/02/2018   | 3 AÑO(S)<br>0 MES(ES)  |
| MEDINA GIL MIGUEL            | AUXILIAR DE ANALISTA ADMINISTRATIVO (OP. PTA. DE TRAT.)                   | PRIMARIA                      | 16/11/2005   | 16 AÑO(S)<br>0 MES(ES) |
| MEDINA GIL RANULFO GERARDO   | OPERADOR DE SISTEMAS ESPZDOS. DE COMPUTO (OP. MAQ. PESADA)                | SECUNDARIA TRUNCA             | 16/06/1991   | 30 AÑO(S)<br>6 MES(ES) |
| MEJIA MEJIA FERMIN           | AUXILIAR DE ANALISTA ADMINISTRATIVO (OP. PTA. DE TRAT.)                   | PRIMARIA                      | 01/11/2007   | 14 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |

| Nombre                         | Puesto   | Escolaridad             | Antigüedad   |                        |
|--------------------------------|--|-------------------------|--------------|------------------------|
|                                |  |                         | En la planta | En el puesto           |
| MENDOZA RODRIGUEZ RUBEN ARTURO | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (OP. PTA. DE TRAT.)                 | SECUNDARIA              | 16/10/1989   | 32 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| MORENO BRAVO LUCIO MARCELO     | REVISOR DE PROYECTOS (OP. PTA. DE TRAT.)                                 | SECUNDARIA              | 01/10/1993   | 28 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| MUÑIZ ROLDAN SALVADOR          | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)              | SECUNDARIA              | 16/10/2010   | 11 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| MUÑOZ GALVEZ RICHARD           | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (OP. PTA. DE TRAT.)                 | SECUNDARIA              | 01/10/1993   | 28 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| NIETO VENANCIO JAVIER          | ADMINISTRATIVO 'C'-ESCALAFON DIGITAL (OP. DE REBOMBEO)                   | SECUNDARIA              | 01/02/1992   | 29 AÑO(S)<br>0 MES(ES) |
| ORTIZ HORTA SALOMON            | AUXILIAR DE ANALISTA ADMINISTRATIVO (ENC. DE TURNO DE OPERACIÓN)         | PREPARATORIA INCOMPLETA | 01/10/1993   | 28 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| PALACIOS TOBON NICEFORO        | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (ENCARGADO DE OPERACIÓN 3ER. TURNO) | PRIMARIA INCOMPLETA     | 16/07/1992   | 29 AÑO(S)<br>5 MES(ES) |
| PASTEN BADILLO JUAN            | TECNICO (OP. PTA. DE TRAT.)  | SECUNDARIA              | 16/11/2005   | 16 AÑO(S)<br>0 MES(ES) |
| PEREZ PEÑA ALFREDO             | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)              | PRIMARIA                | 16/10/2010   | 11 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| PINEDA GALICIA JUAN FRANCISCO  | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. MAQ. PESADA)                | PRIMARIA                | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| REYEROS CARRANZA ANGEL         | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS  | PRIMARIA                | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |

| Nombre  | Puesto  | Escolaridad         | Antigüedad   |                       |
|---|---|---------------------|--------------|-----------------------|
|   |   |                     | En la planta | En el puesto          |
|   | URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)                                 |                     |              | MES(ES )              |
| RIVERA TORRES EDUARDO                           | ADMINISTRATIVO 'B'-ESCALAFON DIGITAL (OP. PTA. DE TRAT.)    | SECUNDARIA          | 01/01/1972   | 49 AÑO(S)1 1 MES(ES ) |
| RODRIGUEZ GUTIERREZ OSCAR                       | AUXILIAR DE ANALISTA ADMINISTRATIVO (OP. PTA. DE TRAT.)     | 2DO. DE SECUNDARIA  | 01/11/2007   | 14 AÑO(S)1 MES(ES )   |
| ROJAS MEDINA VICTOR MANUEL                      | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.) | PRIMARIA            | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)2 MES(ES )   |
| SALGADO HERNANDEZ ENRIQUE                       | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS                     | SECUNDARIA          | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)2 MES(ES )   |
| SANCHEZ HUITANDA J. GUADALUPE COMISION SINDICAL | JEFE DE SECCION (OP. PTA. DE TRAT.)                         | PRIMARIA            | 01/01/1985   | 36 AÑO(S)1 MES(ES )   |
| SANTIAGO MARTINEZ JORGE                         | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (OP. DE REBOMBEO)      | PRIMARIA            | 01/10/1993   | 28 AÑO(S)2 MES(ES )   |
| SANTIAGO MEJIA ARTURO                           | TECNICO EN COMPUTACION (OP. PTA. DE TRAT.)                  | SECUNDARIA          | 01/10/1993   | 28 AÑO(S)2 MES(ES )   |
| SEGOVIANO SALAZAR JOSE PAUL                     | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.) | SECUNDARIA          | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)2 MES(ES )   |
| TREJO TORRES OSCAR                              | OFICIAL DE MANTENIMIENTO MECANICO (OP. PTA. DE TRAT.)       | SECUNDARIA          | 01/09/2008   | 13 AÑO(S)3 MES(ES )   |
| VALLE GUZMAN CALIXTO                            | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (OP. PTA. DE TRAT.)    | TEC. ELECTRICO MEC. | 16/11/2005   | 16 AÑO(S)0 MES(ES )   |

| Nombre                             | Puesto  | Escolaridad                   | Antigüedad   |                        |
|------------------------------------|---|-------------------------------|--------------|------------------------|
|                                    |   |                               | En la planta | En el puesto           |
| VILCHIS NERIA SALVADOR             | JEFE DE SECCION "A" (OP. PTA. DE TRAT.)                         | BACHILLERATO                  | 16/08/1994   | 27 AÑO(S)<br>4 MES(ES) |
| VILLAGOMEZ TENORIO RAMIRO          | ADMINISTRATIVO O OPERATIVO (ENC. DE TURNO DE OP. PTA. DE TRAT.) | SECUNDARIA                    | 01/11/1969   | 52 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| VILLANUEVA MONDRAGON JESUS ALBERTO | ADMINISTRATIVO Y/O SERVICIOS GENERALES (OP. PTA. DE TRAT.)      | 9° SEM. ING. ELECTROMECHANICO | 01/02/2018   | 3 AÑO(S)<br>0 MES(ES)  |
| XOLALPA GALICIA SAMUEL             | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)     | SECUNDARIA                    | 01/10/2012   | 9 AÑO(S)<br>2 MES(ES)  |
| ZAMUDIO ZAMUDIO JOSÉ FÉLIX         | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (OP. PTA. DE TRAT.)     | SECUNDARIA                    | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| ZARCO TORRES NAZARIA ALEJANDRA     | AUXILIAR ADMINISTRATIVO (OP. PTA. DE TRAT.)                     | PRIMARIA                      | 01/08/2011   | 10 AÑO(S)<br>4 MES(ES) |
| Personal de mantenimiento          |   |                               |              |                        |
| ACEVEDO MARAVILLA FRANCISCO JAVIER | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (ELECTRICISTA)          | SECUNDARIA                    | 16/10/2010   | 11 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| AGUILAR MENDEZ DAVID               | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (PLOMERO)               | SECUNDARIA                    | 01/10/2008   | 13 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| AVILA PEREZ ALBERTO                | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (TORNERO)                  | SECUNDARIA                    | 16/05/1990   | 31 AÑO(S)<br>7 MES(ES) |
| BARRIOS LOPEZ JOSE MARTIN          | AUXILIAR DE ANALISTA ADMINISTRATIVO (ELECTRICISTA)              | SECUNDARIA                    | 16/11/2005   | 16 AÑO(S)<br>0 MES(ES) |
| CAMPOS MARTINEZ FELIPE             | CAPTURISTA (PLOMERO)  | SECUNDARIA                    | 01/08/2010   | 11 AÑO(S)              |

| Nombre                           | Puesto   | Escolaridad        | Antigüedad   |                               |
|----------------------------------|--|--------------------|--------------|-------------------------------|
|                                  |  |                    | En la planta | En el puesto                  |
|                                  |  |                    |              | 4<br>MES(ES )                 |
| CEDILLO MALDONADO ENRIQUE        | SUPERINTENDENTE DE MANTO. MECANICO (PLOMERO)                 | SECUNDARIA         | 01/07/1994   | 27<br>AÑO(S)<br>5<br>MES(ES ) |
| CRUZ ORTEGA VICENTE              | PEON (PLOMERO)   | PRIMARIA           | 01/11/2013   | 8 AÑO( )<br>1<br>MES(ES )     |
| GARCIA ESCOBAR JOSE NOE          | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL (MECANICO DE BOMBAS)        | BACHILLERATO       | 01/11/2006   | 15<br>AÑO(S)<br>1<br>MES(ES ) |
| GARCIA FLORES FACUNDO            | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (PLOMERO)               | SECUNDARIA         | 16/05/1991   | 30<br>AÑO(S)<br>7<br>MES(ES ) |
| GOMEZ MORALES ROBERTO            | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (PLOMERO)               | SECUNDARIA         | 01/04/1997   | 24<br>AÑO(S)<br>8<br>MES(ES ) |
| HERNANDEZ ALVARADO JESUS SALOMON | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (MECANICO DE BOMBAS) | SECUNDARIA TRUNCA  | 01/10/2008   | 13<br>AÑO(S)<br>2<br>MES(ES ) |
| HERNANDEZ LINARES MANUEL         | OPERADOR DE MALACATES DE OPER.HIDRAULICA (ELECTRICISTA)      | PRIMARIA           | 01/11/2006   | 15<br>AÑO(S)<br>1<br>MES(ES ) |
| MUÑOZ GALVEZ JESUS URIVE         | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (SOLDADOR)              | PRIMARIA           | 01/10/1993   | 28<br>AÑO(S)<br>2<br>MES(ES ) |
| PELAEZ PELAEZ ANTONIO ISAIAS     | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (INTENDENTE)         | PRIMARIA           | 01/11/2006   | 15<br>AÑO(S)<br>1<br>MES(ES ) |
| RODRIGUEZ GUTIERREZ JAVIER       | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (INTENDENTE)         | TEC. MAQ. Y HERRA. | 01/11/2006   | 15<br>AÑO(S)<br>1<br>MES(ES ) |

| Nombre                         | Puesto   | Escolaridad                     | Antigüedad   |                        |
|--------------------------------|--|---------------------------------|--------------|------------------------|
|                                |  |                                 | En la planta | En el puesto           |
| RODRIGUEZ ORTIZ ROBERTO        | JEFE DE SECCION (ENC. DE TALLER ELECTRICO)                         | SECUNDARIA                      | 01/04/1997   | 24 AÑO(S)<br>8 MES(ES) |
| ROJAS VAZQUEZ FRANCISCO        | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (SOLDADOR)                    | PRIMARIA                        | 01/08/1993   | 28 AÑO(S)<br>4 MES(ES) |
| ROJAS VAZQUEZ LEONEL           | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (ENC. DE TALLER DE SOLDADURA) | SECUNDARIA                      | 16/07/1992   | 29 AÑO(S)<br>5 MES(ES) |
| ROMERO SANDINO JOSE RICARDO    | REVISOR TECNICO (MECANICO DE BOMBAS)                               | SECUNDARIA                      | 01/10/1993   | 28 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| SANCHEZ JOSE ANGEL             | REVISOR TECNICO (MECANICO DE BOMBAS)                               | SECUNDARIA TRUNCA               | 16/12/1990   | 31 AÑO(S)<br>0 MES(ES) |
| SANTIAGO VAZQUEZ AGUSTIN       | JEFE DE TALLER EN ELECTRICIDAD "A" (ELECTRICISTA)                  | SECUNDARIA                      | 01/10/1993   | 28 AÑO(S)<br>2 MES(ES) |
| Personal de laboratorio        |  |                                 |              |                        |
| CASTELLANOS CASTELLANOS ZANDRA | JEFE DE SECCION 'A' (  | CARRERA TECNICA                 | 16/11/1992   | 29 AÑO(S)<br>1 MES(ES) |
| NAVA AVILA MANUELA ISIDORA     | JEFE DE SECCION "A" ( )  | TEC. QUIMICA INDUSTRIAL         | 16/07/1992   | 29 AÑO(S)<br>5 MES(ES) |
| MOYA MARTINEZ MARTHA GUADALUPE | JEFE DE SECCION "A" (LABORAT. QUIMICO)                             | TEC. LABORAT. QUIMICO           | 16/03/1989   | 32 AÑO(S)<br>9 MES(ES) |
| ORTIZ MONTES JHOANA IVONEE     | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (LABORAT. QUIMICO)         | LIC. EN CIENCIAS DE LA COMUNIC. | 01/10/2012   | 9 AÑO(S)<br>2 MES(ES)  |
| PEÑA PICHARDO DIANA LIZETH     | AUXILIAR OPERATIVO EN  | TEC. SUP. EN TEC. AMBIENTAL     | 01/10/2012   | 9 AÑO(S)               |



| Nombre                           | Puesto  | Escolaridad                 | Antigüedad   |                    |
|----------------------------------|---|-----------------------------|--------------|--------------------|
|                                  |   |                             | En la planta | En el puesto       |
|                                  | SERVICIOS URBANOS (LABORAT. QUIMICO)                        |                             |              | 2 MES(ES)          |
| RETANA PEREZ ALMA LILIANA        | CAPTURISTA 1(LABORATORISTA QUIMICO)                         | TEC. EN PROTESIS DENTAL     | 16/10/2008   | 13 AÑO(S)1 MES(ES) |
| RIVAS SANDOVAL RAFAEL            | JEFE DE OFICINA "E" (ENC. DE LABORATORIO)                   | CARRERA TECNICA             | 01/07/1994   | 29 AÑO(S)4 MES(ES) |
| SILVA FLORES BEATRIZ DEL SOCORRO | JEFE DE SECCION "A" (LABORAT. QUIMICO)                      | TEC. PROF. DISEÑO CONFECION | 01/07/1994   | 27 AÑO(S)5 MES(ES) |
| VALVERDE MORA JOSEFINA GPE.      | JEFE DE SECCION "A" (LABORAT. QUIMICO)                      | TEC. QUIMICO INDUSTRIAL     | 16/09/1992   | 29 AÑO(S)3 MES(ES) |
| VELAZQUEZ VELASCO CLAUDIA        | JEFE DE OFICINA (LABORAT. QUIMICO)                          | 4TO. SEM. DE BACHILLERATO   | 16/07/1992   | 29 AÑO(S)5 MES(ES) |
| Otros puestos                    |   |                             |              |                    |
| ALDANA MEJIA ALBERTO DANIEL      | JEFE DE OFICINA "E" (RESIDENTE DE PLANTA)                   | ING. CIVIL                  | 16/11/1998   | 23 AÑO(S)1 MES(ES) |
| ESPINOSA HERNANDEZ ANA URBANA    | JEFE DE OFICINA DE SISTEMAS DE COMPUTO (ATENCION A VISITAS) | REL. LIC. COMERCIALES       | 16/07/1992   | 29 AÑO(S)5 MES(ES) |
| FRAGOSO GAONA JOSE RAMON         | SECRETARIA DE JEFE DE DEPARTAMENTO (AUXILIAR DE ALMACEN)    | LIC. DERECHO                | 16/06/2015   | 6 AÑO(S)5 MES(ES)  |
| HERNANDEZ SALGADO DAVID          | ADMINISTRATIVO ESPECIALIZADO L (CHOFER)                     | BACHILLERATO                | 16/05/2018   | 3 AÑO(S)6 MES(ES)  |
| LOPEZ ESPINOZA OSCAR             | PROFESIONAL 'A'- ESCALAFON DIGITAL (ING. RESIDENTE)         | ING. QUIMICO                | 16/11/2005   | 16 AÑO(S)0 MES(ES) |

| Nombre                          | Puesto  | Escolaridad                     | Antigüedad   |                      |
|---------------------------------|---|---------------------------------|--------------|----------------------|
|                                 |   |                                 | En la planta | En el puesto         |
| LOPEZ RUIZ RUBEN                | JEFE DE MANTENIMIENTO EN GENERAL 'A' (INC. RESIDENTE)                     | ING. MECANICO                   | 01/11/2006   | 15 AÑO(S) 1 MES(ES)  |
| LOZANO PEREZ JORGE              | SUPERINTENDENTE DE MANTO. MECANICO (CHOFER DE CAMION)                     | CARRERA ICA TECN                | 16/09/1989   | 32 AÑO(S) 3 MES(ES)  |
| MARTINEZ MONTUY PORFIRIO        | SUPERINTENDENTE DE MANTO. MECANICO (CHOFER DE VOLTEO)                     | SECUNDARIA TRUNCA               | 01/01/1985   | 36 AÑO(S) 1 MES(ES)  |
| MARTINEZ MOSCO JACQUELINE SANTA | CAPTURISTA (RESIDENTE DE PLANTA)  | ARQUITECTURA                    | 01/08/2008   | 13 AÑO(S) 4 MES(ES)  |
| NAVARRETE PEREZ CATALINA EDITH  | ADMINISTRATIVO 'C'-ESCALAFON DIGITAL (CHOFER)                             | CARRERA ICA TECN                | 01/08/1994   | 27 AÑO(S) 4 MES(ES)  |
| BENITEZ ROSAS DARIO             | AUXILIAR OPERATIVO EN SERVICIOS URBANOS (ING. RESIDENTE DE MANTENIMIENTO) | PAS. ING. ROBOTICA INDUSTRIAL   | 16/10/2010   | 11 AÑO(S) 1 MES(ES)  |
| ORTEGA CRUZ JOSE DE JESUS       | JEFE DE SECCION (BODEGUERO)   | BACHILLERATO                    | 01/11/2008   | 13 AÑO(S) 1 MES(ES)  |
| SALOMO ARIAS FEDERICO           | ADMINISTRATIVO OPERATIVO (CHOFER)   | SECUNDARIA                      | 16/02/1968   | 53 AÑO(S) 10 MES(ES) |
| TREJO LUNA JUAN MANUEL          | JEFE DE OFICINA DE OBRAS (CHOFER DE GRUA)                                 | SECUNDARIA                      | 16/10/1991   | 30 AÑO(S) 2 MES(ES)  |
| VICTORIA LOPEZ MARTIN           | TEC. EN MANTO. DE SIST. COMPUTACIONALES (RESIDENTE DE PLANTA)             | PASANTE ING. QUIMICO INDUSTRIAL | 01/10/1993   | 28 AÑO(S) 2 MES(ES)  |
| VILCHIS PEREZ ANTONIO           | JEFE DE OFICINA (RESIDENTE DE PLANTA)                                     | PASANTE ING. CIVIL              | 01/07/1998   | 23 AÑO(S) 5          |

| Nombre | Puesto | Escolaridad | Antigüedad   |              |
|--------|--------|-------------|--------------|--------------|
|        |        |             | En la planta | En el puesto |
|        |        |             |              | MES(ES )     |

**PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

**PROYECTO No.309621**

**“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES  
CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-  
SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE  
DESCARGA”**

**DIAGNÓSTICO DE LA PTAR**

**“ZARAGOZA”**

**MEXICALI, B.C.**

## INDICE

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 1      | INFORMACIÓN DE LA PTAR                                    | 166 |
| 1.1    | Datos generales   | 166 |
| 1.2    | Ubicación   | 166 |
| 1.3    | Descripción del proceso                                   | 167 |
| 2      | REVISIÓN DOCUMENTAL                                       | 170 |
| 2.1    | Planos  | 170 |
| 2.2    | Permiso de descarga                                       | 170 |
| 2.3    | Análisis de la memoria de cálculo                         | 172 |
| 2.4    | Análisis de la información histórica de calidad del agua  | 172 |
| 2.4.1  | Caudal  | 176 |
| 2.4.2  | Temperatura   | 177 |
| 2.4.3  | pH  | 178 |
| 2.4.4  | Coliformes fecales  | 180 |
| 2.4.5  | Grasas y Aceites  | 181 |
| 2.4.6  | Huevos de Helminto  | 181 |
| 2.4.7  | Materia flotante  | 181 |
| 2.4.8  | Sólidos sedimentables                                     | 181 |
| 2.4.9  | Sólidos suspendidos totales (SST)                         | 182 |
| 2.4.10 | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )         | 183 |
| 2.4.11 | Nitrógeno Total (NT)                                      | 184 |
| 2.4.12 | Fósforo Total (PT)  | 185 |
| 2.4.13 | Metales pesados y cianuros                                | 187 |
| 2.4.14 | Demanda Química de Oxígeno (DQO)                          | 192 |
| 2.4.15 | Resumen de la calidad del efluente de la PTAR de Zaragoza | 194 |
| 2.5    | Análisis de la información del Proceso                    | 197 |
| 2.5.1  | Análisis rutinarios                                       | 197 |
|        |   | 157 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 2.5.2   | Manual de operación   | 197 |
| 2.5.3   | Reportes de operación (bitácoras)   | 197 |
| 2.5.4   | Mantenimiento   | 197 |
| 2.5.4.1 | Programa  | 197 |
| 2.5.4.2 | Reportes  | 198 |
| 3       | ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR                               | 200 |
| 3.1     | Descripción de las unidades de proceso                                    | 200 |
| 3.2     | Estado de las unidades de proceso   | 206 |
| 3.2.1   | Caja recepción de agua residuales   | 206 |
| 3.2.2   | Pretratamiento  | 208 |
| 3.2.3   | Sistema lagunar   | 211 |
| 3.2.4   | Lagunas aireadas parcialmente   | 212 |
| 3.2.5   | Lagunas de sedimentación  | 220 |
| 3.2.6   | Lagunas de maduración   | 223 |
| 3.2.7   | Desinfección  | 227 |
| 3.2.8   | Medidor de flujo descarga final   | 228 |
| 3.2.9   | Tratamiento terciario   | 229 |
| 3.2.10  | Disposición de lodos  | 233 |
| 3.2.11  | Caminos y vialidades de la PTAR   | 234 |
| 3.2.12  | Equipos electromecánicos  | 234 |
| 3.3     | Muestreo y calidad del agua residual                                      | 236 |
| 3.3.1   | Resultados del muestreo compuesto   | 240 |
| 3.3.2   | Resultados de muestreo simple   | 248 |
| 3.3.3   | Eficiencias de las unidades de tratamiento del sistema lagunar de la PTAR | 249 |
| 3.3.4   | Influencia industrial   | 257 |
| 4       | DIAGNOSTICO DE PERSONAL   | 259 |
| 4.1     | Recursos Humanos  | 259 |
| 4.2     | Evaluación de conocimientos   | 259 |
| 4.3     | Capacitación  | 260 |
|         |   | 158 |

|  |  |     |
|--|--|-----|
| 4.3.1                                      | Cursos de capacitación recibidos           | 260 |
| 4.3.2                                      | Temas de capacitación solicitados          | 260 |
| 4.3.3                                      | Material didáctico entregado               | 260 |
| 5  | SEGURIDAD E HIGIENE                        | 273 |
| 6  | LABORATORIO                                | 275 |
| 7  | CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR | 277 |
| 7.1  | Causas                                     | 277 |
| 7.2  | Descripción de la causa y recomendaciones  | 278 |
| 7.2.1                                      | Nivel I                                    | 278 |
| 7.2.2                                      | Nivel II                                   | 279 |
| 7.2.3                                      | Nivel III                                  | 281 |
| 7.3  | RESUMEN                                    | 283 |
| 8  | CONCLUSIONES                               | 290 |
| Anexo A. Formato 3. Recursos Humanos ..... |  | 291 |
| Anexo B. Equipos electromecánicos.....     |  | 292 |

## TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1. Datos generales .....  | 166 |
| Tabla 2. Ubicación y contacto .....   | 167 |
| Tabla 3. Condiciones particulares y NOM 001-SEMARNAT-2021 para la descarga de aguas residuales .....                                | 171 |
| Tabla 4. Parámetros de calidad de agua en el periodo 2018 - 2021 y los límites permisibles en la Normatividad oficial mexicana..... | 174 |
| Tabla 5. Caudal de operación de la planta en los años 2018-2021.....  | 177 |
| Tabla 6. Comportamiento de la temperatura de 2019 a 2021 .....  | 178 |
| Tabla 7. Comportamiento del Nitrógeno total en los años 2018-2021 .....   | 185 |
| Tabla 8. Comportamiento del Fósforo total en los años 2018-2021 .....   | 186 |
| Tabla 9. Comportamiento de los metales pesados durante 2018-2021 .....  | 187 |
| Tabla 10. Comportamiento de la DQO en los años 2018-2021.....   | 193 |
| Tabla 11. Resumen de la calidad del efluente de la PTAR de Zaragoza.....  | 195 |
| Tabla 12. Especificaciones de las lagunas de la PTAR.....   | 212 |
| Tabla 13. Nivel de lodos acumulados en las lagunas de aireación .....   | 219 |
| Tabla 14. Condiciones de operación actuales de las lagunas de maduración .....  | 226 |
| Tabla 15. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua .....   | 238 |
| Tabla 16. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT 1996 y 2021.....                  | 240 |
| Tabla 17. Eficiencia de remoción de los principales contaminantes en la PTAR de Zaragoza.....                                       | 241 |
| Tabla 18. Caracterización fisicoquímica de los emisores que llegan a la PTAR de Zaragoza.....                                       | 248 |
| Tabla 19. Eficiencia de remoción de los principales contaminantes en el tratamiento terciario.....                                  | 249 |
| Tabla 20. Carga orgánica aplicadas actuales que entran a las lagunas de aireación y maduración de la PTAR de Zaragoza.....          | 249 |
| Tabla 21. Desempeño de la eficiencia de tratamiento de la laguna aireada y de sedimentación A de la PTAR de Zaragoza.....           | 250 |



|   |     |
|---|-----|
| Tabla 22. Desempeño de la eficiencia de tratamiento de la laguna aireada y de sedimentación B de la PTAR de Zaragoza..... | 251 |
| Tabla 23. Desempeño de la eficiencia de tratamiento de la laguna aireada y de sedimentación C de la PTAR de Zaragoza..... | 252 |
| Tabla 24. Desempeño de la eficiencia de tratamiento de las lagunas de maduración Norte de la PTAR de Zaragoza.....        | 254 |
| Tabla 25. Desempeño de la eficiencia de tratamiento de las lagunas de maduración Sur de la PTAR de Zaragoza.....          | 255 |
| Tabla 26. Desempeño de la eficiencia de tratamiento del proceso de desinfección la PTAR de Zaragoza .....                 | 257 |
| Tabla 27. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR .....  | 277 |

## **FIGURAS**

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1. Tren de tratamiento de la PTAR Zaragoza.....  | 168 |
| Figura 2. Sitio de descarga del efluente de la PTAR .....   | 170 |
| Figura 3. Datos históricos de caudal en la PTAR (2018 - 2021) .....                                       | 176 |
| Figura 4. Datos históricos de temperatura en el efluente de la PTAR (2018 - 2021).....                    | 178 |
| Figura 5. Datos históricos de pH en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)...                               | 179 |
| Figura 6. Datos históricos de Coliformes fecales en el efluente de la PTAR (2018 - 2021).....             | 180 |
| Figura 7. Datos históricos de sólidos sedimentables en el efluente de la PTAR (2018 - 2021).....          | 182 |
| Figura 8. Datos históricos de sólidos suspendidos totales en el efluente de la PTAR (2018 - 2021).....    | 183 |
| Figura 9. Datos históricos de Demanda Bioquímica de Oxígeno en el efluente de la PTAR (2018 - 2021) ..... | 184 |
| Figura 10. Datos históricos de nitrógeno total (NT) en el efluente de la PTAR (2018 - 2021).....          | 185 |
| Figura 11. Datos históricos de fósforo total en el efluente de la PTAR (2018 - 2021).....                 | 186 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 12. Datos históricos de arsénico en el efluente de la PTAR (2018 – 2021) | 188 |
| Figura 13. Datos históricos de cadmio en el efluente de la PTAR (2018 – 2021)   | 188 |
| Figura 14. Datos históricos de cianuros en el efluente de la PTAR (2018 – 2021) | 189 |
| Figura 15. Datos históricos de cobre en el efluente de la PTAR (2018 – 2021)    | 189 |
| Figura 16. Datos históricos de cromo en el efluente de la PTAR (2018 – 2021)    | 190 |
| Figura 17. Datos históricos de mercurio en el efluente de la PTAR (2018 – 2021) | 190 |
| Figura 18. Datos históricos de níquel en el efluente de la PTAR (2018 – 2021)   | 191 |
| Figura 19. Datos históricos de plomo en el efluente de la PTAR (2018 – 2021)    | 191 |
| Figura 20. Datos históricos de zinc en el efluente de la PTAR (2018 – 2021)     | 192 |
| Figura 21. Datos históricos de DQO en el efluente de la PTAR (2018 – 2021).     | 193 |
| Figura 22. Caja rompedora de velocidad  | 200 |
| Figura 23. Cribas finas tipo escalera   | 200 |
| Figura 24. Tornillo transportador   | 201 |
| Figura 25. Desarenador tipo vórtice   | 201 |
| Figura 26. Canal Parshall   | 202 |
| Figura 27. Caja derivadora  | 202 |
| Figura 28. Lagunas aireadas de mezcla parcial                                   | 203 |
| Figura 29. Sistema de aireación   | 203 |
| Figura 30. Laguna de sedimentación  | 203 |
| Figura 31. Caja derivadora 2  | 204 |
| Figura 32. Laguna de maduración   | 204 |
| Figura 33. Cloración  | 205 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 34. Efluente dirigido al Dren Internacional .....                               | 205 |
| Figura 35. Planta de tratamiento terciario .....                                       | 205 |
| Figura 36. Tanque de almacenamiento de agua tratada.....                               | 205 |
| Figura 37. Emisores que llegan a la caja de recepción de la PTAR Zaragoza<br>.....     | 206 |
| Figura 38. Descargas de aguas residuales emisores PBAR 1, 3, 6 y 7.....                | 207 |
| Figura 39. Descarga de agua residual emisor PBAR 8 hacia el canal Parshall<br>.....    | 207 |
| Figura 40. Caja derivadora que distribuye el agua residual al sistema lagunar<br>..... | 207 |
| Figura 41. Medición de caudales en los seis emisores.....                              | 208 |
| Figura 42. Rejillas finas de la PTAR de Zaragoza .....                                 | 209 |
| Figura 43. Retiro constante de los sólidos acumulados sobre las rejillas .             | 209 |
| Figura 44. Compactador/lavador de basura de la PTAR Zaragoza .....                     | 210 |
| Figura 45. Desarenadores tipo vórtice (DS-ZA-106 A y B).....                           | 211 |
| Figura 46. Canal Parshall .....  | 211 |
| Figura 47. Medidor de flujo colocado en el canal Parshall .....                        | 211 |
| Figura 48. Lagunas aireadas de la PTAR de Zaragoza .....                               | 213 |
| Figura 49. Arenas y piedras sobre los taludes de las lagunas aireadas .....            | 214 |
| Figura 50. Presencia de vegetación en las lagunas aireadas.....                        | 214 |
| Figura 51. Cortos circuitos presentes en las lagunas aireadas .....                    | 215 |
| Figura 52. Presencia de bacterias púrpuras de azufre en la laguna aireada C<br>.....   | 215 |
| Figura 53. Medición del pH y temperatura en las lagunas de aireación.....              | 216 |
| Figura 54. Distribución de los aireadores en las lagunas de aireación .....            | 217 |
| Figura 55. Aireadores direccionales colocados en las lagunas de aireación<br>.....     | 217 |
| Figura 56. Perfil del oxígeno disuelto en las lagunas de aireación .....               | 218 |
| Figura 57. Zonas muestras y flujos preferenciales en las lagunas de aireación<br>..... | 218 |
| Figura 58. Medición de los sólidos depositados en las lagunas de aireación<br>.....    | 220 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 59. Interconexión entre las lagunas de aireación y las lagunas de sedimentación.....                          | 220 |
| Figura 60. Lagunas de sedimentación de la PTAR de Zaragoza.....  | 222 |
| Figura 61. Levantamiento de la geomembrana y presencia de vegetación enraizada en la laguna de sedimentación B ..... | 222 |
| Figura 62. Interconexión entre las lagunas de sedimentación y las lagunas de maduración.....                         | 223 |
| Figura 63. Lagunas de maduración de la PTAR de Zaragoza.....   | 224 |
| Figura 64. Presencia de vegetación en las lagunas de maduración .....  | 225 |
| Figura 65. Aspecto del color de las dos primeras de lagunas de maduración (Sur y Norte).....                         | 225 |
| Figura 66. Presencia de algas en las lagunas de maduración 3 y 4 (Sur y Norte).....                                  | 226 |
| Figura 67. Conducción del efluente final de la PTAR de Zaragoza .....  | 228 |
| Figura 68. Caseta de desinfección con cloro gas.....   | 228 |
| Figura 69. Medidor de flujo descarga final PTAR Zaragoza.....  | 229 |
| Figura 70. Tren de tratamiento terciario de la PTAR de Zaragoza.....   | 230 |
| Figura 71. Tratamiento terciario de aguas residuales de la PTAR de Zaragoza .....                                    | 231 |
| Figura 72. Condiciones actuales de las unidades del tratamiento terciario de la PTAR de Zaragoza .....               | 232 |
| Figura 73. Caseta de cloración del tren de tratamiento terciario de la PTAR de Zaragoza.....                         | 233 |
| Figura 74. Lagunas de deshidratación de la PTAR de Zaragoza.....   | 233 |
| Figura 75. Vialidades de la PTAR de Zaragoza.....  | 234 |
| Figura 76. Estado físico de los equipos electromecánicos de la PTAR de Zaragoza.....                                 | 235 |
| Figura 77. Puntos de muestreos tomados para la caracterización del agua residual en la PTAR de Zaragoza .....        | 237 |
| Figura 78. Variación del caudal en el influente y efluente de la PTAR de Zaragoza.....                               | 242 |
| Figura 79. Balance hidráulico del agua residual en la PTAR de Zaragoza   | 243 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 80. Concentración de GyA en el influente y efluente de la PTAR de Zaragoza.....  | 244 |
| Figura 81. Variación de los CF y <i>E. coli</i> en el influente y descarga final de la PTAR de Zaragoza.....                    | 245 |
| Figura 82. Variación del pH y temperatura en el influente y descarga final de la PTAR de Zaragoza .....                         | 246 |
| Figura 83. Variación de las toxicidades ( <i>Vibrio fischeri</i> ) en el influente y descarga final de la PTAR de Zaragoza..... | 247 |
| Figura 84. Variación de los contaminantes en la laguna de aireación y sedimentación A.....                                      | 251 |
| Figura 85. Variación de los contaminantes en la laguna de aireación y sedimentación B.....                                      | 252 |
| Figura 86. Variación de los contaminantes en la laguna de aireación y sedimentación C.....                                      | 253 |
| Figura 87. Variación de los contaminantes en las lagunas de maduración Norte.....   | 255 |
| Figura 88. Variación de los contaminantes en las lagunas de maduración Sur.....   | 256 |
| Figura 89. Variación de los contaminantes después del proceso de desinfección.....  | 257 |
| Figura 90. Portada de los manuales.....   | 261 |
| Figura 91. Infografías.....   | 266 |
| Figura 92. Manual de ejercicios prácticos.....  | 267 |
| Figura 93. Kit de figuras.....  | 272 |
| Figura 94. Equipo de protección personal y atención de emergencias.....   | 273 |
| Figura 95. Laboratorio de análisis.....   | 275 |
| Figura 96. Equipos de laboratorio.....  | 276 |

## 1 INFORMACIÓN DE LA PTAR

### 1.1 Datos generales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Mexicali, también conocida como “Zaragoza” fue construida en 1969 iniciando operaciones ese mismo año y posteriormente se realizó una actualización en el año 2005. La PTAR recibe las aguas residuales que se generan en la ciudad de Mexicali, Baja California, se diseñó para tratar un caudal promedio de 1,300 L/s y un caudal máximo de 2,574 L/s, tratando el 55% de las aguas residuales generadas en la ciudad de Mexicali, equivalente a aproximadamente 384,500 habitantes (valor actual) Las aguas tratadas se descargan en el cuerpo receptor “B” Dren Internacional, afluente del Río Nuevo. En la Tabla 38 se presentan los datos generales de la PTAR.

**Tabla 38. Datos generales**

| <b>Datos generales</b>                    |   |                                     |                                  |
|---|---|-------------------------------------|----------------------------------|
| Año de construcción                       | <b>1969</b>   | Inicio de operación                 | <b>1969</b>                      |
| Municipios de los cuales recibe descargas | <b>Mexicali, a través de los emisores PBAR No. 1, 3, 6, 7 y 8</b> | Población servida (valor de diseño) | <b>Aprox. 470,000</b>            |
| Actualización más reciente                | <b>2005</b>   | Tipo de tratamiento                 | <b>Lagunas de estabilización</b> |
| Gasto de diseño                           | <b>Flujo promedio 1,300 L/s<br/>Flujo máximo 2,574 L/s</b>        | Gasto de operación                  | <b>895 L/s (promedio 2021)</b>   |

### 1.2 Ubicación

La PTAR Mexicali “Zaragoza” se encuentra ubicada en la colonia Zaragoza, en el municipio de Mexicali, Baja California. La PTAR es operada por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM) y se encuentra

a cargo de Jesús Alfredo López Villegas. En la Tabla 39 se presentan los datos de ubicación y de contactos de la PTAR.

**Tabla 39. Ubicación y contacto**

| <b>Ubicación</b>   |  |          |   |
|--------------------|--|----------|---|
| Nombre de la PTAR  | <b>Mexicali “Zaragoza”</b>   |          | <p>Mapa de ubicación</p>  |
| Calle y número     | <b>Km 2, Carretera Federal No. 2 a Tijuana. Solidaridad INFONAVIT II</b> |          |   |
| Colonia y C.P.     | <b>Zaragoza, 21324</b>   |          |   |
| Municipio y estado | <b>Mexicali, Baja California</b>   |          |   |
| Coordenadas        | <b>Norte 32° 36' 34.38"</b><br><b>Oeste -115° 32' 31.38"</b>             |          |   |
| <b>Contacto</b>    |  |          |   |
| Nombre             | <b>Jesús Alfredo López Villegas</b>                                      | Puesto   | <b>Encargado de la PTAR</b>   |
| Correo electrónico | <b>jlopez@cespm.gob.mx</b>   | Teléfono | <b>686 151 6653</b>   |

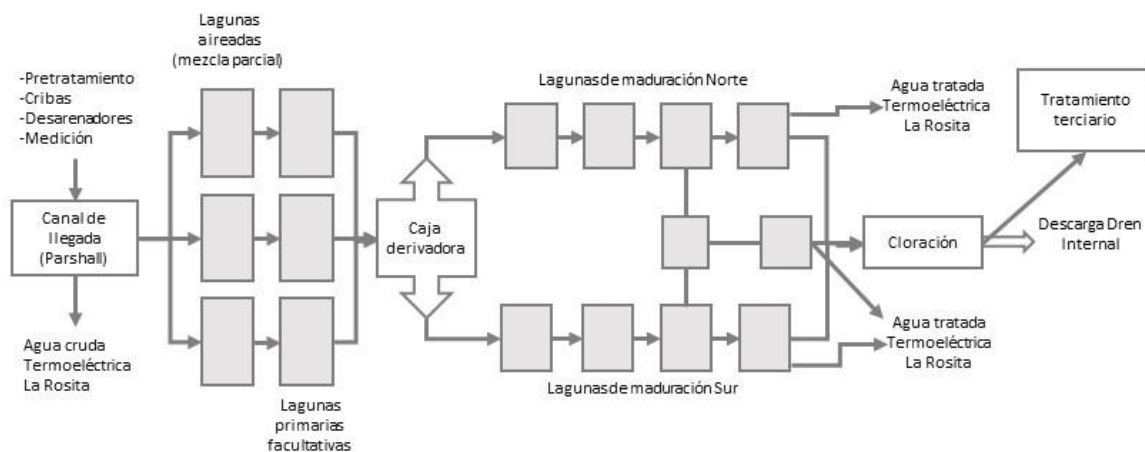
### 1.3 Descripción del proceso

La PTAR Mexicali “Zaragoza” recibe aproximadamente el 55% de las aguas residuales generadas en la ciudad de Mexicali, Baja California, recolectadas a través de los emisores PBAR número 1, 3, 6, 7 y 8.

La Planta se diseñó en 1969 como un sistema de lagunas anaerobias seguidas por un sistema de lagunas facultativas (sistema tipo australiano). Sin embargo, en el año 2005 se realizó un rediseño hacia un sistema de tratamiento de lagunas parcialmente aireadas con capacidad para tratar un caudal de 1,300 L/s, admitiendo un caudal máximo de 2,574 L/s cuando todos los trenes de tratamiento se encuentran en operación simultánea. El área de la PTAR abarca 207 hectáreas. En los capítulos posteriores se describen las dimensiones y geometrías de las lagunas. Estas dimensiones fueron corroboradas con los planos proporcionados por la PTAR.

La PTAR cuenta actualmente con dos trenes de tratamiento, uno que es el principal conformado por sistemas lagunares y el otro por un tratamiento terciario que trata una pequeña cantidad de agua tratada por el sistema lagunar.

En la Figura 85 se presenta un diagrama de flujo del proceso que consta de una caja de llegada, un sistema de pretratamiento para la retención de basura por medio de cribas y dos desarenadores. Posteriormente, el agua pasa a un tratamiento biológico que consiste en tres lagunas parcialmente aireadas A, B y C equipadas con 8 aireadores eléctricos (cada una) montados en plataformas flotantes. Cada aireador cuenta con un agitador de 30 HP y un motor de 15 HP para el suministro de aire. La salida de cada laguna está conectada a una laguna facultativa (de sedimentación) cuyos efluentes se juntan en una caja derivadora que divide el caudal tratado en dos sistemas de lagunas de maduración, el sistema Norte (4 lagunas) y el sistema Sur (4 lagunas).



**Figura 85. Tren de tratamiento de la PTAR Zaragoza**

El sistema biológico está diseñado para el tratamiento de 1,300 L/s de agua residual con un tiempo de retención hidráulico de 22 días aproximadamente.

El efluente generado en el sistema biológico se divide en dos, mandando una parte a la Termoeléctrica “La Rosita” de Mexicali con un caudal promedio de 150.5 L/s y otra al sistema de cloración con un caudal de 483 L/s. Una parte del efluente de la cloración se envía a una planta de tratamiento terciario con un caudal promedio de 7.9 L/s. El tratamiento terciario está conformado por un proceso de coagulación-floculación y un proceso de filtración. El efluente tratado por el tratamiento terciario se reusa para el riego de áreas verdes de la Cd. De Mexicali y para agua de servicio de la propia PTAR. El caudal tratado por este sistema terciario es en



promedio de 5.4 L/s. Un caudal promedio de 233.4 L/s de agua residual cruda se envía también a la termoeléctrica “La Rosita”.

Dentro de las modificaciones y adecuaciones que se han realizado en la PTAR se instalaron 3 equipos adicionales de aireación en cada laguna parcialmente aireadas con capacidad de agitación de 50 HP y con un motor para el soplador de 15 HP, esta modificación se realizó en el año 2016. Posteriormente, en el año 2018, se retiraron las dos cribas gruesas del pretratamiento y se instalaron dos sistemas nuevos de cribas finas para la separación de basura.

## 2 REVISIÓN DOCUMENTAL

### 2.1 Planos

Se recopilaron 127 archivos con un tamaño de 170 MB relacionados a los planos hidráulicos, arquitectónicos, mecánicos, eléctricos, instrumentales, civiles y planos generales de la PTAR de Zaragoza. Los cuales se pueden consultar en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1O1C5IBhKh-rjScerOxRQT4H2igqwOK2Q?usp=sharing> y serán entregados en memoria extraíble al término del proyecto.

### 2.2 Permiso de descarga

La Comisión Nacional del Agua expidió las condiciones particulares de descarga en el título de concesión 01BCA109426/07HMGR05 y permiso para descarga de aguas residuales de 30 589,920.00 m<sup>3</sup>/año (equivalentes a una descarga máxima de 83,808 m<sup>3</sup>/d) al cuerpo receptor tipo “B” Dren Internacional y Dren México, afluentes del Río Nuevo. El sitio de descarga del efluente de la PTAR se observa en la Figura 86.



**Figura 86. Sitio de descarga del efluente de la PTAR**

El título de concesión está fechado el 09 de septiembre de 2020 y tiene vigencia hasta el día 6 de febrero de 2026

Las condiciones particulares de descarga a la que deberán sujetarse las aguas residuales tratadas procedentes de la PTAR Mexicali I “Zaragoza” se muestran en la Tabla 40. Estas condiciones particulares de descarga corresponden a las especificadas en la NOM-001-SEMARNAT-1996, para un cuerpo receptor tipo B. También aparecen los parámetros y límites permisibles de descarga para la NOM-001-SEMARNAT-2021. Esta descarga debe cumplir con los Límites Permisibles que corresponden a “Ríos, arroyos, canales, drenes” de la Tabla 38 y Tabla 39 respectivamente. En la Tabla 40

se muestran los cambios en los Límites Permisibles de los parámetros ya existentes y los nuevos parámetros que se incluyeron para un mejor control de calidad de las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.

**Tabla 40. Condiciones particulares y NOM 001-SEMARNAT-2021 para la descarga de aguas residuales**

| Parámetro   | Condiciones Particulares de Descarga (NOM-001-SEMARNAT-1996) C.R. Tipo B |               | Carga (kg/d) | NOM-001-SEMARNAT-2021 (Ríos, arroyos, canales, drenes) |               |                         | Unidades             |
|---|--|---------------|--------------|--|---------------|-------------------------|----------------------|
|   | Concentración promedio   |               |              | Concentración promedio                                 |               |                         |                      |
|   | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) |              | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) | Valor Instantáneo (V.I) |                      |
| Temperatura                                       | 40   | 40            | N.A.         | 35   | 35            | 35                      | °C                   |
| Grasas y Aceites (CyA)                            | 15   | 25            | 2,095.2      | 15   | 18            | 21                      | mg/L                 |
| Materia flotante                                  | Ausente  | Ausente       | NA           | NA   | NA            | NA                      | Ausencia / presencia |
| Sólidos sedimentables                             | 1  | 2             | NA           | NA   | NA            | NA                      | ml/l                 |
| Sólidos suspendidos totales (SST)                 | 75.00  | 125           | 10,476       | 60   | 72            | 84                      | mg/L                 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | 75.00  | 150           | 12,571.2     | NA   | NA            | NA                      | mg/L                 |
| Demanda Química de Oxígeno(DQO)                   | NA   | NA            | NA           | 150  | 180           | 210                     | mg/L                 |
| Carbón Orgánico Total(COT)                        | NA   | NA            | NA           | 38   | 45            | 53                      | mg/L                 |
| Nitrógeno Total (NT)                              | 40   | 60            | NA           | 25   | 30            | 35                      | mg/L                 |
| Fósforo Total (PT)                                | 20   | 30            | NA           | 15   | 18            | 21                      | mg/L                 |
| Huevos de Helmintos                               | <5   | <5            | NA           | NA   | NA            | NA                      | huevos/litro         |
| Coliformes fecales                                | 1,000  | 2,000         | NA           | NA   | NA            | NA                      | NMP/100 ml           |
| <i>Escherichia Coli</i>                           | NA   | N.A           | NA           | 250  | 500           | 600                     | NMP/100 ml           |
| <i>Enterecocos fecales</i>                        | NA   | NA            | NA           | 250  | 400           | 500                     | NMP/100 ml           |
| pH  | 5-10   | 5-10          | NA           | 6-9  | 6-9           | 6-9                     | UpH                  |
| Arsénico Total (As)                               | 0.1  | 0.2           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4                     | mg/L                 |
| Cadmio Total (Cd )                                | 0.1  | 0.2           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4                     | mg/L                 |
| Cianuro Total (CN )                               | 1  | 2             | NA           | 1  | 2             | 3                       | mg/L                 |
| Cobre Total (Cu)                                  | 4  | 6             | NA           | 4  | 5             | 6                       | mg/L                 |
| Cromo Total (Cr)                                  | 0.5  | 1             | NA           | 1  | 1.25          | 1.5                     | mg/L                 |

| Parámetro  | Condiciones Particulares de Descarga (NOM-001-SEMARNAT-1996) C.R. Tipo B |               | Carga (kg/d) | NOM-001-SEMARNAT-2021 (Ríos, arroyos, canales, drenes) |               |  | Unidades             |
|--|--|---------------|--------------|--|---------------|--|----------------------|
|  | Concentración promedio   |               |              | Concentración promedio                                 |               |  |                      |
|  | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) |              | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) | Valor Instantáneo (V.I.)                   |                      |
| Mercurio Total (Hg)  | 0.005  | 0.01          | NA           | 0.01   | 0.015         | 0.02                                       | mg/L                 |
| Níquel Total (Ni)  | 2  | 4             | NA           | 2  | 3             | 4  | mg/L                 |
| Plomo Total (Pb)   | 0.2  | 0.4           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4  | mg/L                 |
| Zinc Total (Zn)  | 10   | 20            | NA           | 10   | 15            | 20   | mg/L                 |
| Color Verdadero  | NA   | NA            | NA           | Longitud de onda                                       |               | Coefficiente de absorción espectral máximo | NA                   |
|  | NA   | NA            | NA           | 436 nm   |               | 7,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup> |
|  | NA   | NA            | NA           | 525 nm   |               | 5,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup> |
|  | NA   | NA            | NA           | 620 nm   |               | 3,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup> |
| Toxicidad Aguda  | NA   | NA            | NA           | 2 a los 15 minutos de exposición                       |               |  | UT                   |
| C.R. Cuerpo receptor, N.A: No Aplica, P.M: Promedio Mensual, P.D: Promedio Diario, V.I: Valor Instantáneo, NMP: Número más probable, UpH: Unidades de pH, UT: Unidades de Toxicidad  |  |               |              |  |               |  |                      |
| * Si Cloruros es menor a 1000 mg/L se analiza y reporta DQO. * Si Cloruros es mayor o igual a 1000 mg/L se analiza y reporta COT. * Si la conductividad eléctrica menor a 3500 µS/cm se analiza y reporta E. coli. * Si la conductividad eléctrica es mayor o igual a 3500 µS/cm se analiza y reporta Enterococos fecales. Las determinaciones de Conductividad eléctrica y de Cloruros no requieren la acreditación y aprobación de la entidad correspondiente. |  |               |              |  |               |  |                      |

### 2.3 Análisis de la memoria de cálculo

La PTAR no suministró las memorias de cálculo, ya que no cuenta con estas. En el manual de operación de la PTAR vienen algunos datos tales como profundidades de las lagunas, volúmenes de las lagunas, área de las lagunas, tiempos de residencia hidráulica (TRH) y caudales. En los planos proporcionados por la PTAR vienen las dimensiones, geometrías y profundidades. Todos estos datos fueron verificados *in situ* y sirvió como de referencia para comparar las condiciones y parámetros de operación actuales.

### 2.4 Análisis de la información histórica de calidad del agua

A continuación, se presenta un análisis de los parámetros que fueron reportados a la Comisión Nacional del Agua para demostrar el cumplimiento de la CPDs. Estos datos abarcan desde enero de 2018 hasta

junio de 2021 y se pueden consultar en la liga [https://drive.google.com/drive/folders/1DMAe\\_0oxvIqD8497kjSQcILlUoDYRbXy?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1DMAe_0oxvIqD8497kjSQcILlUoDYRbXy?usp=sharing), la cual corresponde a la información documental entregada por la PTAR. Dicha información se entregará en memoria extraíble al finalizar el proyecto.

Los parámetros que se presentan son los solicitados en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para cuerpo receptor “B”, y que corresponden con lo solicitado en el título de concesión para la descarga del agua residual tratada. También se considera el parámetro DQO que se incluye en la NOM-001-SEMARNAT-2021 (Tabla 41).

**Tabla 41. Parámetros de calidad de agua en el periodo 2018 - 2021 y los límites permisibles en la Normatividad oficial mexicana.**

| Parámetro                             | Unidades     | LMP NOM-001-SEMARNAT-1996 |         | 2018 PM |       |       | 2019 PM |       |       | 2020 PM |        |       | 2021 PM |       |       |       |      |
|---------------------------------------|--------------|---------------------------|---------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|------|
|                                       |              | PM                        | PM      | Media   | Mín.  | Máx.  | Media   | Mín.  | Máx.  | Media   | Mín.   | Máx.  | Media   | Mín.  | Máx.  |       |      |
| Flujo (promedio)                      | L/s          | 970*                      |         | 376.7   | 225.7 | 502.2 | 431.5   | 273.8 | 586.5 | 478.5   | 376.7  | 578.5 | 534.9   | 478.5 | 561.5 |       |      |
| Temperatura (promedio)                | °C           | 40                        | 35      | 17.11   | 9.34  | 29.95 | 18.80   | 8.00  | 30.17 | 18.89   | 7.58   | 30.17 | 16.74   | 8.00  | 25.50 |       |      |
| Grasas y aceites (promedio ponderado) | mg/L         | 15                        | 15      | 4.33    | 2.48  | 4.50  | 4.50    | 4.50  | 4.50  | 4.50    | 4.50   | 4.50  | 4.50    | 4.50  | 4.50  |       |      |
| Materia flotante                      | A / P        | Ausente                   | Ausente | Ausente |       |       |         |       |       |         |        |       |         |       |       |       |      |
| Sólidos sedimentables                 | ml/L         | 1                         | N.E.    | 0.17    | 0.10  | 0.70  | 0.12    | 0.10  | 0.2   | 0.44    | 0.30   | 0.5   | 0.05    | 0.05  | 0.05  |       |      |
| Sólidos suspendidos totales           | mg/L         | 75                        | 60      | 71.17   | 50.00 | 92.00 | 65.50   | 38.00 | 96    | 64.92   | 42.00  | 88    | 70.0    | 56.00 | 84    |       |      |
| Conductividad eléctrica               | mS/m         | N.E.                      | N.E.    | N.E.    | N.E.  | N.E.  | N.E.    | N.E.  | N.E.  | 2126    | 1930   | 2275  | N.E.    | N.E.  | N.E.  |       |      |
| Demanda bioquímica de oxígeno         | mg/L         | 75                        | N.E.    | 31.99   | 11.33 | 54.80 | 23.06   | 6.10  | 36    | 32.53   | 9.13   | 49.7  | 24.7    | 16.23 | 33.65 |       |      |
| Demanda química de oxígeno            | mg/L         | N.E.                      | 150     | 207.8   | 170.1 | 240.0 | 176.1   | 117.6 | 229.7 | 181.9   | 128.2  | 210.4 | 207.7   | 161.1 | 253.4 |       |      |
| Nitrógeno total                       | mg/L         | 40                        | 25      | 40.50   | 30.55 | 47.90 | 41.48   | 31.56 | 50.89 | 40.00   | 29.19  | 47.46 | 47.90   | 43.82 | 52.62 |       |      |
| Nitrógeno total Kjeldahl              | mg/L         | N.E.                      | N.E.    | 40.13   | 30.22 | 47.71 | 39.28   | 27.71 | 50.67 | 39.73   | 29.02  | 47.22 | 47.6    | 43.58 | 52.54 |       |      |
| Nitritos                              | mg/L         | N.E.                      | N.E.    | 0.19    | 0.08  | 0.28  | 0.20    | 0.12  | 0.36  | 0.12    | 0.05   | 0.25  | 0.15    | 0.06  | 0.22  |       |      |
| Nitratos                              | mg/L         | N.E.                      | N.E.    | 0.16    | 0.02  | 0.71  | 0.12    | 0.04  | 0.36  | 0.15    | 0.08   | 0.25  | 0.18    | 0.04  | 0.20  |       |      |
| Fósforo total                         | mg/L         | 20                        | 15      | 5.44    | 4.63  | 6.17  | 5.78    | 4.70  | 6.645 | 5.56    | 4.73   | 6.245 | 6.06    | 5.00  | 6.87  |       |      |
| Huevos de Helminetos                  | H/L          | N.E.                      | N.E.    | 0.50    | 0.50  | 0.50  | 0.50    | 0.50  | 0.5   | 0.50    | 0.50   | 0.50  | 0.50    | 0.50  | 0.50  |       |      |
| Coliformes fecales (media geométrica) | NMP / 100 ml | 1000                      |         | N.E.    | 61.6  | 1.5   | 409.3   | 41.8  | 1.5   | 362.5   | 1375.4 | 1.5   | 12519.3 | 131.4 | 5.3   | 745.8 |      |
| pH                                    | Unidades     | 5                         | 10      | 6       | 9     | 7.97  | 7.79    | 8.15  | 7.89  | 7.65    | 8.31   | 8.00  | 7.71    | 8.18  | 7.87  | 7.58  | 8.05 |
| Arsénico                              | mg/L         | 0.1                       |         | 0.2     | 0.013 | 0.013 | 0.013   | 0.013 | 0.013 | 0.013   | 0.013  | 0.013 | 0.013   | 0.013 | 0.013 | 0.013 |      |
| Cadmio                                | mg/L         | 0.1                       |         | 0.2     | 0.025 | 0.025 | 0.025   | 0.025 | 0.025 | 0.025   | 0.025  | 0.025 | 0.025   | 0.025 | 0.025 | 0.025 |      |

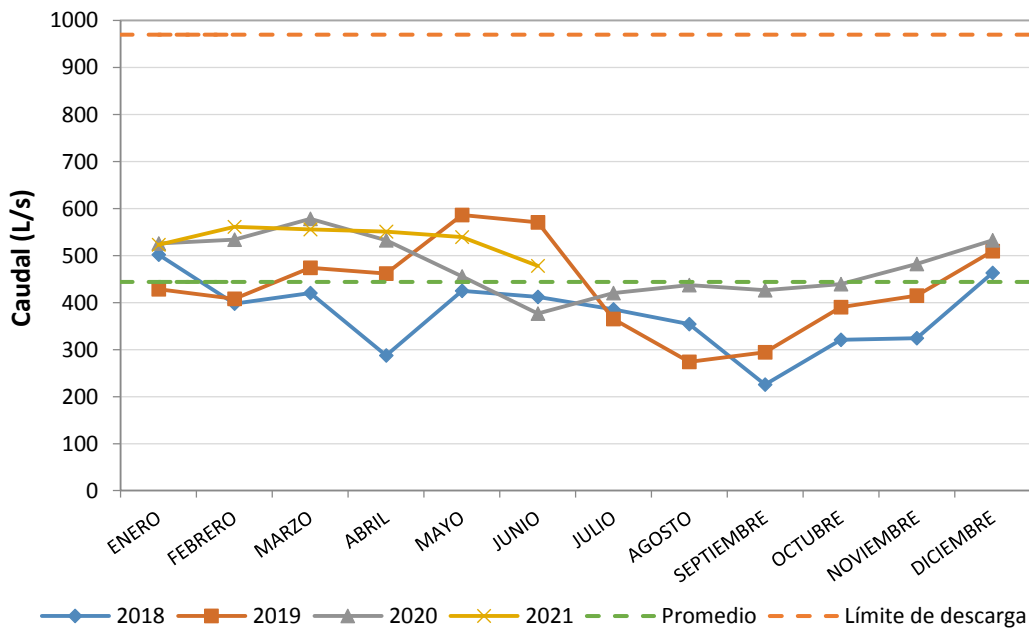
| Parámetro | Unidades | LMP<br>NOM-001-<br>SEMARNAT-<br>1996<br>PM | LP<br>NOM-001-<br>SEMARNAT<br>-2021<br>PM | 2018<br>PM |       |       | 2019<br>PM |       |       | 2020<br>PM |       |       | 2021<br>PM |       |       |
|-----------|----------|--|---|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|
|           |          |  |   | Media      | Mín.  | Máx.  | Media      | Mín.  | Máx.  | Media      | Mín.  | Máx.  | Media      | Mín.  | Máx.  |
| Cianuros  | mg/L     | 1  | 1   | 0.012      | 0.005 | 0.05  | 0.005      | 0.005 | 0.005 | 0.005      | 0.005 | 0.005 | 0.005      | 0.005 | 0.005 |
| Cobre     | mg/L     | 4  | 4   | 0.0140     | 0.01  | 0.05  | 0.083      | 0.01  | 0.30  | 0.025      | 0.030 | 0.025 | 0.021      | 0.01  | 0.075 |
| Cromo     | mg/L     | 0.5  | 1   | 0.03       | 0.03  | 0.08  | 0.025      | 0.025 | 0.025 | 0.012      | 0.01  | 0.024 | 0.025      | 0.03  | 0.025 |
| Mercurio  | mg/L     | 0.005                                      | 0.01                                      | 0.003      | 0.003 | 0.003 | 0.003      | 0.003 | 0.003 | 0.003      | 0.003 | 0.003 | 0.003      | 0.003 | 0.003 |
| Níquel    | mg/L     | 2  | 2   | 0.058      | 0.025 | 0.307 | 0.040      | 0.025 | 0.058 | 0.029      | 0.025 | 0.056 | 0.025      | 0.025 | 0.025 |
| Plomo     | mg/L     | 0.2  | 0.2                                       | 0.028      | 0.024 | 0.065 | 0.025      | 0.025 | 0.025 | 0.029      | 0.025 | 0.041 | 0.040      | 0.025 | 0.116 |
| Zinc      | mg/L     | 10   | 10  | 0.029      | 0.010 | 0.110 | 0.020      | 0.010 | 0.041 | 0.026      | 0.010 | 0.083 | 0.053      | 0.010 | 0.217 |

N.E. No se especifica, PM. Promedio mensual

\* Permiso de descarga

## 2.4.1 Caudal

La PTAR Zaragoza tiene permitida una descarga máxima de 970 L/s de acuerdo con su título de concesión. En la Figura 87 y en la Tabla 42 se presentan los datos obtenidos de la medición del caudal en el efluente de la PTAR entre los años 2018 y 2021. En la Figura 87, se observa que la planta ha operado con un caudal promedio de 475 L/s que representa un 49% del permitido y picos máximos que no llegan a 800 L/s, por lo que, de acuerdo con los datos compartidos por la PTAR se ha cumplido con este parámetro en los últimos años. La PTAR fue diseñada para tratar un caudal de 1,300 L/s, por lo que en los últimos años se descargaron en promedio un 36.5% de agua residual tratada respecto al caudal de diseño.



**Figura 87. Datos históricos de caudal en la PTAR (2018 - 2021)**

En la Tabla 42, aparece un resumen del promedio anual y de los valores máximos y mínimos que se presentaron en cada uno de los años estudiados. Se observa que el caudal de operación se ha incrementado con los años sin llegar al máximo permitido.



**Tabla 42. Caudal de operación de la planta en los años 2018-2021**

| Año                     | Caudal tratado (L/s) |             |        |              |
|-------------------------|----------------------|-------------|--------|--------------|
|                         | Promedio             | %           | Mínimo | Máximo       |
| <b>Caudal de diseño</b> | <b>1,300</b>         | <b>36.5</b> | -      | <b>2,574</b> |
| 2018                    | 376.7                | 38.8*       | 225.7  | 502.2        |
| 2019                    | 431.5                | 44.9*       | 273.8  | 586.5        |
| 2020                    | 478.7                | 49.4*       | 376.7  | 578.5        |
| 2021                    | 534.9                | 55.1*       | 478.5  | 561.5        |

% \*con respecto al máximo permitido de 970 L/s

## 2.4.2 Temperatura

La temperatura en el efluente de la Planta también es un parámetro que está normado y que tiene un límite máximo de 40 °C de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y de 35°C según la NOM-001-SEMARNAT-2021.

En la Figura 88 se presentan los valores reportados de temperatura en el efluente de la PTAR entre los años 2018 y 2021.

Se observa un comportamiento cíclico que parece ser dependiente de la temperatura ambiental, la cual tiene temperaturas extremas en la zona, presentándose temperaturas menores a 15 °C entre noviembre y marzo y que aumentan progresivamente hasta llegar a picos máximos mayores de 30 °C en el mes de julio, que no llegan a superar el límite máximo permitido.

Las lagunas de estabilización pueden operar adecuadamente en un amplio rango de temperatura del agua de 10-30°C, por lo que los cambios de temperatura observados no afectan la eficiencia de operación. Para obtener buenos porcentajes de remoción durante todo el año, las lagunas deben diseñarse con la temperatura promedio del agua del mes más frío (Von Sperling and Chernicharo,2005).

En la Tabla 43, se muestra la variación de la temperatura en los años evaluados y se observa que siempre se cumple con el LMP establecido en la NOM.

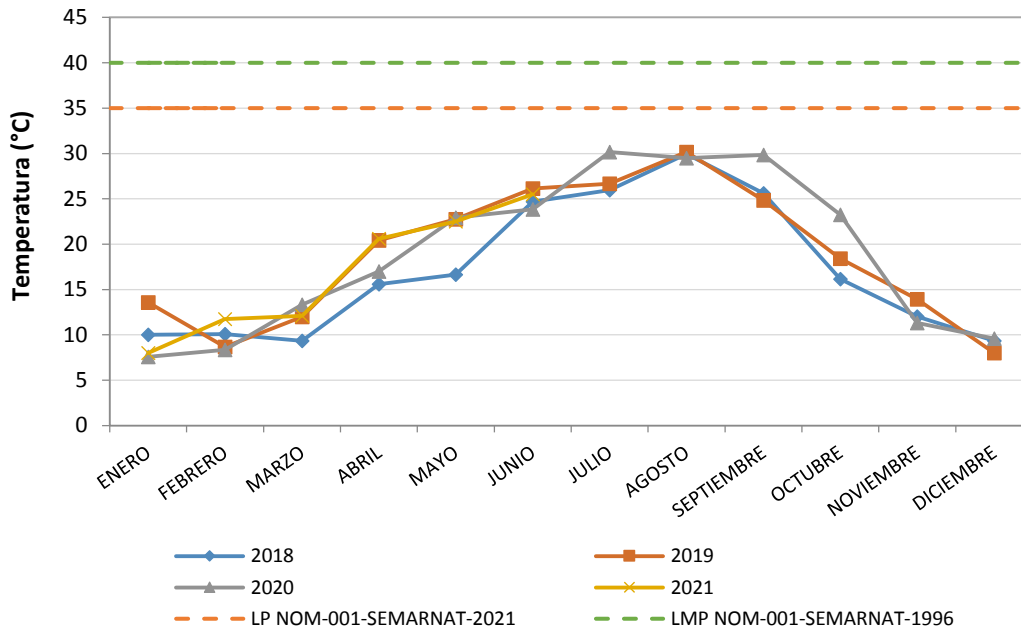


Figura 88. Datos históricos de temperatura en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)

Tabla 43. Comportamiento de la temperatura de 2019 a 2021

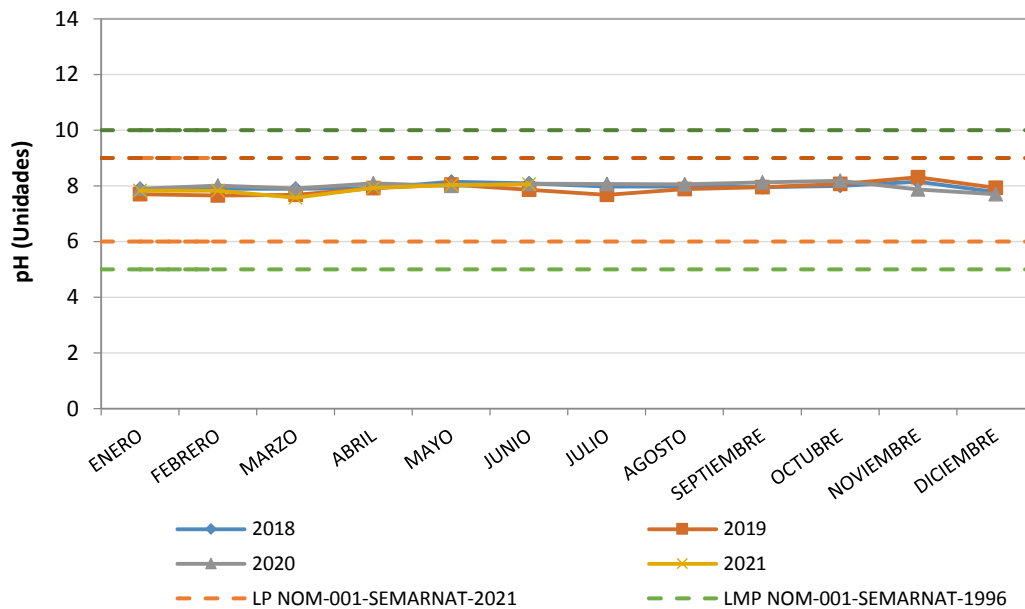
| Año  | Temperatura (°C) |        |        |
|------|------------------|--------|--------|
|      | Promedio         | Mínimo | Máximo |
| 2018 | 17.1             | 9.34   | 29.5   |
| 2019 | 18.80            | 8.00   | 30.17  |
| 2020 | 18.89            | 7.58   | 30.17  |
| 2021 | 16.74            | 8.00   | 25.50  |

### 2.4.3 pH

Este parámetro resulta importante no solo para el cumplimiento de lo establecido en la Normatividad oficial mexicana y lo solicitado en el título de concesión, sino que también resulta indispensable para el proceso de depuración de aguas residuales, ya que la PTAR cuenta con un proceso biológico, cuyos microorganismos dependen de condiciones óptimas de pH para sobrevivir y realizar la degradación de contaminantes de manera adecuada.

Para llevar a cabo un adecuado tratamiento y que los microorganismos de las lagunas de tratamiento cuenten con un ambiente propicio se deben tener valores de pH entre 6.0 y 8.5 unidades. Mientras que la Normatividad permite efluentes con valores entre 5.0 y 10.0 unidades de pH (NOM-001-SEMARNAT-1996).

En la Figura 89 se presentan los valores obtenidos de pH en el efluente de la PTAR entre los años 2018 y 2019. Se observa que el pH del efluente tiene valores promedio de 7.92 unidades, presentando valores mínimos mayores a 7.5 unidades y valores máximos menores de 8.5 unidades, lo que indica el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 que rige la descarga actual y también cumple con los Límites permisibles exigidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021 entre 6 y 9 unidades. Además, se observa que el intervalo de pH presente es propicio para el desarrollo de microorganismos adecuados para los procesos que se llevan a cabo en las lagunas de tratamiento con los que cuenta la PTAR.



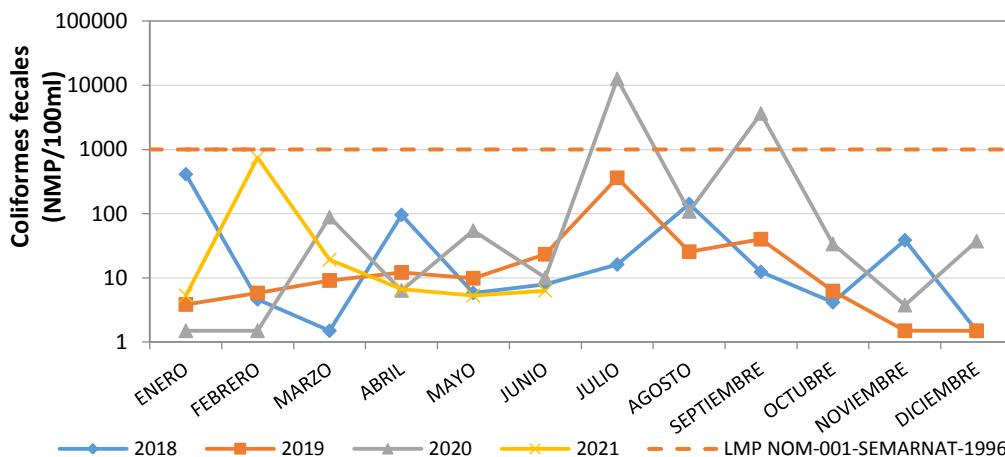
**Figura 89. Datos históricos de pH en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**

#### 2.4.4 Coliformes fecales

Continuando con el análisis de parámetros microbiológicos en el efluente de la PTAR Zaragoza, se analizaron los resultados históricos (2018 - 2021) de Coliformes fecales (

Figura 90). El sistema lagunar de tratamiento incluido en la PTAR Zaragoza incluye lagunas aireadas, lagunas de sedimentación y lagunas de maduración, por lo que el sistema contempla la remoción de coliformes y debe cumplir con lo establecido en la NOM que establece un límite máximo de 1,000 NMP/100 ml como promedio mensual. En la NOM-001-SEMARNAT-2021, este parámetro no aplica para descargas a “ríos, arroyos, canales y drenes”. Se reemplazó por *E. coli*, si la conductividad eléctrica del agua residual es <3,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y si es mayor o igual a 3,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se analiza y reporta Enterococos Fecales.

Se observa que, durante el periodo de análisis, el valor promedio de este parámetro es de 94 NMP/100ml, lo que se encuentra muy por debajo del límite máximo permisible en la Normatividad y en el título de concesión. Sin embargo, se observa que en julio y septiembre de 2020 los valores de coliformes fecales superaron el LMP (valor 12,519 y 3,638 NMP/100 ml). Además, en enero de 2018 y febrero de 2021 se tuvieron valores atípicos obteniendo valores de 409 y 745 NMP/100 ml, respectivamente, los cuales no sobrepasan el límite máximo permisible. Sin embargo, se debe prestar atención a las bitácoras de operación para conocer la causa posible de este aumento en la cantidad de coliformes fecales que se liberaron en la descarga de agua residual tratada.



**Figura 90. Datos históricos de Coliformes fecales en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**

#### **2.4.5 Grasas y Aceites**

El promedio mensual permitido de grasas y aceites en la descarga de aguas residuales tratadas a un cuerpo receptor tipo B es de 15 mg/L como promedio mensual de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996. Los datos compartidos por el responsable de la Planta muestran que en el periodo comprendido entre enero de 2018 y junio de 2021 el efluente de la PTAR contenía una concentración menor a 9 mg/L de grasas y aceites. Por lo que se cumple con la Normatividad oficial en lo que respecta a este parámetro. Respecto a la NOM-001-SEMARNAT-2021, el límite permisible no se modificó, por lo tanto, la planta sigue cumpliendo con lo exigido por la NOM.

#### **2.4.6 Huevos de Helminto**

En lo que respecta a los Huevos de Helmintos, se presentaron valores constantes de 0.5 H/L en el efluente de la Planta durante el periodo que comprende de enero de 2018 a junio de 2021. Este parámetro se encuentra muy por debajo (90%) del límite establecido de 5.0 H/L. Lo que indica que el tiempo de residencia en el sistema lagunar resulta adecuado para la remoción de dicho parásito. En la NOM-001-SEMARNAT-2021, este parámetro no aplica para descargas a “ríos, arroyos, canales y drenes”. Para la NOM-001-SEMARNAT-1996, el límite máximo permisible para las descargas vertidas al suelo (uso en riego agrícola) es de un HH/L para riego no restringido, y de cinco HH/L para riego restringido.

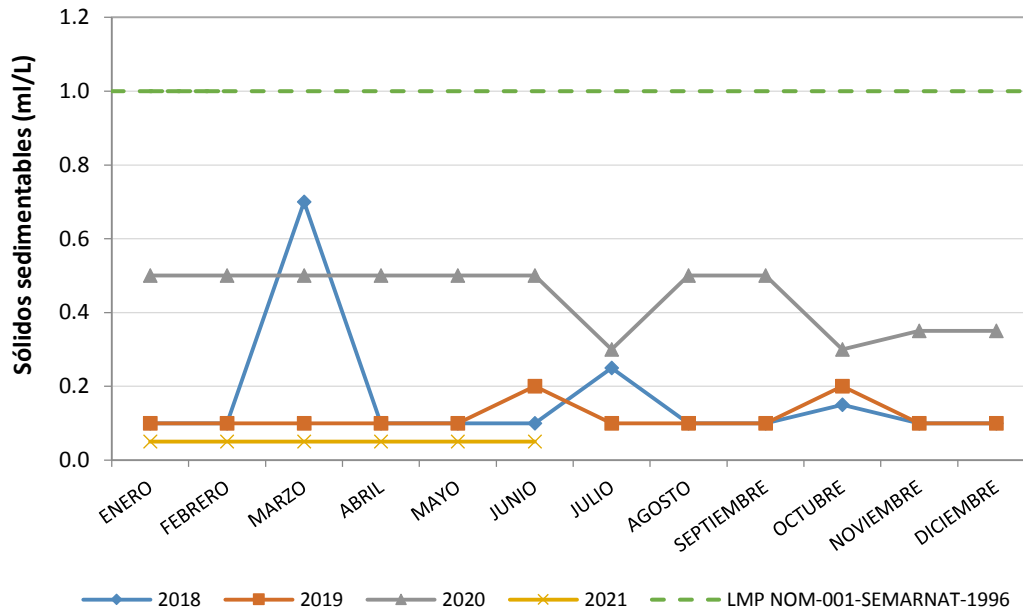
#### **2.4.7 Materia flotante**

Los resultados de calidad del agua compartidos por el personal de la PTAR Zaragoza nos indican que, durante el periodo de evaluación, la materia flotante siempre se reportó como ausente, por lo que se cumple con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

#### **2.4.8 Sólidos sedimentables**

Los sólidos sedimentables en el efluente de una Planta de tratamiento que descarga a un cuerpo receptor tipo B no deben sobrepasar el límite máximo establecido en la Normatividad oficial vigente, que establece un promedio mensual de 1.0 ml/L. En la Figura 91 se presentan los valores obtenidos de sólidos sedimentables en el efluente de la Planta en el periodo de estudio (2018-2021). Se observa que no se presentaron valores superiores a lo establecido en la NOM.

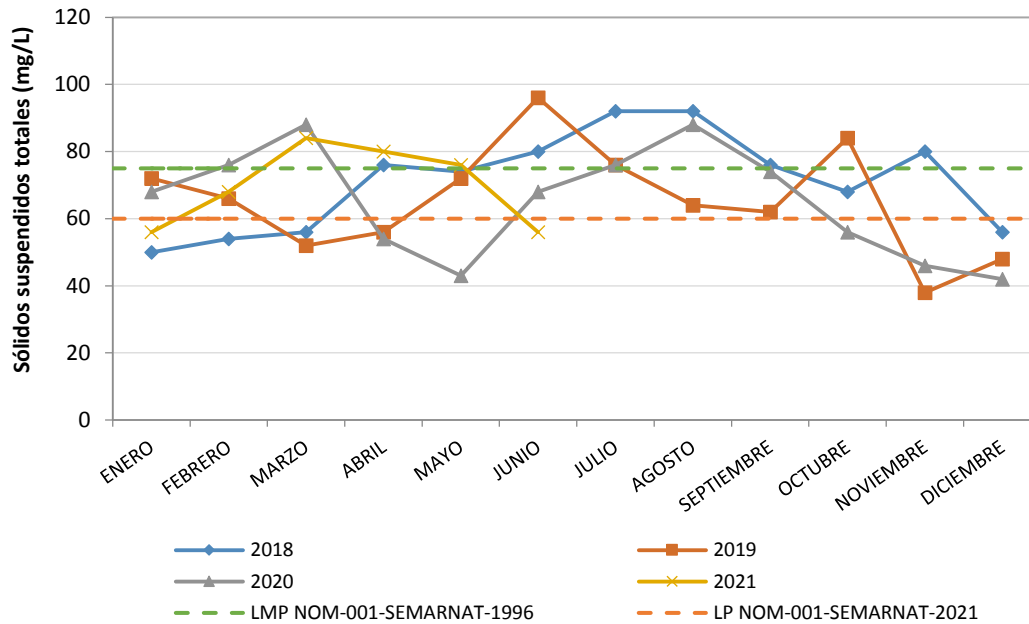
La NOM-001-SEMARNAT-2021 no considera este parámetro. Es lógico considerar que no se deben descargar sólidos sedimentables a los cuerpos receptores.



**Figura 91. Datos históricos de sólidos sedimentables en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**

### 2.4.9 Sólidos suspendidos totales (SST)

En la Figura 92 se presentan los resultados de sólidos suspendidos totales (SST) de los análisis realizados al efluente de la PTAR Zaragoza entre enero de 2018 y junio de 2021. En la figura, se observa valores arriba de LMP promedio mensual de 75 mg/L que establece la NOM-001-SEMARNAT-2016 y de los 60 mg/L que establece la NOM-001-SEMARNAT-2021, por lo que se deberá revisar el estado actual de las instalaciones y las condiciones de operación de la planta para cumplir con este parámetro.

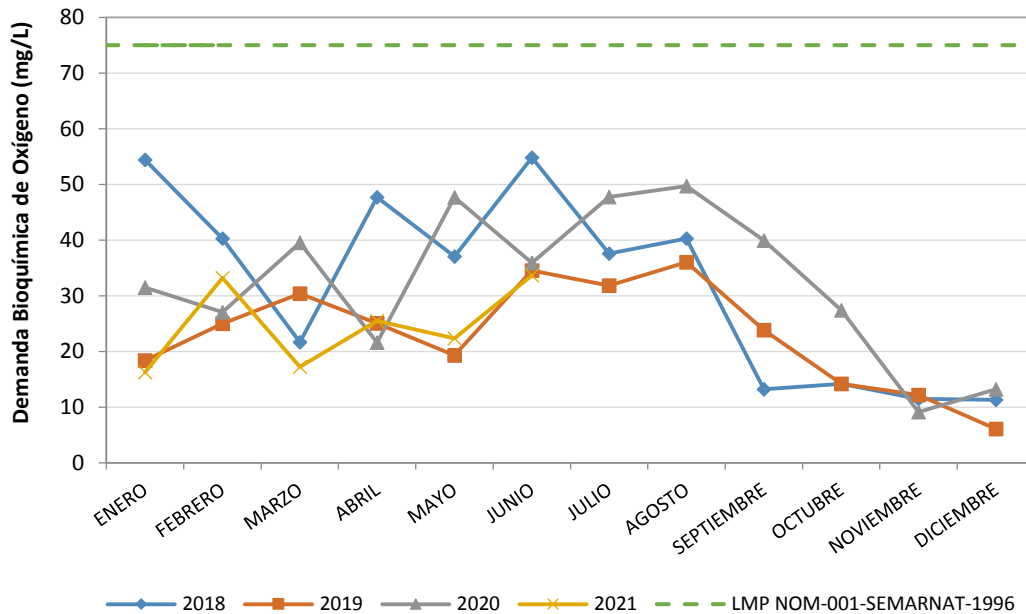


**Figura 92. Datos históricos de sólidos suspendidos totales en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**

#### 2.4.10 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

La remoción de materia orgánica es uno de los parámetros de control más importantes dentro de un sistema de depuración de aguas residuales, por lo que es importante determinar la concentración de materia orgánica en las descargas a cuerpos receptores por medio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

En la Figura 93, se presentan los resultados compartidos por el personal de la Planta respecto a la concentración de materia orgánica medida como DBO<sub>5</sub> en el efluente. Se observa un valor promedio de 29 mg/L, que representa el 38.6% del límite máximo permitido (75 mg/L promedio mensual) en la NOM-001-SEMARNAT-1996. También, se puede observar que en general los valores máximos de DBO<sub>5</sub> no sobrepasan 60 mg/L, por lo que el tratamiento que se da al agua residual es adecuado para remover la materia orgánica biodegradable y se cumple con lo establecido en el título de concesión de la PTAR y en la NOM.



**Figura 93. Datos históricos de Demanda Bioquímica de Oxígeno en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**

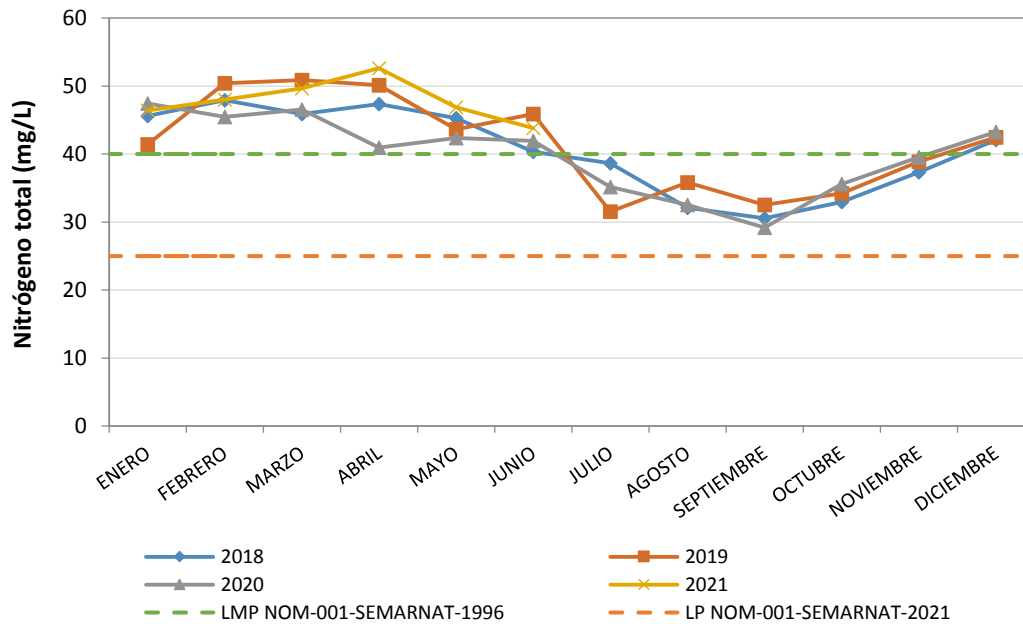
#### 2.4.11 . Nitrógeno Total (NT)

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales que involucran procesos biológicos presentan una importante remoción de nutrientes adicional a la degradación de materia orgánica. Este es el caso de los sistemas lagunares de tratamiento. En la Figura 94 y en la Tabla 44 se presentan los resultados que se obtuvieron en los análisis de seguimiento de la PTAR realizados al efluente en el periodo comprendido entre 2018 y 2021.

Se observa una concentración promedio de nitrógeno total de 42 mg/L que se encuentra arriba del límite máximo permisible de 40 mg/L. Se observa que a lo largo de los casi 4 años (en los que se presentan resultados) los valores de nitrógeno total oscilan entre 30 y 55 mg/L.

Para la NOM-001-SEMARNAT-2021 el Límite Permisible promedio mensual para el Nitrógeno Total es de 25 mg/L, como se observa en la figura todos los valores son superiores al LP. Por lo que la planta de tratamiento debe realizar un análisis detallado de la capacidad del proceso existente para la remoción de este parámetro y en caso de no poder cumplir se requiere hacer una modificación al tren de tratamiento.





**Figura 94. Datos históricos de nitrógeno total (NT) en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**

**Tabla 44. Comportamiento del Nitrógeno total en los años 2018-2021**

| Año  | Nitrógeno Total (mg/L) |        |        |
|------|------------------------|--------|--------|
|      | Promedio               | Mínimo | Máximo |
| 2018 | 40.50                  | 30.55  | 47.90  |
| 2019 | 41.48                  | 31.56  | 50.89  |
| 2020 | 40.00                  | 29.19  | 47.46  |
| 2021 | 47.90                  | 43.82  | 52.62  |

### 2.4.12 Fósforo Total (PT)

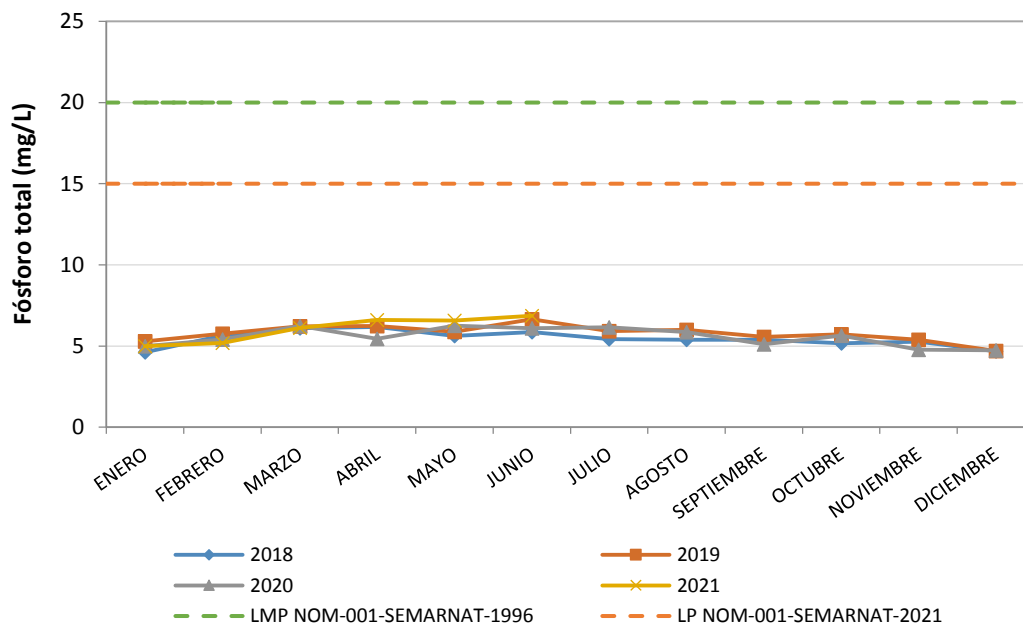
En la Tabla 45 y en la Figura 95, se presentan las concentraciones de fósforo total obtenidas en el efluente de la PTAR durante el periodo de estudio (2018 - 2021). Se observa que los valores promedio durante el periodo son menores a 6 mg/L, por lo que se encuentra por debajo de los valores establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2016 (20 mg/L promedio mensual).

También, muestra que los valores obtenidos no sobrepasan los 8 mg/L, por lo que, de acuerdo con estos datos, se puede inferir que el agua tratada que se descarga al Dren Internacional por la PTAR Zaragoza se encuentra en cumplimiento de lo establecido en la NOM y en el título de concesión en lo que respecta a la concentración de fósforo total. Además, se observa un comportamiento estable en la concentración, por lo que no hay indicios de que exista algún componente del proceso que vaya cambiando a lo largo de los últimos años.

Respecto a la NOM-001-SEMARNAT-2021, la concentración del PT en el efluente de la PTAR, es menor al Límite Permisible que establece esta NOM, por lo que se cumple adecuadamente con este parámetro.

**Tabla 45. Comportamiento del Fósforo total en los años 2018-2021**

| Año  | Fósforo Total (mg/L) |        |        |
|------|----------------------|--------|--------|
|      | Promedio             | Mínimo | Máximo |
| 2018 | 5.44                 | 4.63   | 6.17   |
| 2019 | 5.78                 | 4.70   | 6.645  |
| 2020 | 5.56                 | 4.73   | 6.245  |
| 2021 | 6.06                 | 5.00   | 6.87   |



**Figura 95. Datos históricos de fósforo total en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**

### 2.4.13 Metales pesados y cianuros

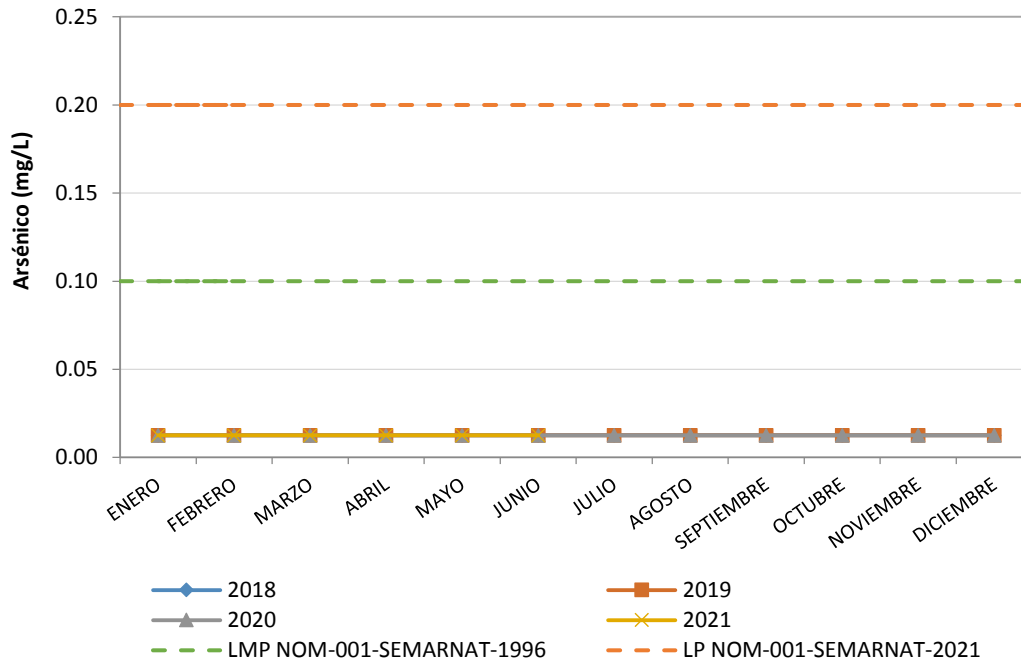
En la Tabla 46, se observan los valores promedio, mínimo y máximo de los metales y cianuros durante el período en estudio.

**Tabla 46. Comportamiento de los metales pesados durante 2018-2021**

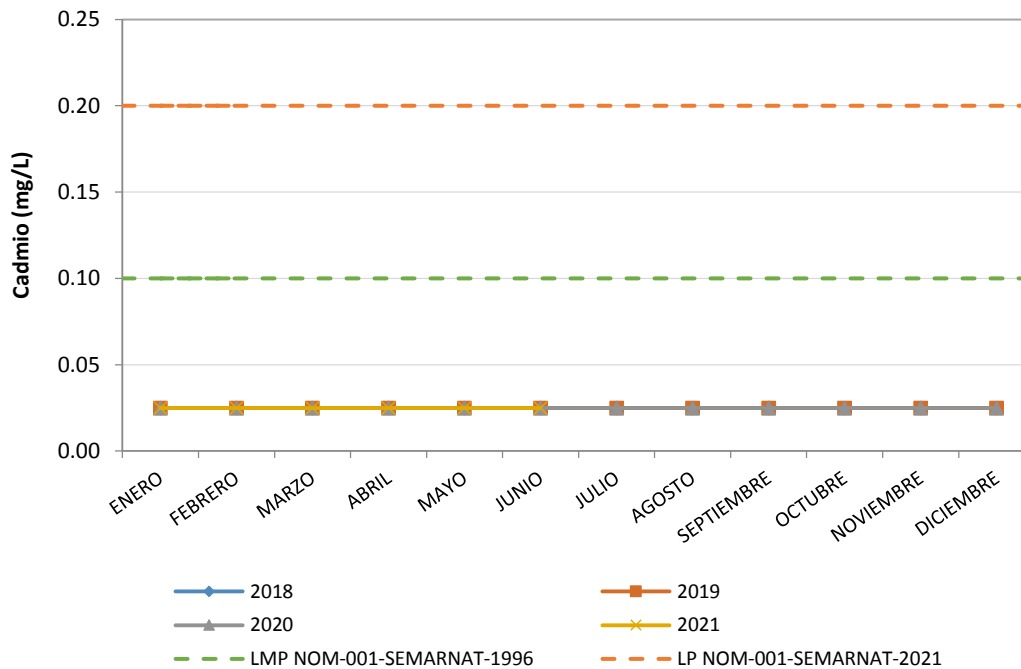
| Parámetro<br>(mg/L) | LMP<br>NOM-001-<br>SEMARNAT-<br>1996<br>PM | LP<br>NOM-001-<br>SEMARNAT-<br>2021<br>PM | Promedio | Mínimo | Máximo |
|---------------------|--|---|----------|--------|--------|
| Arsénico            | 0.1  | 0.2                                       | 0.013    | 0.013  | 0.013  |
| Cadmio              | 0.1  | 0.2                                       | 0.025    | 0.025  | 0.025  |
| Cianuro             | 1  | 1   | 0.040    | 0.005  | 0.05   |
| Cobre               | 4  | 4   | 0.036    | 0.01   | 0.3    |
| Cromo               | 0.5  | 1   | 0.023    | 0.01   | 0.08   |
| Mercurio            | 0.005                                      | 0.01                                      | 0.003    | 0.003  | 0.003  |
| Níquel              | 2  | 2   | 0.042    | 0.025  | 0.058  |
| Plomo               | 0.2  | 0.2                                       | 0.030    | 0.024  | 0.116  |
| Zinc                | 10   | 10  | 0.032    | 0.01   | 0.217  |

De acuerdo con los datos analizados, se puede concluir que las concentraciones de metales y cianuros en el efluente de la PTAR Zaragoza durante el periodo comprendido entre enero de 2018 y junio de 2021, no representan un problema para el cuerpo de agua receptor ni son indicativos de posibles problemas en el sistema de tratamiento lagunar, ya que no se presentan tendencias que indiquen un incremento en la concentración de dichos parámetros o valores que sobrepasen la NOM-001-SEMARNAT de 1996 o 2021.

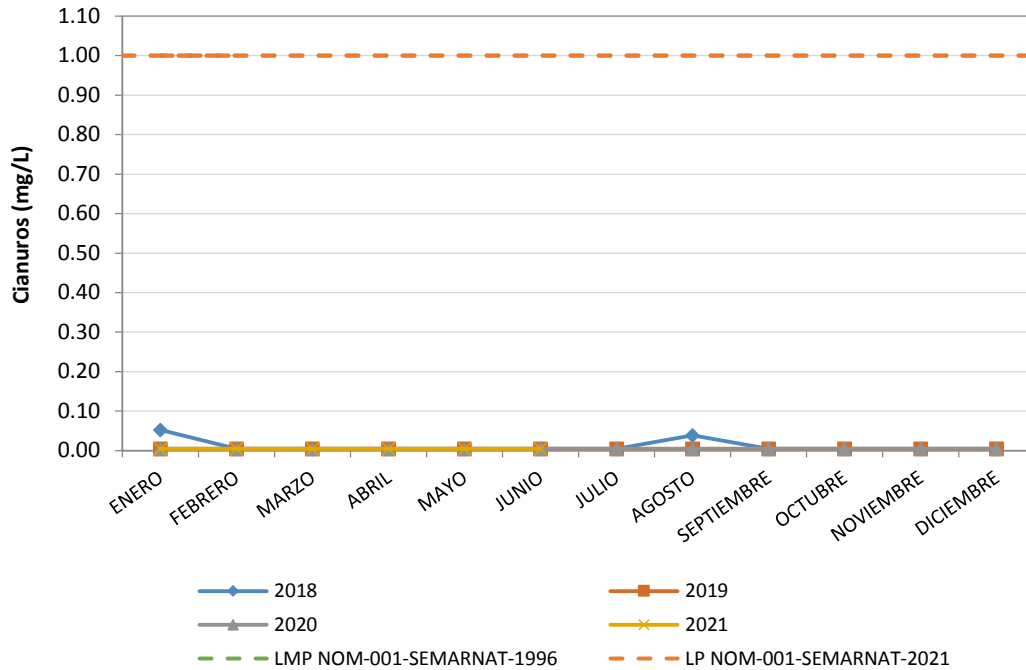
En las Figura 96 a la 21 se presentan las gráficas de los datos históricos (2018 a 2021) de concentración de metales; arsénico, cadmio, cianuros, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc. Se observa que para todos los parámetros mencionados las concentraciones encontradas en el efluente son menores a los límites establecidos en la Normatividad de 1996 y de 2021.



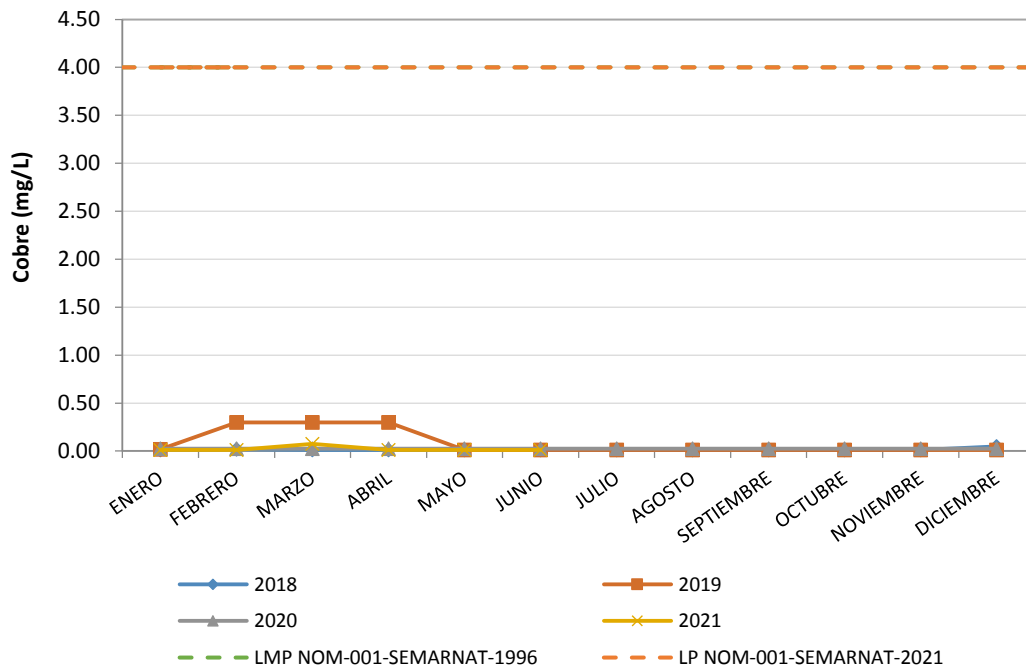
**Figura 96. Datos históricos de arsénico en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**



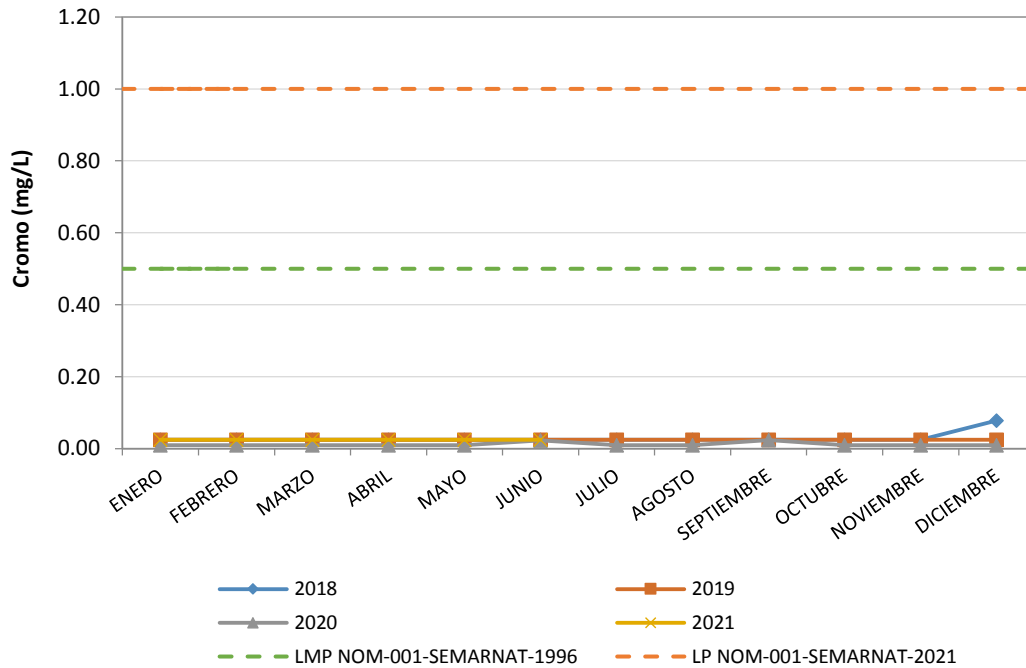
**Figura 97. Datos históricos de cadmio en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**



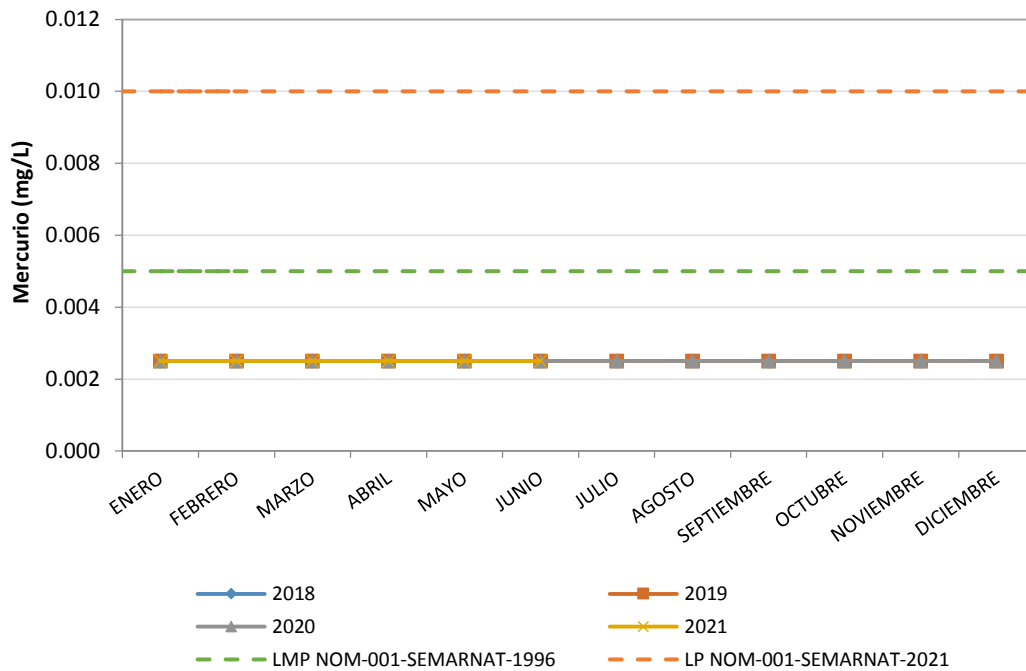
**Figura 98. Datos históricos de cianuros en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**



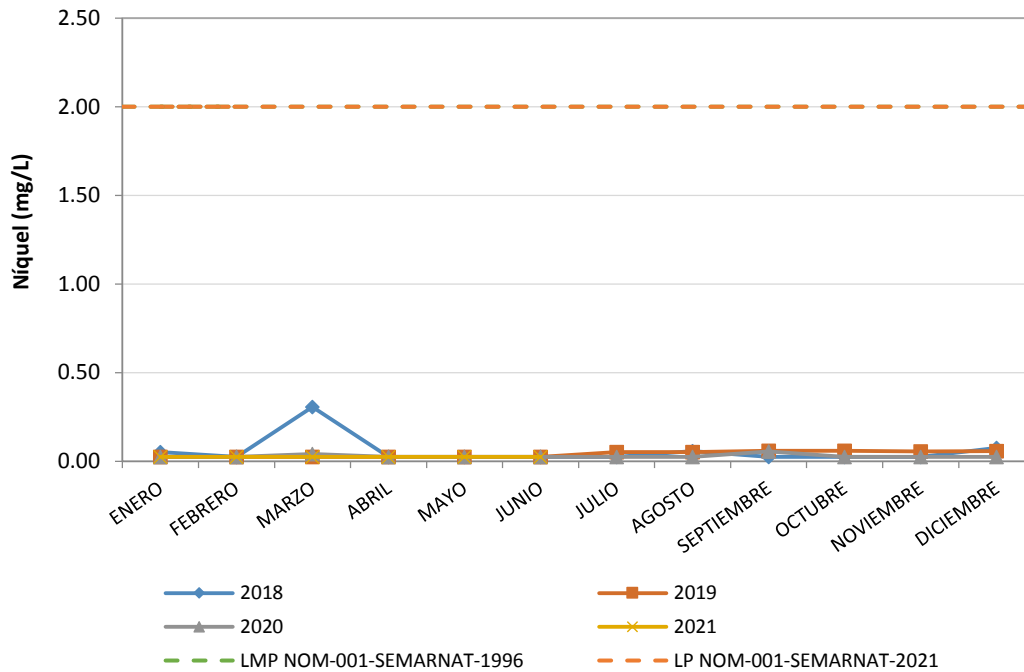
**Figura 99. Datos históricos de cobre en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**



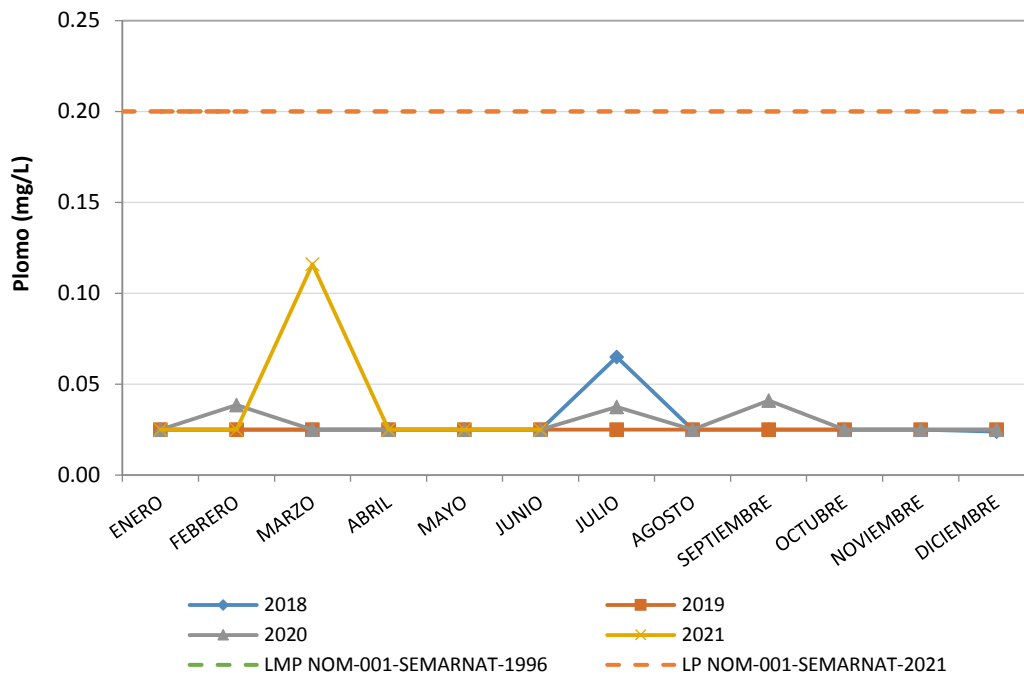
**Figura 100. Datos históricos de cromo en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**



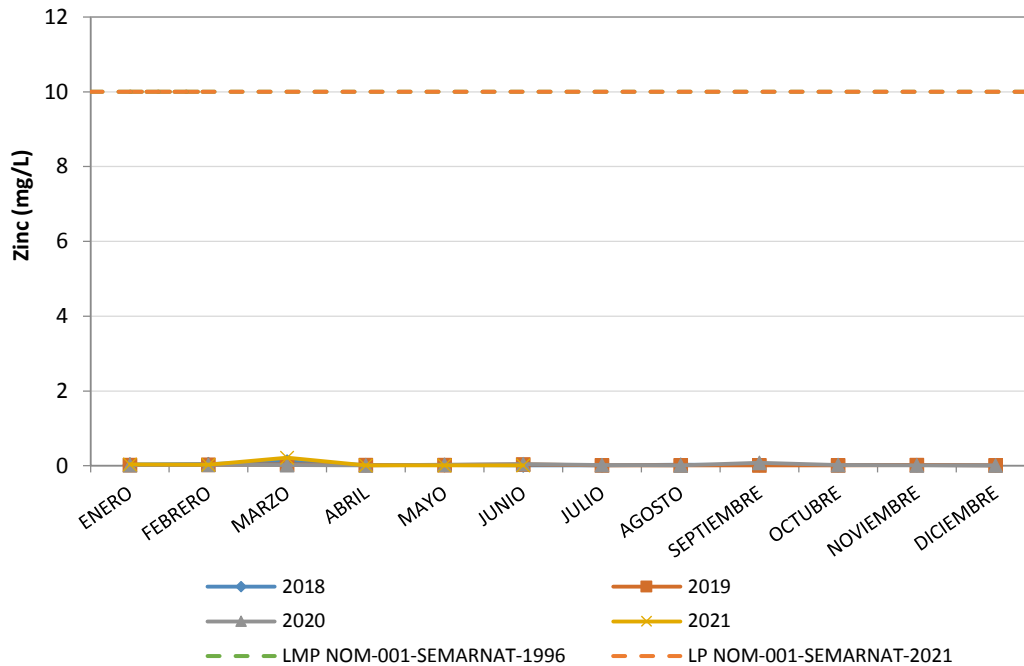
**Figura 101. Datos históricos de mercurio en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**



**Figura 102. Datos históricos de níquel en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**



**Figura 103. Datos históricos de plomo en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**



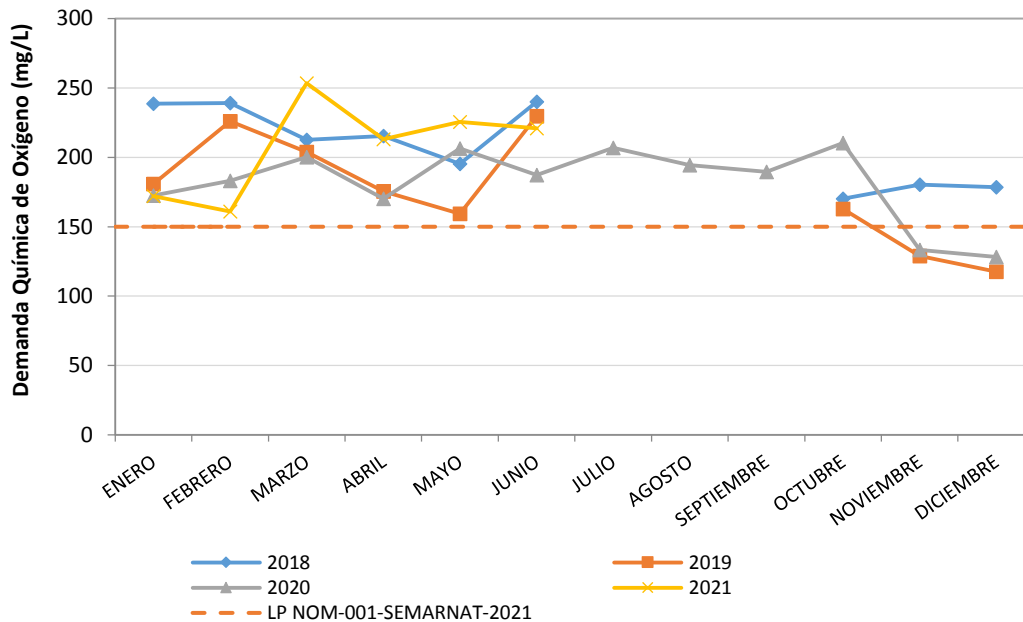
**Figura 104. Datos históricos de zinc en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**

#### 2.4.14 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

A pesar de que la concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO) no se considera en la Normatividad oficial vigente, resulta importante analizar, si se toma en cuenta que se debe cumplir con la actualización de la NOM-001-SEMARNAT-1996. Este parámetro es muy importante para el control de los procesos que se desarrollan en una PTAR y es un mejor indicador de la materia orgánica presente en el agua residual.

Con los datos obtenidos en el periodo comprendido entre 2018 y 2021, a pesar de existir varios eventos de muestreo en los que no se reportaron los resultados de este parámetro en el efluente de la PTAR, se realizó la Figura 105 y la Tabla 47 en la que se observa que la DQO tiene una concentración promedio de aproximadamente 200 mg/L con un par de picos que superan los 250 mg/L que, sin embargo, no alcanzan los 300 mg/L.





**Figura 105. Datos históricos de DQO en el efluente de la PTAR (2018 - 2021).**

La NOM-001-SEMARNAT-2021 exige un promedio mensual de DQO 150 mg/L y un promedio diario de 180 mg/L. De acuerdo con los datos reportados por la planta, el efluente no cumple con la nueva NOM, y por lo tanto se necesita realizar un análisis del diseño, de la operación y del estado actual de la planta para definir las modificaciones o mejoras a realizar para cumplir con este parámetro.

La relación DBO/DQO en el efluente es de 0.139, lo cual indica que la mayor parte de la materia orgánica degradable ( $DBO_5$ ) se removió durante el tratamiento y que queda una fracción inorgánica y/o de lenta degradación que persiste después del tratamiento.

**Tabla 47. Comportamiento de la DQO en los años 2018-2021**

| Año  | DQO (mg/L) |        |        |
|------|------------|--------|--------|
|      | Promedio   | Mínimo | Máximo |
| 2018 | 207.8      | 170.1  | 240.0  |
| 2019 | 176.1      | 117.6  | 229.7  |
| 2020 | 181.9      | 128.2  | 210.4  |
| 2021 | 207.7      | 161.1  | 253.4  |

#### **2.4.15 Resumen de la calidad del efluente de la PTAR de Zaragoza**

La Tabla 48 presenta el resumen las características del efluente de la PTAR de Zaragoza durante el período en estudio. En esta tabla se muestra los LMP que debe cumplir de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT- 1996 y 2021 y los promedios anuales, el máximo y el mínimo reportados durante los años 2018-2021

Con los datos proporcionados por el personal de la PTAR Zaragoza respecto a la calidad del agua en el efluente durante el periodo entre enero de 2018 y junio de 2021, se puede concluir que el efluente de la PTAR no cumple con lo requerido en el título de concesión otorgado y con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 en los parámetros de sólidos suspendidos totales y Nitrógeno total. También se le debe dar seguimiento al parámetro coliformes fecales para que siempre cumpla con el LMP.

Para cumplir con la NOM-001-SEMARNAT-2021 se debe hacer un estudio para definir si solo se requiere hacer modificaciones menores al proceso de la planta o si se requiere de una reingeniería para cumplir con los nuevos Límites Permisibles. En este análisis de los datos históricos del 2018 al 2021, se observa que el efluente de la planta de tratamiento no cumple con los siguientes parámetros: Sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno Total, (NT) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

**Tabla 48. Resumen de la calidad del efluente de la PTAR de Zaragoza**

| Parámetro                             | Unidades     | LMP NOM-001-SEMARNAT-1996 |         | LP NOM-001-SEMARNA T-2021 |       | 2018 PM |       |       | 2019 PM |       |       | 2020 PM |       |         | 2021 PM |       |       |
|---------------------------------------|--------------|---------------------------|---------|---------------------------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|---------|---------|-------|-------|
|                                       |              | PM                        | PM      | PM                        | PM    | Media   | Mín.  | Máx.  | Media   | Mín.  | Máx.  | Media   | Mín.  | Máx.    | Media   | Mín.  | Máx.  |
| Flujo (promedio)                      | L/s          | 970*                      |         |                           |       | 376.7   | 225.7 | 502.2 | 431.5   | 273.8 | 586.5 | 478.5   | 376.7 | 578.5   | 534.9   | 478.5 | 561.5 |
| Temperatura (promedio)                | °C           | 40                        | 35      |                           |       | 17.11   | 9.34  | 29.95 | 18.80   | 8.00  | 30.17 | 18.89   | 7.58  | 30.17   | 16.74   | 8.00  | 25.50 |
| Grasas y aceites(promedio ponderado)  | mg/L         | 15                        | 15      |                           |       | 4.33    | 2.48  | 4.50  | 4.50    | 4.50  | 4.50  | 4.50    | 4.50  | 4.50    | 4.50    | 4.50  | 4.50  |
| Materia flotante                      |              | Ausente                   | Ausente | Ausente                   |       |         |       |       |         |       |       |         |       |         |         |       |       |
| Sólidos sedimentables                 | ml/L         | 1                         | N.E.    | 0.17                      | 0.10  | 0.70    | 0.12  | 0.10  | 0.2     | 0.44  | 0.30  | 0.5     | 0.05  | 0.05    | 0.05    | 0.05  | 0.05  |
| Sólidos suspendidos totales           | mg/L         | 75                        | 60      | 71.17                     | 50.00 | 92.00   | 65.50 | 38.00 | 96      | 64.92 | 42.00 | 88      | 70.0  | 56.00   | 84      |       |       |
| Conductividad eléctrica               | mS/m         | N.E.                      | N.E.    | N.E.                      | N.E.  | N.E.    | N.E.  | N.E.  | N.E.    | N.E.  | 2126  | 1930    | 2275  | N.E.    | N.E.    | N.E.  | N.E.  |
| Demanda bioquímica de oxígeno         | mg/L         | 75                        | N.E.    | 31.99                     | 11.33 | 54.80   | 23.06 | 6.10  | 36      | 32.53 | 9.13  | 49.7    | 24.7  | 16.23   | 33.65   |       |       |
| Demanda química de oxígeno            | mg/L         | N.E.                      | 150     | 207.8                     | 170.1 | 240.0   | 176.1 | 117.6 | 229.7   | 181.9 | 128.2 | 210.4   | 207.7 | 161.1   | 253.4   |       |       |
| Nitrógeno total                       | mg/L         | 40                        | 25      | 40.50                     | 30.55 | 47.90   | 41.48 | 31.56 | 50.89   | 40.00 | 29.19 | 47.46   | 47.90 | 43.82   | 52.62   |       |       |
| Nitrógeno total Kjeldahl              | mg/L         | N.E.                      | N.E.    | 40.13                     | 30.22 | 47.71   | 39.28 | 27.71 | 50.67   | 39.73 | 29.02 | 47.22   | 47.6  | 43.58   | 52.54   |       |       |
| Nitritos                              | mg/L         | N.E.                      | N.E.    | 0.19                      | 0.08  | 0.28    | 0.20  | 0.12  | 0.36    | 0.12  | 0.05  | 0.25    | 0.15  | 0.06    | 0.22    |       |       |
| Nitratos                              | mg/L         | N.E.                      | N.E.    | 0.16                      | 0.02  | 0.71    | 0.12  | 0.04  | 0.36    | 0.15  | 0.08  | 0.25    | 0.18  | 0.04    | 0.20    |       |       |
| Fósforo total                         | mg/L         | 20                        | 15      | 5.44                      | 4.63  | 6.17    | 5.78  | 4.70  | 6.645   | 5.56  | 4.73  | 6.245   | 6.06  | 5.00    | 6.87    |       |       |
| Huevos de Helminfos                   | H/L          | N.E.                      | N.E.    | 0.50                      | 0.50  | 0.50    | 0.50  | 0.50  | 0.5     | 0.50  | 0.50  | 0.50    | 0.50  | 0.50    | 0.50    |       |       |
| Coliformes fecales (media geométrica) | NMP / 100 ml | 1000                      |         | N.E.                      |       | 61.6    | 1.5   | 409.3 | 41.8    | 1.5   | 362.5 | 1375.4  | 1.5   | 12519.3 | 131.4   | 5.3   | 745.8 |
| pH                                    |              | 5                         | 10      | 6                         | 9     | 7.97    | 7.79  | 8.15  | 7.89    | 7.65  | 8.31  | 8.00    | 7.71  | 8.18    | 7.87    | 7.58  | 8.05  |
| Arsénico                              | mg/L         | 0.1                       |         | 0.2                       | 0.013 | 0.013   | 0.013 | 0.013 | 0.013   | 0.013 | 0.013 | 0.013   | 0.013 | 0.013   | 0.013   | 0.013 | 0.013 |
| Cadmio                                | mg/L         | 0.1                       |         | 0.2                       | 0.025 | 0.025   | 0.025 | 0.025 | 0.025   | 0.025 | 0.025 | 0.025   | 0.025 | 0.025   | 0.025   | 0.025 | 0.025 |
| Cianuros                              | mg/L         | 1                         |         | 1                         | 0.012 | 0.005   | 0.05  | 0.005 | 0.005   | 0.005 | 0.005 | 0.005   | 0.005 | 0.005   | 0.005   | 0.005 | 0.005 |

| Parámetro | Unidades | LMP<br>NOM-001-<br>SEMARNAT-<br>1996<br>PM | LP<br>NOM-001-<br>SEMARNA<br>T-2021<br>PM | 2018<br>PM |       |       | 2019<br>PM |       |       | 2020<br>PM |       |       | 2021<br>PM |       |       |
|-----------|----------|--|---|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|
|           |          |  |   | Media      | Mín.  | Máx.  | Media      | Mín.  | Máx.  | Media      | Mín.  | Máx.  | Media      | Mín.  | Máx.  |
| Cobre     | mg/L     | 4  | 4   | 0.014<br>0 | 0.01  | 0.05  | 0.083      | 0.01  | 0.30  | 0.025      | 0.030 | 0.025 | 0.021      | 0.01  | 0.075 |
| Cromo     | mg/L     | 0.5  | 1   | 0.03       | 0.03  | 0.08  | 0.025      | 0.025 | 0.025 | 0.012      | 0.01  | 0.024 | 0.025      | 0.03  | 0.025 |
| Mercurio  | mg/L     | 0.005                                      | 0.01                                      | 0.003      | 0.003 | 0.003 | 0.003      | 0.003 | 0.003 | 0.003      | 0.003 | 0.003 | 0.003      | 0.003 | 0.003 |
| Níquel    | mg/L     | 2  | 2   | 0.058      | 0.025 | 0.307 | 0.040      | 0.025 | 0.058 | 0.029      | 0.025 | 0.056 | 0.025      | 0.025 | 0.025 |
| Plomo     | mg/L     | 0.2  | 0.2                                       | 0.028      | 0.024 | 0.065 | 0.025      | 0.025 | 0.025 | 0.029      | 0.025 | 0.041 | 0.040      | 0.025 | 0.116 |
| Zinc      | mg/L     | 10   | 10  | 0.029      | 0.010 | 0.110 | 0.020      | 0.010 | 0.041 | 0.026      | 0.010 | 0.083 | 0.053      | 0.010 | 0.217 |

N.E. No se especifica, PM. Promedio mensual

\* Permiso de descarga

## **2.5 Análisis de la información del Proceso**

### **2.5.1 Análisis rutinarios**

Debido a que la operación de las lagunas de estabilización es simple, las actividades que realiza el operador para mantener su adecuado funcionamiento son también relativamente simples. Una herramienta básica para que el operador pueda programar sus actividades, es la lista de inspección, que contiene las tareas principales que debe observar el operador y la frecuencia para que la instalación o planta se encuentre en buenas condiciones y así, obtener un efluente con las características requeridas. Dentro del control rutinario el operador deberá tener presente una serie de recomendaciones para mantener un buen funcionamiento de la planta. Estas tareas incluyen los análisis rutinarios, que incluyen el pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DBO, DQO, SST, grasas y aceites, coliformes fecales, nitritos, nitratos, amonio, nitrógeno total, fósforo total, cianuros y metales. Los análisis se realizan de manera bimestral en el efluente de la PTAR. Adicionalmente, se realizan análisis de pH, temperatura, conductividad eléctrica, DBO, DQO, SST, coliformes totales, de manera quincenal, en las lagunas aireadas, lagunas de sedimentación, lagunas de maduración, afluente y efluente de la PTAR.

### **2.5.2 Manual de operación**

La PTAR proporcionó los manuales de operación y mantenimiento. Se recopilaron dos archivos con un tamaño de 4.32 MB relacionados a los manuales de operación y mantenimiento de la PTAR de Zaragoza.

### **2.5.3 Reportes de operación (bitácoras)**

La bitácora de operación de la PTAR contiene información del último año (2020) con información diaria sobre los caudales que ingresan a las diferentes secciones de la planta, los efluentes tratados y los efluentes descargados. Sin embargo, no se reportan fallas en la operación ni características o parámetros diarios encontrados durante la operación de los sistemas de tratamiento.

### **2.5.4 Mantenimiento**

#### **2.5.4.1 Programa**

Se proporcionó por parte del personal de la PTAR Zaragoza, el programa de mantenimiento anual (2021) contemplado por la Comisión Estatal de

Servicios Públicos de Mexicali (CESPM). Este programa contempla el mantenimiento de procesos: Pretratamiento (cribas, desarenador, motor y CCM); sistema de aireación (soplador, agitadores y CCM), Tratamiento terciario (Bomba, válvula, motor y CCM); Agua de servicio externo (Bomba, válvula, motor, CCM) y; Monitoreo Predictivo mediante termografía, se llevarán a cabo dos veces por año.

Independientemente, se realiza a todas las plantas de tratamiento que son operadas por el CESPM mantenimientos (dos veces al año) del sistema de cloración, el sistema de control, telemetría e instrumentación, subestación eléctrica, así como del monitoreo predictivo, termografía de CCM y subestaciones.

El Programa de mantenimiento que se proporcionó, no contempla la verificación o mantenimiento de la infraestructura física en la planta.

#### **2.5.4.2 Reportes**

En la información proporcionada por el personal de la PTAR, se incluyó el historial de mantenimientos preventivos y correctivos realizados durante el año 2021.

Los mantenimientos preventivos incluyen:

- Aireadores (febrero, 2021)
- Instalaciones eléctricas (febrero, 2021)
- Equipo de telemetría (febrero, 2021)
- Sistemas eléctricos del pretratamiento (abril, 2021)
- Sistema de pretratamiento (abril, 2021)
- Sistema mecánico del pretratamiento (marzo, 2021)
- Tratamiento terciario (abril, 2021)
- Sistema de agua de servicio externo (abril, 2021)
- Equipos electromecánicos (febrero, 2021)
- Sistema de cloración (abril, 2021)
- Telemetría e instrumentos de gasto y nivel (mayo, 2021)
- Sistema mecánicos tratamiento terciario (mayo, 2021)
- Sistema de agua de servicio externo (mayo, 2021)
- Sistema eléctrico de aireadores (mayo, 2021)
- Sistema eléctrico cloración (mayo, 2021)
- Sistema de telemetría e instrumentos de gasto y nivel (agosto, 2021)

Por otra parte, durante 2021 se realizaron los siguientes servicios de mantenimiento correctivos:

- Reparación de bomba de presión (agosto, 2021)
- Reparación de soplador (agosto, 2021)
- Sistema de protección del aireador (agosto, 2021)
- Bomba de ayuda en el cárcamo (agosto, 2021)
- Sistema de filtración del aireador (junio, 2021)

Cabe mencionar que el programa de mantenimiento que se compartió solo contempla la infraestructura electromecánica y de medición, sin contemplarse las inspecciones y verificaciones a la infraestructura de las lagunas, vertedores y canales de transporte de agua. Se recomienda robustecer el programa de mantenimiento.

### **3 ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR**

#### **3.1 Descripción de las unidades de proceso**

##### **Caja de llegada.**

El agua residual se recibe en la caja rompedora de velocidad (Figura 106), procedente de los emisores de descarga de agua residual de las PBAR # 1, 3, 6 y 7, el emisor de la PBAR # 8 descarga directamente al canal Parshall y toda el agua residual se conduce dentro de las instalaciones de la planta a través de dos canales iguales e independientes hacia los canales de cribas (CR-ZA-101 A y B). La estructura de recepción de agua residual cuenta con dos compuertas para controlar el paso de agua para la alimentación a las cribas.



**Figura 106. Caja rompedora de velocidad**

##### **Cribas finas.**

En cada uno de los canales de cribas se encuentra instalada una criba fina tipo escalera (Figura 107) con capacidad individual de manejar hasta 1,300 L/s con una derivación de demasías por lluvias. El flujo del proyecto se consideró para un máximo de 1,800 L/s operando ambas cribas y con una derivación/demasías por lluvia. El paso entre las lamelas es de 3 mm. Las cribas operan en modo manual o automático.



**Figura 107. Cribas finas tipo escalera**



### **Tornillo transportador.**

Los sólidos retenidos en las cribas finas se descargan a un tornillo transportador con capacidad de 3 a 5 m<sup>3</sup>/h, que dirige los sólidos hacia un compactador/lavador (Figura 108).



**Figura 108. Tornillo transportador**

### **Compactador / Lavador.**

Los sólidos provenientes del tornillo transportador se lavan y se transportan a la zona de compactación. Posteriormente, los sólidos se dirigen a un contenedor de basura con capacidad de 2.5 m<sup>3</sup> y el agua de lavado se envía al drenaje. La basura del contenedor se dispone en un sitio de confinamiento donde es recolectada dos veces por semana.

### **Desarenadores.**

El agua residual libre de basura es transportada en canales (por gravedad) hacia dos desarenadores tipo vórtice (DS-ZA-106 A y B). Los desarenadores (Figura 109) están diseñados para operar de manera simultánea tratando individualmente un flujo promedio de 650 L/s, aunque tienen capacidad para tratar hasta 1,300 L/s.



**Figura 109. Desarenador tipo vórtice**

Las arenas separadas son lavadas intermitentemente con agua de servicio para remover la materia orgánica que pudieran contener y después son succionadas mediante un par de sopladores generadores de vacío. Las arenas son colectadas en un clasificador (CA-ZA-108) y son enviadas mediante un tornillo sin fin (TQ-ZA-109) a un contenedor de 2.25 m<sup>3</sup> donde se recolectan dos veces por semana, por una empresa de disposición de residuos.

### **Medidor de flujo Parshall.**

El agua proveniente del pretratamiento fluye por gravedad hacia un medidor Parshall (Figura 110) (MP-ZA-201) con capacidad de 2,574 L/s, que cuantifica el flujo instantáneo y totalizador de campo utilizando un PLC, dirigiendo el flujo a una caja de distribución (CD-ZA-202) que divide el caudal en 3 flujos iguales (Figura 111), y las dirige hacia las tres líneas (A, B, C) de tratamiento biológico.



**Figura 110. Canal Parshall**



**Figura 111. Caja derivadora**

### **Lagunas parcialmente aireadas**

Las tres líneas de tratamiento biológico están conectadas en paralelo y constan cada una de una laguna de aireación (Figura 112) (LP-ZA-203 A, B y C) provista: A y B de 11 aireadores direccionales; 8 cuentan con agitadores de 30 HP y sopladores de 15 HP y; 3 con agitadores de 50 HP y sopladores de 15 HP. La laguna C tiene 10 aireadores; 7 con agitadores de 30 HP y sopladores de 15 HP y; 3 con agitadores de 50 HP y sopladores de 15 HP.

Los aireadores (Figura 113) (AD-ZA-204 A - X) operan de forma simultánea y continua, con control manual.



**Figura 112. Lagunas aireadas de mezcla parcial**



**Figura 113. Sistema de aireación**

### **Lagunas de sedimentación.**

El efluente de cada laguna aireada pasa por un vertedor de tubos hacia una laguna de sedimentación (Figura 114) (LF-ZA-205 A, B y C), formando un tren de tratamiento en serie con la laguna aireada correspondiente. Las lagunas tienen una profundidad de 2.5 m y están construidas mediante un bordo hecho de material de banco con refuerzos para evitar la erosión y tienen una protección a la filtración con polietileno de alta densidad.

Para el desazolve de las lagunas se cuenta con dos equipos móviles de dragado (DL-ZA-206 A y B), los cuales envían los lodos húmedos por bombeo hacia la laguna de secados de lodos (# 9).

En la salida de cada laguna hay una caja de registro con paro de flujo, en caso de que se deba aislarse alguna laguna.



**Figura 114. Laguna de sedimentación**

## Lagunas de maduración.

Los tres efluentes provenientes de las lagunas aireadas/sedimentación se envían mediante gravedad a una caja derivadora (Figura 115) (CD-ZA-207) que divide el flujo hacia dos trenes de tratamiento, Norte y Sur; cada uno de los trenes está conformado de cuatro lagunas de maduración (Figura 116) conectadas en serie. La tercera laguna cuenta con una línea de vaciado para poder realizar un *by pass*.



**Figura 115. Caja derivadora 2**



**Figura 116. Laguna de maduración**

## Cloración.

El efluente proveniente de las lagunas de maduración se envía a un sistema de inyección de cloro gas (Figura 117), el cual se diluye con agua proveniente de la planta de tratamiento terciario. El agua tratada después de la desinfección se manda al Dren Internacional y Dren México, afluentes del Río Nuevo (Figura 118). Una pequeña cantidad de agua tratada (caudal promedio de 7.9 L/s) después de la desinfección se envía a un tratamiento terciario (Figura 119). El agua tratada por el tratamiento terciario se deposita en un tanque almacenamiento equipado con dos bombas centrífugas que envían agua a la ciudad de Mexicali para el riego de áreas verdes y para el agua de servicio de la PTAR (Figura 120). En los capítulos siguientes se muestra un balance hidráulico del agua residual tratada y se muestran las derivaciones y caudales que se envían a cada zona.



**Figura 117. Cloración**



**Figura 118. Efluente dirigido al Dren Internacional**



**Figura 119. Planta de tratamiento terciario**



**Figura 120. Tanque de almacenamiento de agua tratada**

## 3.2 Estado de las unidades de proceso

### 3.2.1 Caja recepción de agua residuales

El agua residual que llega a la PTAR es a través de siete colectores o emisores generales, seis de ellos llegan a una caja de recepción general denominados PBAR 1 (dos tuberías), PBAR 3 (dos tuberías), PBAR 6 y 7 y el colector PBAR 8 el cual descarga directamente al canal Parshall (Figura 121, Figura 122 y Figura 123). Una vez combinadas las descargas de estos siete emisores llegan a una caja derivadora que distribuye el agua residual al sistema lagunar (Figura 124). El diámetro de las tuberías para la PBAR 1 es de 36" y las de PBAR 3 son de 30" y 24". Las PBAR 6 y 7 son de 20". No se pudo tomar el diámetro de la tubería de la PBAR 8 ya que viene sumergida. Las descargas que vienen de los emisores PBAR 6 y 7 reciben un pretratamiento con rejillas mecánicas de acuerdo con los comentarios del encargado de la PTAR. Se desconoce cuál es la abertura de las rejillas.

De acuerdo a la información proporcionada por el encargado de la PTAR, los emisores PBAR 1 y 3 conducen aguas residuales residenciales e industriales mientras que los emisores PBAR 6 y 7 son descargas de origen residencial. Tanto la caja de recepción como la caja derivadora se encuentran con estructuras civiles en buen estado.

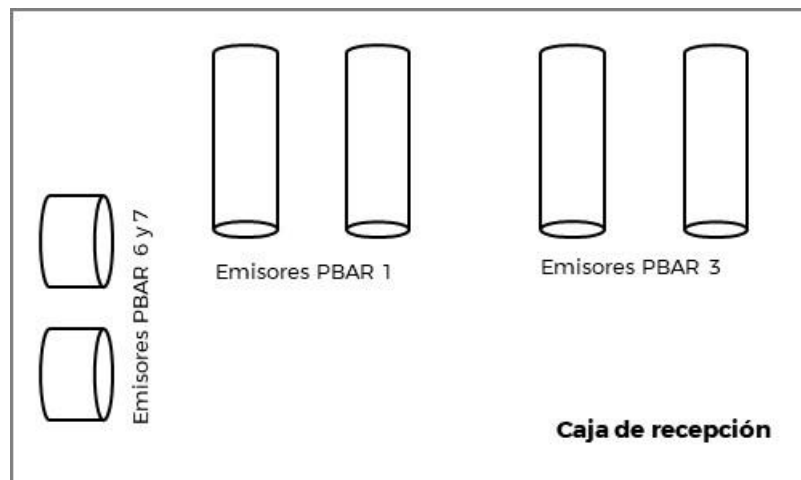


Figura 121. Emisores que llegan a la caja de recepción de la PTAR Zaragoza



**Figura 122. Descargas de aguas residuales emisores PBAR 1, 3, 6 y 7**



**Figura 123. Descarga de agua residual emisor PBAR 8 hacia el canal Parshall**



**Figura 124. Caja derivadora que distribuye el agua residual al sistema lagunar**

Durante el muestro se tomaron los caudales de cada emisor en un horario pico el cual es de acuerdo con la información proporcionada por el encargado de la PTAR a las 13:00 h. En la Figura 125 se muestra que los dos emisores PBAR 1 son lo que presentaron un mayor caudal con un valor de 469.4 L/s y 437.5 L/s mientras que el emisor PBAR 6 fue el emisor que aportó

un menor caudal con un valor de 165.5 L/s. El caudal total registrado durante la hora pico fue de 1,920.6 L/s.

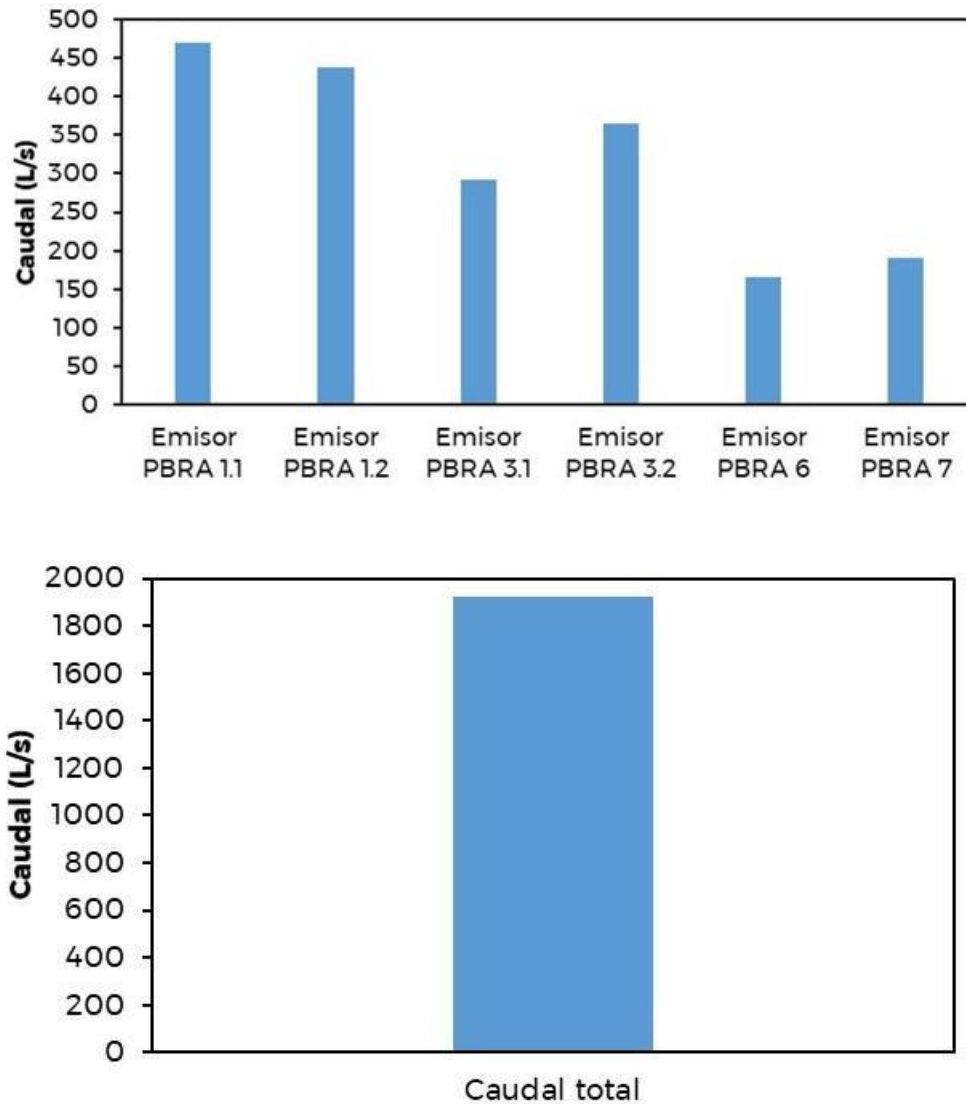


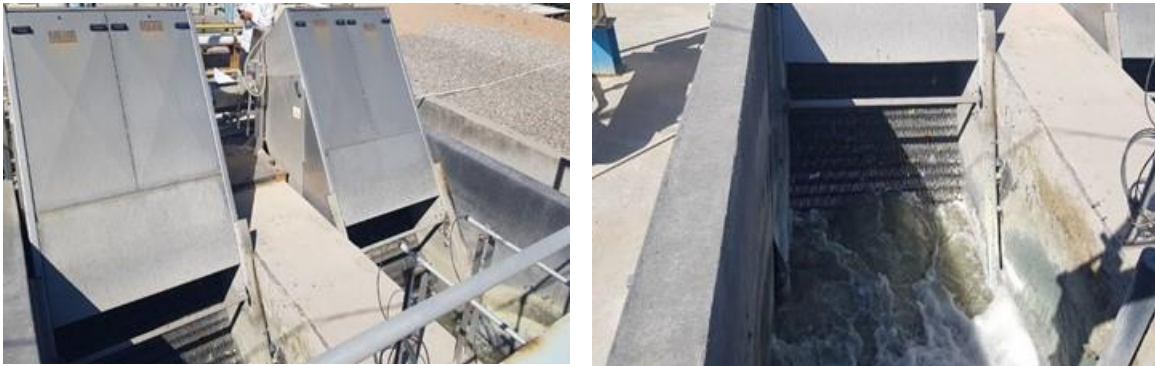
Figura 125. Medición de caudales en los seis emisores

### 3.2.2 Pretratamiento

La PTAR cuenta con un sistema de pretratamiento conformado por dos equipos de rejillas mecánicas y dos desarenadores tipo vórtice (DS-ZA-106 A y B). El equipo de las rejillas mecánicas es de la marca NordicWater modelo MEVA (Figura 126). Las rejillas son finas con un espaciamiento de 3 mm y un ancho de 1.56 m. Actualmente ambos equipos se encuentran en funcionamiento y en buen estado. Los muros donde se encuentran los



equipos se encuentran parcialmente agrietados. No hay acumulación de sólidos sobre las rejillas y hay constante movimiento para el retiro de las mismas a través de mecanismo de arrastre de los equipos (Figura 127). Los sólidos retenidos en las rejillas se descargan a un tornillo transportador a una tasa de 3-5 m<sup>3</sup>/ hora y los deposita a un compactador/lavador de basura de la marca NordicWater modelo MEVA (HP 4.0) (Figura 128). EL volumen actual de basura recolectada en la PTAR es de 0.2 m<sup>3</sup>/d con picos de hasta 0.4 m<sup>3</sup>/d. La basura es recolectada por una empresa externa para su disposición final. Tanto los tornillos trasportadores como el compactador/lavador de basura se encuentran en funcionamiento y en buen estado.



**Figura 126. Rejillas finas de la PTAR de Zaragoza**



**Figura 127. Retiro constante de los sólidos acumulados sobre las rejillas**



**Figura 128. Compactador/lavador de basura de la PTAR Zaragoza**

Actualmente los dos desarenadores tipo vórtice (DS-ZA-106 A y B) se encuentran fuera operación y los equipos que lo conforman como son bombas, motores, agitadores, estructuras metálicas y tuberías se encuentran en un estado de corrosión avanzada. Los desarenadores se encuentran fuera de operación debido a que los equipos electromecánicos que conforman este sistema de desarenación tipo vórtice como son los motores para los agitadores y bombas de aire para la extracción de las arenas no funcionan desde hace más de dos años y no ha existido un cambio, sustitución o mantenimiento de estos equipos. No hay extracción de arenas ni disposición de estas por lo que todas las arenas que transporta el agua residual llegan a las tres lagunas aireadas de mezcla parcia. La obra civil de los desarenadores se encuentra en buen estado (Figura 129).





**Figura 129. Desarenadores tipo vórtice (DS-ZA-106 A y B)**

El agua residual que pasó a través de los desarenadores es conducida a un canal Parshall en donde descarga el emisor PBAR 8 (Figura 130). En el canal se encuentra un medidor de flujo ultrasónico Endress + Hauser modelo FMU90 que está midiendo el flujo que llega a la PTAR (Figura 131). No hay reportes que indiquen que el medidor se calibra constantemente.



**Figura 130. Canal Parshall**



**Figura 131. Medidor de flujo colocado en el canal Parshall**

### 3.2.3 Sistema lagunar

El efluente del canal Parshall se dirige al sistema lagunar para su posterior tratamiento. El sistema lagunar está compuesto por tres lagunas parcialmente aireadas, tres lagunas de sedimentación y ocho lagunas de maduración (cuatro colocadas en dirección norte y cuatro colocadas en dirección sur). En la Tabla 49 se muestran las dimensiones de los sistemas lagunares. El tiempo de residencia hidráulica (TRH) global de diseño del sistema lagunar de acuerdo con las dimensiones tomadas *in situ* es de 20.45 d ya tomando en cuenta la distancia de los taludes. No se cuenta con

la información de las memorias de cálculos de la PTAR Zaragoza. El caudal de diseño de acuerdo con el manual de operación de la PTAR es de 1,300 L/s. Este flujo se distribuye en cada laguna de forma uniforme.

**Tabla 49. Especificaciones de las lagunas de la PTAR**

| Laguna                | Ancho (m) | Largo (m) | Relación largo/ancho | Área de la laguna (m <sup>2</sup> ) | Profundidad (Tirante de agua) (m) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Caudal (L/s) | TRH diseño (días) |
|-----------------------|-----------|-----------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------|-------------------|
| Aireación A           | 194       | 235       | 1.2                  | 45,590                              | 4.0                               | 182,360                   | 433          | 4.6               |
| Aireación B           | 194       | 235       | 1.2                  | 45,590                              | 4.0                               | 182,360                   | 433          | 4.6               |
| Aireación C           | 194       | 235       | 1.2                  | 45,590                              | 4.0                               | 182,360                   | 433          | 4.6               |
| Sedimentación A       | 200       | 231       | 1.1                  | 46,200                              | 2.5                               | 115,500                   | 433          | 3.1               |
| Sedimentación B       | 200       | 231       | 1.1                  | 46,200                              | 2.5                               | 115,500                   | 433          | 3.1               |
| Sedimentación C       | 200       | 231       | 1.1                  | 46,200                              | 2.5                               | 115,500                   | 433          | 3.1               |
| Maduración Sur 1      | 220       | 676       | 3.0                  | 148,720                             | 1.4                               | 208,208                   | 494          | 4.9               |
| Maduración Sur 2      | 215       | 702       | 3.3                  | 150,930                             | 1.0                               | 150,930                   | 494          | 3.5               |
| Maduración Sur 3      | 197       | 737       | 3.8                  | 145,189                             | 0.6                               | 87,113.4                  | 494          | 1.9               |
| Maduración Sur 4      | 183       | 760       | 4.2                  | 139,080                             | 0.65                              | 90,402                    | 494          | 2.0               |
| Maduración Norte 1    | 340       | 490       | 1.4                  | 166,600                             | 1.89                              | 314,874                   | 806          | 4.5               |
| Maduración Norte 2    | 250       | 630       | 2.5                  | 157,500                             | 1.49                              | 234,675                   | 806          | 3.4               |
| Maduración Norte 3    | 215       | 735       | 3.4                  | 158,025                             | 1.4                               | 221,235                   | 806          | 3.2               |
| Maduración Norte 4    | 165       | 810       | 4.9                  | 133,650                             | 1.12                              | 149,688                   | 806          | 2.1               |
| TRH global diseño (d) | 20.45     |           |                      |                                     |                                   |                           |              |                   |

### 3.2.4 Lagunas aireadas parcialmente

Las lagunas aireadas parcialmente se dividen en tres lagunas: lagunas A, B y C (Figura 132). Las tres lagunas están construidas de cemento y piedra y no cuentan con recubrimiento. Los taludes de las tres lagunas se encuentran cubiertas de arenas y piedras los cuales pueden generar un problema ya

que todo ese material suelto al momento de un deslave o fuertes vientos se pueden depositar en el fondo de las lagunas sobresaturándolas con ese material (Figura 133). De esta manera se disminuye el volumen de las lagunas provocando problemas durante la eficiencia de tratamiento ya que el TRH y la carga orgánica se verán afectados. Durante el recorrido se observó presencia de vegetación enraizada en los taludes y dentro de las lagunas (Figura 134).



**Figura 132. Lagunas aireadas de la PTAR de Zaragoza**



**Figura 133. Arenas y piedras sobre los taludes de las lagunas aireadas**



**Figura 134. Presencia de vegetación en las lagunas aireadas**

La ubicación de la entrada y salida del agua residual de las lagunas se encuentran en las esquinas y en los centros respectivamente. El flujo del agua es vertical. Se observó varias zonas muertas y flujos preferenciales en las lagunas (Figura 135). Las lagunas no cuentan con mamparas que ayuden a distribuir de forma uniforme y distribuida el agua residual. Las tres lagunas se percibieron olores a amoníaco y séptico. El color de la laguna A y B es entre gris y café oscuro. La laguna C presentó un color rosa lo que indica la presencia de bacterias púrpuras del azufre (**Figura 136**). Estas condiciones

es un indicativo de una sobrecarga de materia orgánica de las lagunas y zonas con condiciones anaerobias. Las bacterias púrpuras del azufre viven en la zona superficial de una laguna anaerobia principalmente y oxidan los sulfuros a azufre elemental. Los pigmentos que poseen estas bacterias dan a las lagunas una coloración rosa o roja. La presencia de estas bacterias indica una carga orgánica insuficiente en las lagunas anaerobias. En algunos casos la presencia de estas bacterias puede resultar beneficiosa, ya que al oxidar a los sulfuros evitan la aparición de olores relacionados con la liberación de ácido sulfhídrico. Sin embargo, la carga orgánica apenas se modifica por la acción de estas bacterias, y las lagunas rojas presentan típicamente unas concentraciones muy elevadas de carga orgánica dentro de las lagunas. Durante el recorrido se tomaron los parámetros de pH y temperatura (Figura 137). La laguna A el pH y temperatura fueron de 7.4 y 21 °C respectivamente, la laguna B se midió un pH de 7.5 y una temperatura de 22°C y la laguna C se obtuvo un pH y temperatura de 7.6 y 22°C respectivamente. Se observó material flotante en las lagunas. No se observó la presencia de espumas, pulgas de aguas, algas y derrame de agua residual sobre los bordos en las tres lagunas.



**Figura 135. Cortos circuitos presentes en las lagunas aireadas**



**Figura 136. Presencia de bacterias púrpuras de azufre en la laguna aireada C**

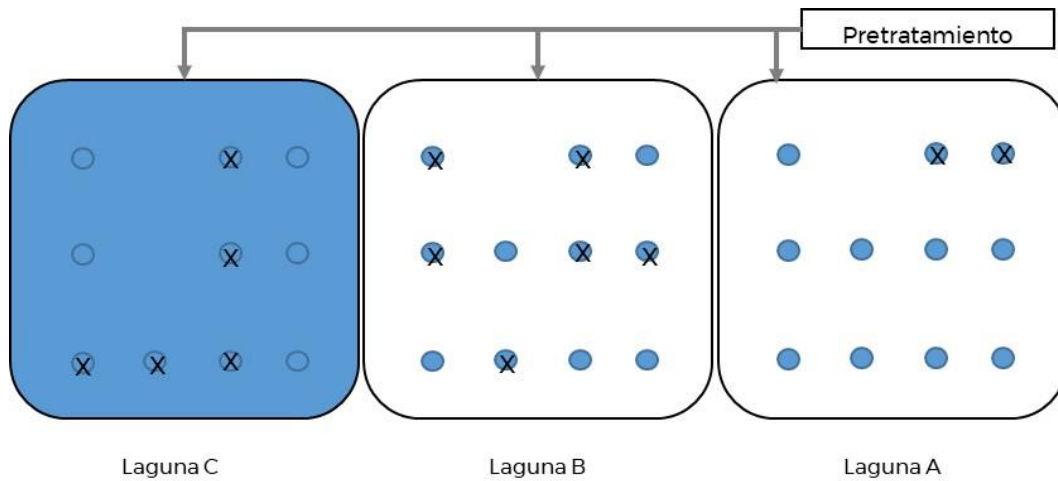


**Figura 137. Medición del pH y temperatura en las lagunas de aireación**

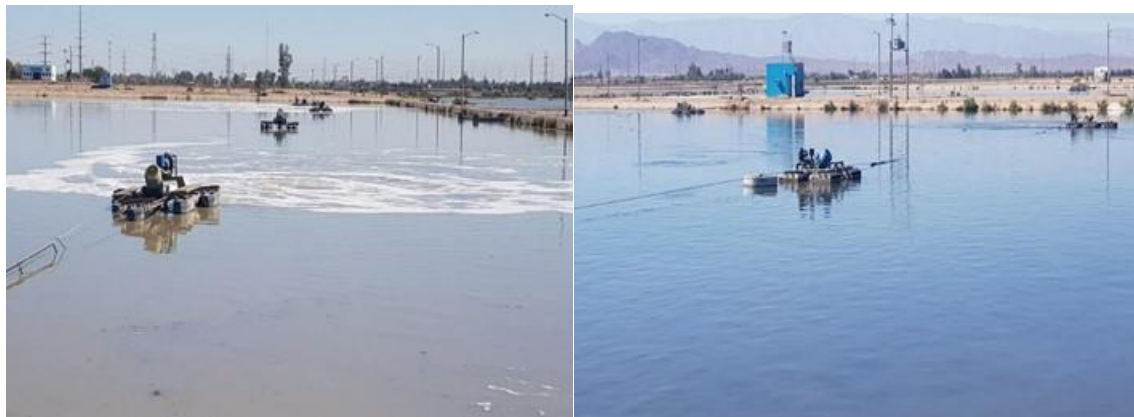
Se realizó un levamiento físico de las condiciones de funcionamiento actuales de los aireadores que están colocados en las tres lagunas (Figura 138 y Figura 139).

La laguna A cuenta con 11 aireadores direccionales de los cuales tres no están en funcionamiento debido a fallas mecánicas. La laguna B cuenta también con 11 aireadores direccionales de los cuales seis no están trabajando debido a diferentes fallas mecánicas. La laguna C cuenta con 10 aireadores de los cuales cinco no están operando por fallas mecánicas. Estas condiciones generan un problema a las lagunas ya que no se está proporcionando el suficiente oxígeno para las bacterias aerobias que se desarrollan en la superficie de estas lagunas parcialmente aireadas generándose condiciones anaerobias y anóxicas en las tres lagunas. Así mismo la falta de operación de los aireadores provoca que el flujo del agua residual dentro de las lagunas no sea uniforme formándose cortos circuitos dentro del sistema de lagunas aireadas. En el diseño de la PTAR se propusieron la colocación de 12 aireadores direccionales en cada laguna.





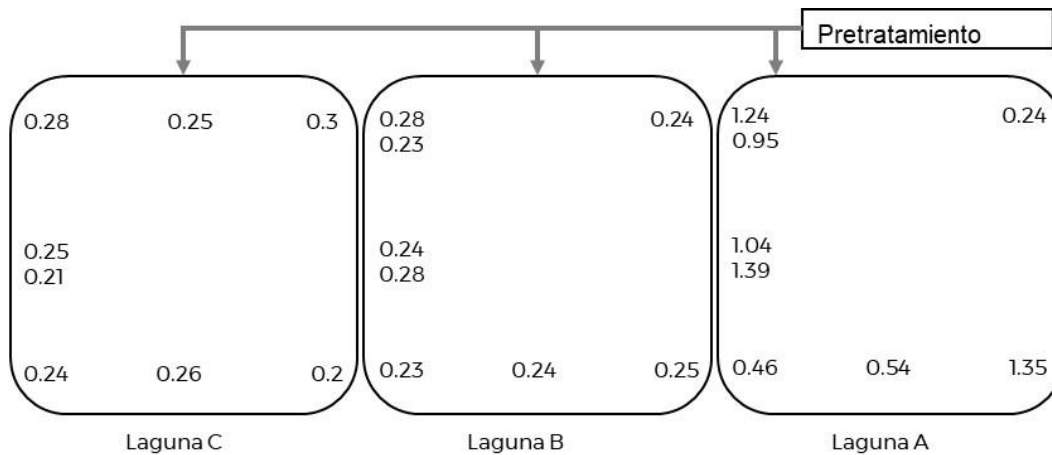
**Figura 138. Distribución de los aireadores en las lagunas de aireación**



**Figura 139. Aireadores direccionales colocados en las lagunas de aireación**

En las lagunas de aireación se realizó un trazo del perfil de oxígeno disuelto (Figura 140). No fue posible tomar lecturas en el interior de las lagunas ya que no se contaba con las condiciones de seguridad para poder acceder al interior de las lagunas. Los niveles de oxígeno disuelto que se midieron fueron bajos generándose condiciones anaerobias en las tres lagunas. La laguna A, la concentración de oxígeno estuvo entre 0.24 y 1.39 mg/L lo cual se demuestra la mala distribución del oxígeno disuelto debido a los cortos circuitos que existen dentro de la laguna. En la laguna B, la concentración del oxígeno disuelto fue entre 0.23 y 0.28 mg/L el cual es más uniforme. En la laguna C, la concentración de oxígeno disuelto fue entre 0.2 y 0.3 mg/L. El perímetro de las lagunas y esquinas es donde se presenta la mayor cantidad de zonas muertas ya que el mezclado ya sea por hidráulica y por aireación es insuficiente para que exista un buen mezclado y distribución del agua residual (Figura 141). La concentración de oxígeno disuelto que se

encontraron en las lagunas se encuentra por debajo de las concentraciones que se deben tener en lagunas parcialmente aireadas. En este tipo de lagunas se desarrollan microorganismos facultativos.



**Figura 140. Perfil del oxígeno disuelto en las lagunas de aireación**



**Figura 141. Zonas muestreo y flujos preferenciales en las lagunas de aireación**

Para determinar el volumen actual de las lagunas de aireación se midió la cantidad de sólidos acumulados en el fondo de las lagunas (Figura 142). De

acuerdo con las mediciones realizadas durante la visita técnica, las tres lagunas se encontraron completamente azolvadas generándose una pérdida de volumen útil de agua debido a la gran acumulación de arenas y lodos anaerobios (Tabla 50). No se tiene reporte de que exista extracción de los sólidos acumulados en las lagunas de aireación. Debido a que el pretratamiento no está en operación, las lagunas aireadas están sirviendo como depósitos para que las arenas se acumulen en ellas. La laguna C es la laguna que se encuentra con una mayor cantidad de sólidos acumulados (150,447 m<sup>3</sup>) seguido por la laguna A (103,945.2 m<sup>3</sup>) y B (91,180 m<sup>3</sup>). De acuerdo con el volumen acumulados de sólidos se calculó el volumen útil actual de las lagunas y se determinó el TRH actual de operación de acuerdo al caudal medido durante la campaña de muestro. El caudal promedio durante 24 horas que se registró en la campaña de muestro fue 1,037.53 L/s. El TRH actual de la laguna A, B y C es de 3.5, 3.1 y 1.06 días. Bajo estas condiciones de operación actuales, la laguna A se encuentra en un 76% de su capacidad de operación, en un 67% para la laguna B y para la laguna C de 23%.

**Tabla 50. Nivel de lodos acumulados en las lagunas de aireación**

| <b>Laguna de aireación</b>                            | <b>A</b>  | <b>B</b> | <b>C</b> |
|---|-----------|----------|----------|
| Profundidad (m)                                       | 4         | 4        | 4        |
| Altura de sólidos acumulados (m)                      | 2.28      | 2.0      | 3.3      |
| Volumen actual acumulado (azolvado) (m <sup>3</sup> ) | 103,945.2 | 91,180   | 150,447  |
| Volumen útil actual (m <sup>3</sup> )                 | 78,414.8  | 91,180   | 31,913   |
| Caudal actual (L/s)                                   | 345.8     | 345.8    | 345.8    |
| Caudal diseño (L/s)                                   | 433       | 433      | 433      |
| TRH diseño (días)                                     | 4.6       | 4.6      | 4.6      |
| TRH actual (días)                                     | 3.5       | 3.1      | 1.06     |
| Capacidad de operación (%)                            | 76        | 67       | 23       |



**Figura 142. Medición de los sólidos depositados en las lagunas de aireación**

El estado de interconexión entre las lagunas de aireación y las lagunas de sedimentación se encuentra en buen estado (Figura 55).



**Figura 143. Interconexión entre las lagunas de aireación y las lagunas de sedimentación**

### **3.2.5 Lagunas de sedimentación**

Las descargas de las aguas residuales de las lagunas de aireación son enviadas a tres lagunas de sedimentación (Figura 144). La laguna de sedimentación A recibe el agua tratada de la laguna de aireación A, la

laguna de sedimentación B recibe las aguas residuales de la laguna B y la laguna de sedimentación C recibe la descarga de la laguna de aireación C. Las tres lagunas cuentan con geomembrana como material de revestimiento impermeable. El flujo del agua en las lagunas se realiza desde el medio de las lagunas hasta la esquina contraria. No hay mamparas que ayuden a distribuir el flujo del agua residual a través de las lagunas de sedimentación. La laguna de sedimentación A se observó con un color verde oscuro con presencia de olor séptico y sólidos flotantes de color negro. La geomembrana se observó en buen estado sin levantamiento y ruptura en los bordos. No se observó la presencia de vegetación. La laguna de sedimentación B, se observó en mal estado con levamiento y ruptura de la geomembrana (Figura 145). Se detectó un olor séptico y de amoniacaco. Se observó la presencia de vegetación enraizada sobre los bordos de la laguna. Esta laguna presentó un color rosa indicando la presencia de bacterias púrpuras de azufre. Existe presencia de sólidos flotantes color negro. La laguna de sedimentación C se encuentra en buen estado sin presencia de vegetación sobre los bordos. No hay levantamiento ni ruptura de la geomembrana. Esta laguna presentó un color rosa indicando también la presencia de bacterias púrpuras de azufre. En todas las lagunas no se pudo determinar el volumen de sólidos acumulados ya que no existen las condiciones de seguridad para poder determinar la cantidad de sólidos despostados en estas lagunas. El pH y la temperatura del agua residual de la laguna A fueron de 7.6 y 21°C respectivamente. Para la laguna B, el pH y temperatura fue de 7.6 y 22°C respetivamente. Y para la laguna C el pH fue de 7.7 con una temperatura de 22°C.

**A****B**



**C**

**Figura 144. Lagunas de sedimentación de la PTAR de Zaragoza**



**Figura 145. Levantamiento de la geomembrana y presencia de vegetación enraizada en la laguna de sedimentación B**

El estado de interconexión de las lagunas de sedimentación con las lagunas de maduración se encuentra en buen estado (Figura 146).



**Figura 146. Interconexión entre las lagunas de sedimentación y las lagunas de maduración**

### 3.2.6 Lagunas de maduración

El flujo del agua residual que sale de las tres lagunas de sedimentación se combina en una caja de distribución y se reparte en dos trenes (Norte y Sur) conformado cada tren por cuatro lagunas operadas en serie (1, 2, 3, 4) (Figura 147). Las ocho lagunas de maduración no están construidas de piedra y/o cemento y no contienen geomembranas. La distancia de los taludes y bordos son muy cortos (menor de un metro) lo cual puede generar desbordamiento del agua residual. Los bordos son de piedra y tierra propias del terreno y no están fijadas con cemento que ayuden a retener el material. Anteriormente, las ocho lagunas contaban con mamparas para una buena distribución del agua residual, sin embargo, estas fueron retiradas ya que de acuerdo a las entrevistas con los operadores no tenían un buen funcionamiento y causaban varios problemas de operación. Todo el perímetro de las ocho lagunas de maduración se encuentra con presencia de vegetación abundante enraizada y árboles (Figura 148). Las primeras lagunas de maduración (laguna Sur 1 y 2 y laguna Norte 1 y 2) se observó con poca formación de algas con un color café oscuro y gris (

**Figura 149).** Esta coloración está relacionada con la sobrecarga de materia orgánica que entra a las dos primeras lagunas tanto en las Sur como en las Norte. Las lagunas Sur y Norte 3 y 4 se encontraron con buena formación de algas a lo largo y ancho de las lagunas y sus efluentes presentan un color verde lo cual indica de manera indirecta un funcionamiento adecuado de las mismas (Figura 150). Se observó vida silvestre en las lagunas de maduración las cuales fueron más abundantes en las últimas dos lagunas.



**Figura 147. Lagunas de maduración de la PTAR de Zaragoza**





**Figura 148. Presencia de vegetación en las lagunas de maduración**



**Figura 149. Aspecto del color de las dos primeras de lagunas de maduración (Sur y Norte)**



**Figura 150. Presencia de algas en las lagunas de maduración 3 y 4 (Sur y Norte)**

Se determinó que existe poca acumulación de lodos en las lagunas de maduración que representa el 10% del volumen de las lagunas. En la Tabla 51 se muestra los valores del TRH actual de las lagunas de maduración con respecto al flujo determinado durante la campaña de muestreo (1,037.53 L/s). Los TRH actuales están ligeramente por arriba de los valores de diseño con valores entre 2.3 y 5.5 días. Estas condiciones de operación actuales no generan ningún problema durante el tratamiento de las aguas residuales.

Se realizó una medición del pH y la temperatura en las ocho lagunas de maduración. Se encontró un pH ligeramente alcalino en todas las lagunas con valores entre 8.0 y 8.7 con temperaturas que varían entre 20 y 25°C. Los valores de pH medidos en las ocho lagunas de maduración se encuentran entre los valores recomendados por la literatura y bajo estas condiciones se pueden llevar cabo una buena remoción de coliformes totales, fecales y otros microorganismos patógenos.

**Tabla 51. Condiciones de operación actuales de las lagunas de maduración**

| <b>Laguna</b>    | <b>Volumen útil actual (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Caudal actual (L/s)</b> | <b>TRH actual (días)</b> | <b>TRH diseño (días)</b> |
|------------------|--|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Maduración Sur 1 | 187,387.2                                  | 394.3                      | 5.5                      | 4.9                      |
| Maduración Sur 2 | 135,837                                    | 394.3                      | 4.0                      | 3.5                      |
| Maduración Sur 3 | 78,402.1                                   | 394.3                      | 2.3                      | 1.9                      |
| Maduración Sur 4 | 81,361.8                                   | 394.3                      | 2.3                      | 2.0                      |

| <b>Laguna</b>      | <b>Volumen útil actual (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Caudal actual (L/s)</b> | <b>TRH actual (días)</b> | <b>TRH diseño (días)</b> |
|--------------------|--|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Maduración Norte 1 | 283,386.6                                  | 643.3                      | 5.1                      | 4.5                      |
| Maduración Norte 2 | 211,207.5                                  | 643.3                      | 3.8                      | 3.4                      |
| Maduración Norte 3 | 199,111.5                                  | 643.3                      | 3.5                      | 3.2                      |
| Maduración Norte 4 | 134,719.2                                  | 643.3                      | 2.4                      | 2.1                      |

Los efluentes de los dos trenes de las lagunas de maduración se mezclan en un tanque de recepción. Este efluente final es enviado a través de un canal abierto al cuerpo receptor Dren Internacional Dren México Afluentes del Río Nuevo. Parte del efluente tratado sin desinfección es enviado a la termoeléctrica “La Rosita” de Mexicali. De acuerdo con los reportes entregados por la PTAR la cantidad de agua tratada sin desinfección que se envía es en promedio de 150 L/s. Antes de la descarga hacia el cuerpo receptor se llevado a cabo una desinfección del agua residual tratada usando cloro gas como agente desinfectante. El agente desinfectante es inyectado al inicio del canal donde se mezclan los efluentes de las lagunas de maduración.

### **3.2.7 Desinfección**

La PTAR de Zaragoza no cuenta con un tanque de contacto de cloro si no que el propio canal donde se conduce el agua residual tratada (efluente final) sirve como tanque de contacto de cloro (Figura 151). Este canal es parte de la PTAR y solo conduce el agua residual proveniente de las lagunas de maduración. El canal tiene un largo de 200 metros con una profundidad de 2 metros y un ancho de 10 metros dando un TRH actual de 2.08 h tomando el caudal actual de descarga (532.3 L/s). La dosis de cloro gas que se inyecta al canal es de 12.5 lb Cl/h (5.66 kg Cl/h) que corresponde a una dosis de cloro de 2.9 mg/L para el caudal de descarga actual. Para el caudal de diseño la dosis de cloro es de 1.2 mg/L. La caseta de cloración cuenta con tres cilindros de cloro gas y tiene toda la instrumentación y equipos para llevar a cabo el proceso de desinfección de manera adecuada (Figura 152).



**Figura 151. Conducción del efluente final de la PTAR de Zaragoza**



**Figura 152. Caseta de desinfección con cloro gas**

### **3.2.8 Medidor de flujo descarga final**

La PTAR cuenta con un medidor de flujo transmisor de nivel ultrasónico Endress + Hauser Prosonies ubicado sobre el canal de la Comisión Internacional de Límites y Aguas de la Sección Mexicana (Figura 153). El medidor de flujo se verifica su funcionamiento cada seis meses (no hay calibración).

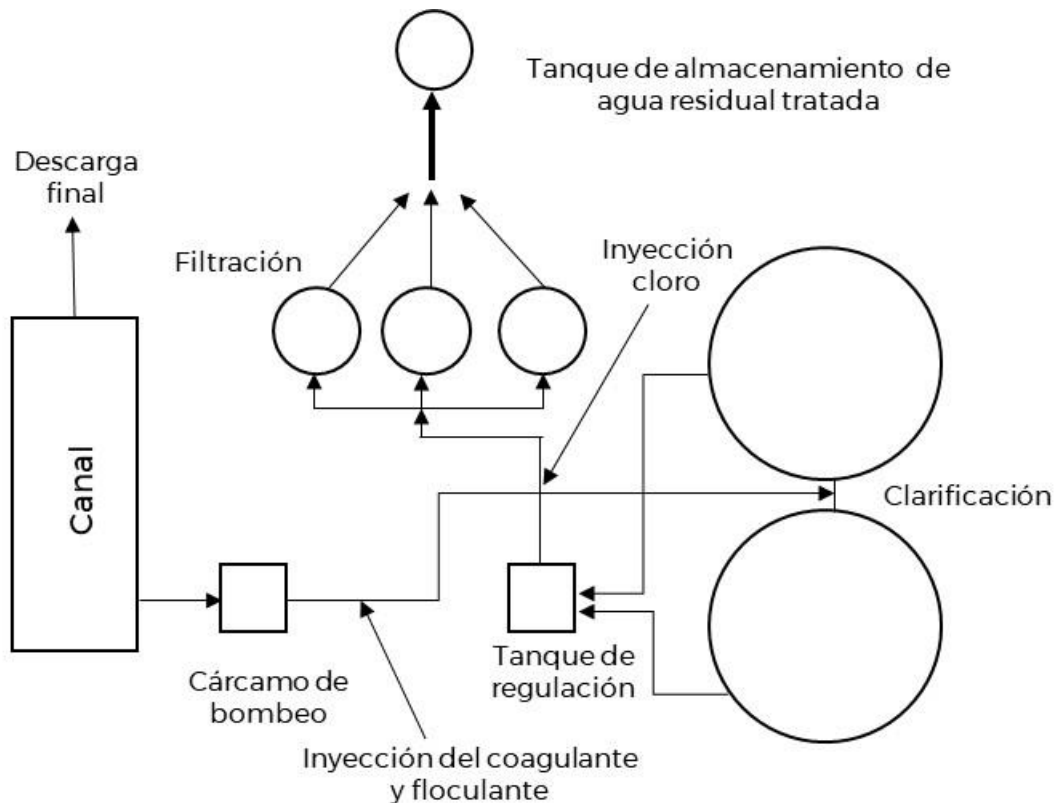


**Figura 153. Medidor de flujo descarga final PTAR Zaragoza**

### 3.2.9 Tratamiento terciario

La PTAR de Zaragoza cuenta con una pequeña unidad de tratamiento terciario, el cual está conformado por un proceso de coagulación-floculación y un proceso de filtración (Figura 154 y Figura 155). El agua residual que alimenta al tratamiento terciario es el efluente final tratado después de la desinfección y se toma del canal de la Comisión Internacional de Límites y Aguas de la Sección Mexicana. El caudal que ingresa al tratamiento terciario en promedio es de 7.9 L/s, el cuál es medido por medidor de flujo Doppler ultrasónico. El agua residual es bombeada desde el canal hacia un cárcamo de bombeo. El agua se bombea desde cárcamo de bombeo hacia dos tanques de clarificación. En la tubería donde se transporta el agua residual hacia los clarificadores se inyecta una dosis que va desde los 120 a 270 mg/L (promedio 200 mg/L) de sulfato de aluminio y de entre 11 y 20 mg/L (promedio de 16 mg/L) del polímero catiónico Floquat 4540 de la empresa Clarui. Los operadores dosifican estos agentes químicos de acuerdo con la variación del caudal que ingresa al tratamiento terciario. Estos valores se encuentran ya establecidos por la PTAR. En los clarificadores se sedimentan los flóculos y el sobrenadante es enviado a un tanque de regulación y de ahí se bombea a tres filtros empacados con antracita, arena sílice y grava de diferentes tamices (1/8, 3/4, 1/2 y 2"). EL caudal de filtración por cada módulo es de 2.6 L/s y el caudal de retrolavado es de 1.9 L/s. La frecuencia de retrolavado es tres veces por semana durante un periodo de una hora. No hay un procedimiento establecido para realizar los ciclos de filtración/retrolavado. EL agua para realizar el retrolavado de los filtros se toma del efluente final tratado por este tratamiento terciario. Antes de la filtración se llevada a cabo una cloración del agua residual con cloro gas. La dosis de cloro en promedio es de 18 kg/d. El efluente final tratado por el tratamiento terciario se deposita en un tanque de almacenamiento.

El agua residual tratada se utiliza para el riego de jardines y camellones de la ciudad de Mexicali. Una cierta cantidad del agua tratada se utiliza también para el riego de parcelas. El título de cesión de la descarga del agua residual 01BCA109426/07HMGR05 no señala este punto como una descarga de la PTAR de Zaragoza. El caudal tratado que genera el tratamiento terciario es en promedio de 5.4 L/s



**Figura 154. Tren de tratamiento terciario de la PTAR de Zaragoza**



**Figura 155. Tratamiento terciario de aguas residuales de la PTAR de Zaragoza**

Actualmente las unidades de tratamiento del tratamiento terciario, tuberías, equipos de bombeo, equipos electromecánicos y obra civil se encuentran en mal estado, pero en funcionamiento (Figura 156). El proceso de filtración se encuentra en buen estado. Las tuberías y el equipo de bombeo se encuentran en estado de corrosión avanzado. Los clarificadores no contienen el mecanismo de rastras y los vertedores se encuentran desnivelados. La caseta de desinfección se encuentra en buen estado con todos los elementos y equipos para llevar a cabo la desinfección con cloro gas (Figura 157).



**Figura 156. Condiciones actuales de las unidades del tratamiento terciario de la PTAR de Zaragoza**





**Figura 157. Caseta de cloración del tren de tratamiento terciario de la PTAR de Zaragoza**

### 3.2.10 Disposición de lodos

Las PTAR cuentan con dos lagunas de secado para la deshidratación de los lodos extraídos por las lagunas de aireación, sedimentación y maduración. Actualmente las lagunas de deshidratación de lodos se encuentran fuera de operación ya que no existe el dragado de lodos de las lagunas. Las lagunas de deshidratación no tienen geomembranas y no cuentan con estructuras civiles (

Figura 158). Las lagunas se encuentran cubiertas con vegetación y restos de ladrillos, hormigón, argamasa, acero, hierro, madera, etc., provenientes de los desechos de la construcción.



**Figura 158. Lagunas de deshidratación de la PTAR de Zaragoza**

### 3.2.11 Caminos y vialidades de la PTAR

La PTAR cuenta con vialidades amplias y en buen estado en el cual se pueden transportar todo tipo de vehículos para llevar a cabo las maniobras necesarias el buen funcionamiento de la PTAR (Figura 159).



**Figura 159. Vialidades de la PTAR de Zaragoza**

### 3.2.12 Equipos electromecánicos

Se realizó el levantamiento de los equipos electromecánicos de la PTAR Zaragoza, los cuales se encuentran en el Anexo B. La PTAR funciona por gravedad por lo que no existe un gran número de equipos electromecánicos. Solo se utiliza bombeo en el tratamiento terciario y en el área de cloración. Se encontró en la documentación entregada por la PTAR, que existe un mantenimiento preventivo y correctivo dos veces al año principalmente de los equipos que se encuentran en funcionamiento como son los aireadores que están en las lagunas aireadas A, B y C, equipos de cribado que se encuentran en pretratamiento y los centros control de motores. Cada laguna cuenta con un centro control de motores. El estado físico de estos equipos de cribado es bueno. De los aireadores, sus condiciones físicas electromecánica es mala. De los 32 aireadores que se tienen en el PTAR solo funcionan 18 en condiciones regulares (Figura 76). El estado físico de los centros de control de motores es regular. Todos los equipos electromecánicos que se encuentran en el área del desarenador están fuera de servicio. La PTAR Zaragoza cuenta con un programa de mantenimiento preventivo y correctivo. La PTAR si cuenta con bitácoras de mantenimiento de los equipos electromecánicos.

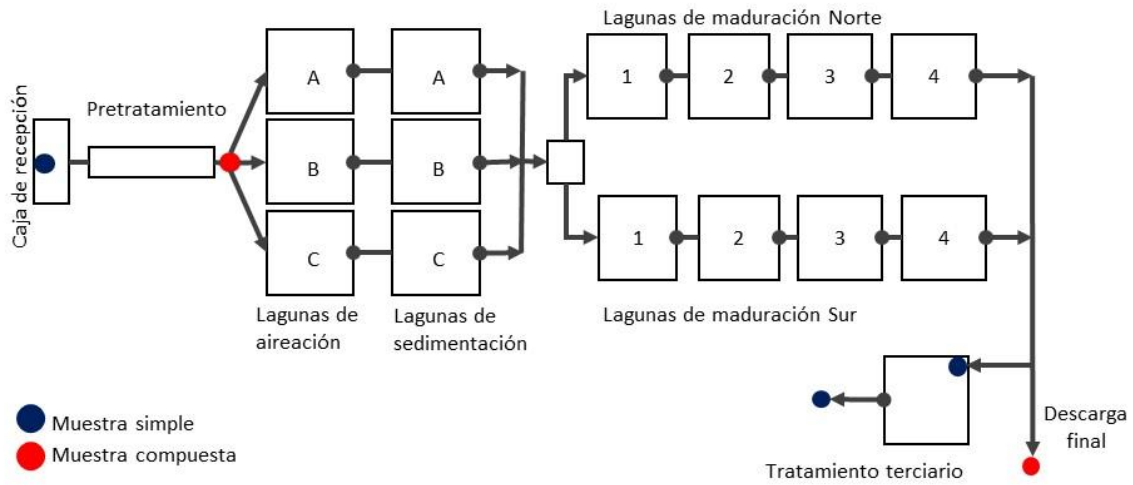


**Figura 160. Estado físico de los equipos electromecánicos de la PTAR de Zaragoza**

### **3.3 Muestreo y calidad del agua residual**

Para realizar el muestreo del agua residual en la PTAR se realizó previamente un recorrido a las instalaciones con el personal operativo de la PTAR, con el objetivo de seleccionar los puntos de muestreo más adecuados y para poder evaluar eficiencia las unidades de tratamiento que conforman la PTAR. Los puntos de muestreo seleccionados de la PTAR Zaragoza se muestran en la Figura 161. Se tomaron muestras simples de DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) de los seis emisores durante el pico más alto de sus descargas las cuales fueron a las 13:00 h. Se tomó un muestro compuesto del influente y de la descarga final de la PTAR tomando en cuenta los parámetros de calidad del agua que se señalan en la NOM Oficial Mexicana 001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021. Para evaluar la eficiencia actual de tratamiento de las lagunas aireadas, de las lagunas de sedimentación y de las lagunas de maduración se tomaron muestras simples de sus efluentes para determinar DBO<sub>5</sub>, DQO, NT, PT, sólidos suspendidos totales (SST), grasas y aceites (GyA), temperatura y pH. Para el caso de las lagunas de sedimentación se determinó adicionalmente la clorofila y para el caso de las lagunas de maduración, se cuantificó la clorofila y los coliformes fecales. Para el tratamiento terciario se tomaron muestras simples del influente y efluente final para determinar los valores de DBO<sub>5</sub>, DQO, NT, PT, SST, GyA, temperatura y pH. Los análisis fueron realizados por el laboratorio certificado del IMTA.

En la Tabla 52 se muestran un resumen parámetros evaluados en cada punto de muestreo de la PTAR los cuales se seleccionaron de acuerdo a los parámetros de diseño de cada unidad de proceso de la PTAR.



**Figura 161. Puntos de muestreos tomados para la caracterización del agua residual en la PTAR de Zaragoza**

**Tabla 52. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua**

| Parámetro                         | Descripción                            | Influente | Emisores<br>PBAR 1, 3, 6 y<br>7 | Efluente<br>lagunas de<br>aireación A, B y<br>C | Efluente<br>lagunas de<br>sedimentación<br>A, B y C | Efluente<br>lagunas de<br>maduración 1,<br>2, 3 y 4 Norte y<br>Sur | Tratamiento<br>terciario<br>(influyente y<br>efluente) | Descarga final |
|-----------------------------------|--|-----------|---------------------------------|---|---|--|--|----------------|
|                                   | No. de muestras                        | 1         | 6                               | 3   | 3   | 8  | 2  | 1              |
| <b>NOM-001-<br/>SEMARNAT-1996</b> | pH                                     |           |                                 |   |   |  |  |                |
|                                   | Temp                                   |           |                                 |   |   |  |  |                |
|                                   | Materia flotante                       |           |                                 |   |   |  |  |                |
|                                   | Sól. Sed.                              |           |                                 |   |   |  |  |                |
|                                   | CyA                                    |           |                                 |   |   |  |  |                |
|                                   | SST                                    |           |                                 |   |   |  |  |                |
|                                   | DBO                                    |           |                                 |   |   |  |  |                |
|                                   | NT                                     |           |                                 |   |   |  |  |                |
|                                   | PT                                     |           |                                 |   |   |  |  |                |
|                                   | Metales                                |           |                                 |   |   |  |  |                |
|                                   | HH                                     |           |                                 |   |   |  |  |                |
|                                   | CF                                     |           |                                 |   |   |  |  |                |
|                                   | <b>PROY-NOM-001-<br/>SEMARNAT-2017</b> | DQO       |                                 |   |   |  |  |                |
| Toxicidad aguda                   |  |           |                                 |   |   |  |  |                |
| Color verdadero                   |  |           |                                 |   |   |  |  |                |
| <i>E. coli</i>                    |  |           |                                 |   |   |  |  |                |
| <b>Diseño</b>                     | Clorofila                              |           |                                 |   |   |  |  |                |



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



|                         |  |                                |                    |                    |                    |                    |                    |                                |
|-------------------------|--|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|
| <b>Tipo de muestreo</b> |  | Compuesto, 24 h,<br>6 muestras | Muestreo<br>simple | Muestreo<br>simple | Muestreo<br>simple | Muestreo<br>simple | Muestreo<br>simple | Compuesto, 24 h,<br>6 muestras |
|-------------------------|--|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|

### 3.3.1 Resultados del muestreo compuesto

En la Tabla 53 se muestran los resultados del muestreo compuesto realizados en la PTAR. De acuerdo al título de descarga de la PTAR, las aguas residuales tratadas se vierten a un cuerpo receptor tipo “B” que correspondería para la nueva NOM a “Ríos, arroyos, canales y drenes”. De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización de las aguas residuales de la descarga final de la PTAR, todos los parámetros cumplen para la NOM-001-SEMARNAT-1996. Para la NOM-001-SEMARNAT-2021, los parámetros que no cumplen son el NT y la toxicidad aguda. La relación DQO/DBO del influente de la PTAR es de 4.4 indicando que la materia orgánica que llega a la PTAR es poco biodegradable. Los valores de la toxicidad aguda en el influente de la PTAR indican que el agua residual que llega a la PTAR es tóxica. Tanto los valores de la relación DQO/DBO y de la toxicidad indican que el agua residual cruda que llega a la PTAR de Zaragoza posiblemente contenga aportes de aguas residuales industriales.

**Tabla 53. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT 1996 y 2021.**

| Parámetro                | Unidades | Compuesto      |               | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Cuerpo receptor tipo B<br>(PM) | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Ríos, arroyos, canales, drenes<br>(PM) |
|--------------------------|----------|----------------|---------------|---|---|
|                          |          | Influente (PM) | Efluente (PM) |   |   |
| pH                       | UpH      | 7.4            | 8.2           | 5 - 10  | 6 - 9   |
| Temperatura              | °C       | 23             | 18            | 40  | 35  |
| G y A promedio ponderado | mg/L     | 40.9           | 8.8           | 15  | 15  |
| Material Flotante        | A / P    | Ausente        | Ausente       | Ausente   | NA  |
| S. Sed.                  | ml/L     | 2              | 0.1           | 1   | NA  |
| SST                      | mg/L     | 93.8           | 26            | 75  | 60  |
| DBO                      | mg/L     | 110            | 2             | 75  | NA  |
| NT                       | mg/L     | 55.7           | 46.9          | 40  | 25  |
| PT                       | mg/L     | 7.5            | 5.87          | 20  | 15  |
| As                       | mg/L     | 0.0031         | <0.0010       | 0.1   | 0.2   |
| Cd                       | mg/L     | <0.030         | <0.030        | 0.1   | 0.2   |
| CN                       | mg/L     |                |               | 1.0   | 1.0   |
| Cu                       | mg/L     | 0.056          | <0.05         | 4.0   | 4.0   |
| Cr                       | mg/L     | <0.10          | <0.10         | 0.5   | 1.0   |
| Hg                       | mg/L     | 0.0008         | <0.0005       | 0.005   | 0.01  |



| Parámetro               | Unidades      | Compuesto      |               | NOM-001-SEMARNAT-1996       | NOM-001-SEMARNAT-2021                   |
|-------------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------|---|
|                         |               | Influente (PM) | Efluente (PM) | Cuerpo receptor tipo B (PM) | Ríos, arroyos, canales, drenes (PM)     |
| Ni                      | mg/L          | <0.10          | <0.10         | 2.0                         | 2.0                                     |
| Pb                      | mg/L          | <0.10          | <0.10         | 0.2                         | 0.2                                     |
| Zn                      | mg/L          | 0.24           | <0.10         | 10.0                        | 10.0                                    |
| CF media geométrica     | NMP/100 ml    | 287            | 28            | 1000                        | NA                                      |
| HH                      | H/L           | Cero           | Cero          | 1                           | NA                                      |
| DQO                     | mg/L          | 487            | 98.8          | NA                          | 150                                     |
| COT                     | mg/L          | NA             | NA            | NA                          | 38                                      |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 ml    | 403            | 28            | NA                          | 250                                     |
| Color                   | Long. De onda |                |               | NA                          | Coefficiente absorción Espectral máximo |
|                         | 436 nm        | 2.2            | 1.3           |                             | 7.0 m <sup>-1</sup>                     |
|                         | 525 nm        | 1.0            | 0.4           |                             | 5.0 m <sup>-1</sup>                     |
|                         | 620 nm        | 0.4            | 0.2           |                             | 3.0 m <sup>-1</sup>                     |
| Toxicidad aguda         | UT 15 min     | 14.93          | 2.89          | NA                          | 2                                       |

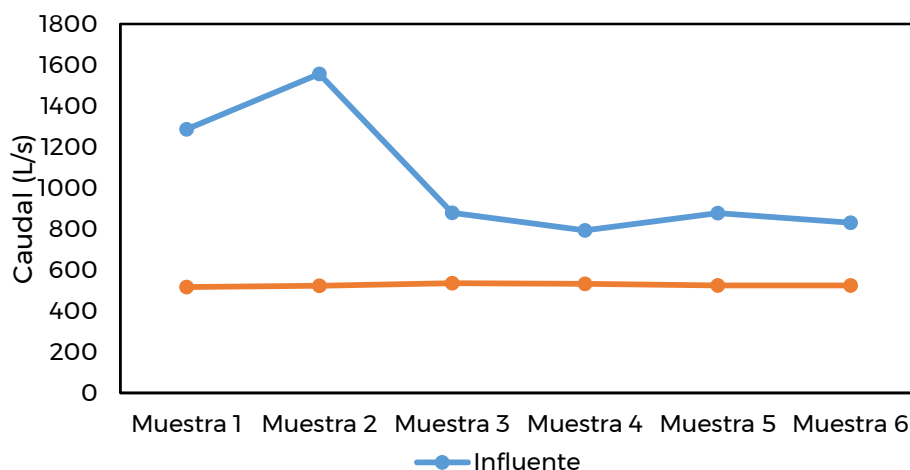
La eficiencia global de tratamiento de acuerdo con los resultados de la caracterización de las aguas residuales se muestra en la Tabla 54. Se puede observar que el sistema de tratamiento en las condiciones actuales presenta una buena remoción de materia orgánica y GyA. Se tiene una excelente remoción de CF y E. Coli. Para los nutrientes, el sistema de tratamiento genera bajas remociones de NT y PT.

**Tabla 54. Eficiencia de remoción de los principales contaminantes en la PTAR de Zaragoza**

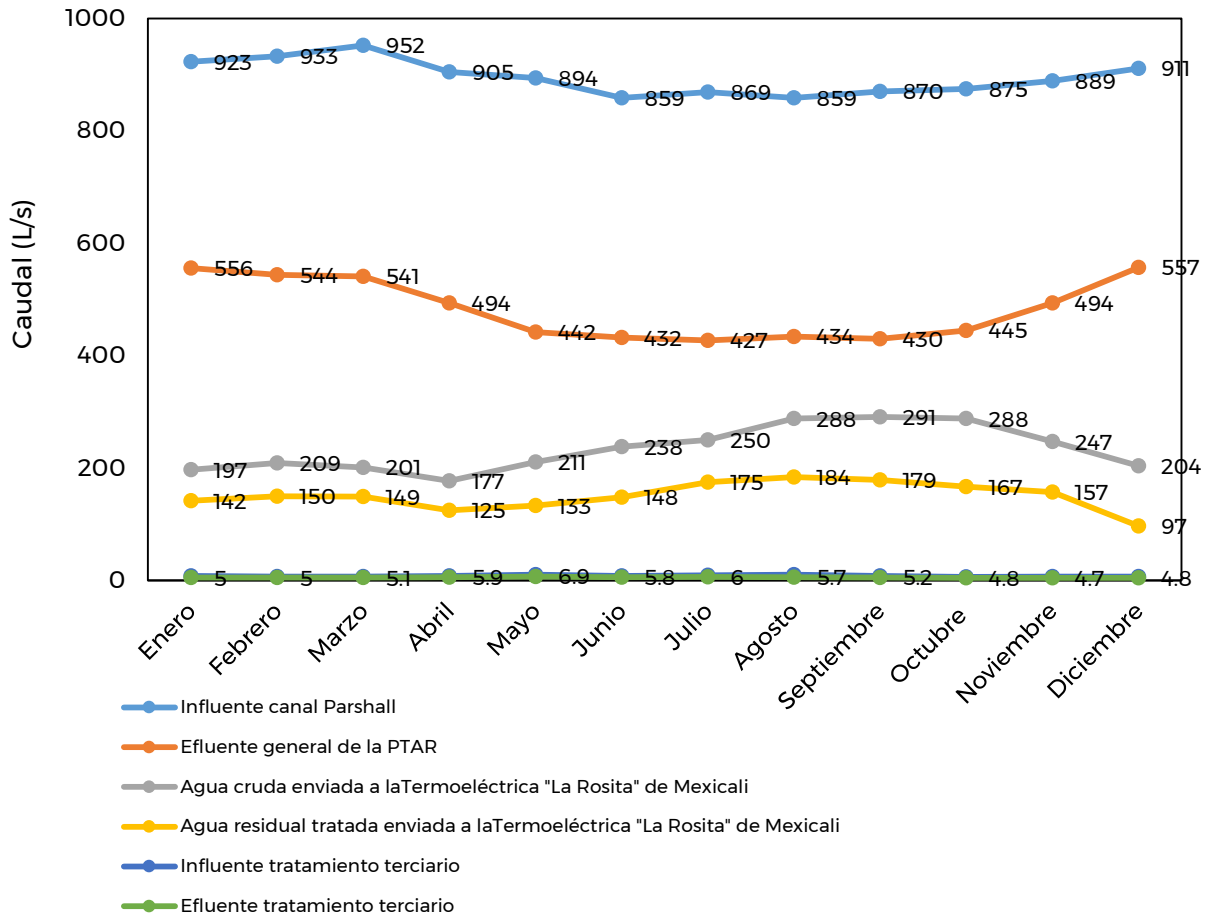
| Parámetro        | Remoción (%) |
|------------------|--------------|
| DBO <sub>5</sub> | 98.2         |
| DQO              | 79.7         |
| NT               | 15.8         |
| PT               | 21.7         |
| SST              | 72.3         |

| Parámetro          | Remoción (%) |
|--------------------|--------------|
| GyA                | 78.5         |
| Coliformes fecales | 90.2         |
| <i>E. coli</i>     | 93           |

En la Figura 78 se muestra la variación del caudal durante un periodo de 24 h. El máximo caudal presentado en el influente de la PTAR fue en el segundo periodo de muestro el cual fue de 1,556.8 L/s. El caudal más bajo medido se presentó durante el cuarto muestro el cual fue de 793.5 L/s. El caudal promedio en el influente de la PTAR fue de 1,037.5 L/s. En la descarga final el caudal osciló entre 517.5 y 535.3 L/s con un promedio de 526.3 L/s. EL caudal en el efluente de la PTAR es del 50% menor del caudal de entrada. Esta disminución se debe a que una cierta cantidad del agua residual tratada se envía a la termoeléctrica “La Rosita” de Mexicali y otra se utiliza para su reúso a través del sistema del sistema de tratamiento terciario. En la Figura 163, se muestra en una representación de los caudales de entrada y salida de la PTAR. Parte del agua residual cruda que llega a la PTAR se envía a la PTAR de la termoeléctrica “La Rosita”. El promedio de agua residual cruda que se envía (de acuerdo con los datos proporcionados por la PTAR) es de 233.41 L/s. El agua residual tratada antes de la desinfección que se envía a la termoeléctrica “La Rosita” es en promedio de 150.5 L/s. El agua residual tratada que se pule en el tratamiento terciario es en promedio de 7.9 L/s. El agua tratada que sale del tratamiento terciario es en promedio de 5.4 L/s.

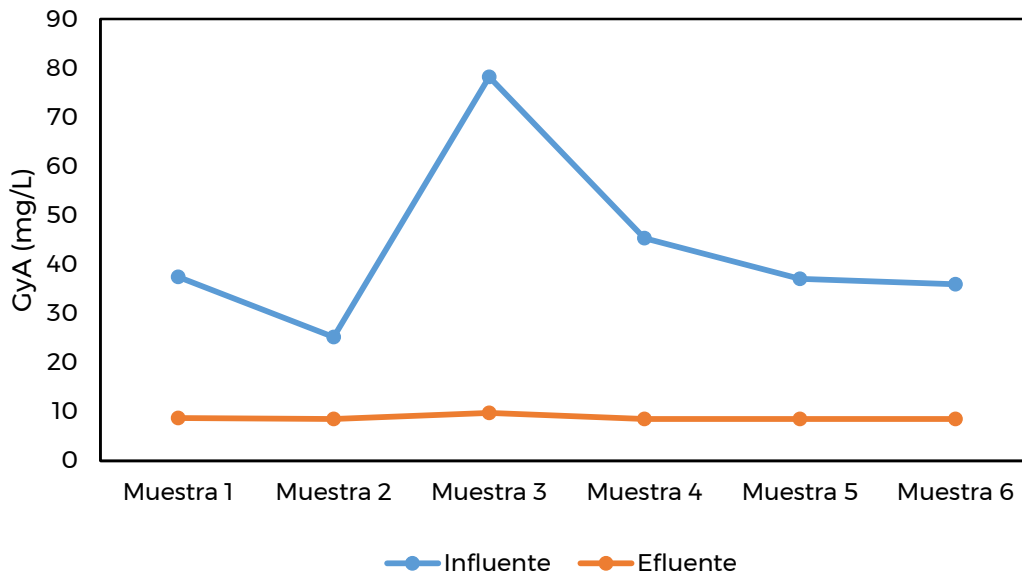


**Figura 162. Variación del caudal en el influente y efluente de la PTAR de Zaragoza**



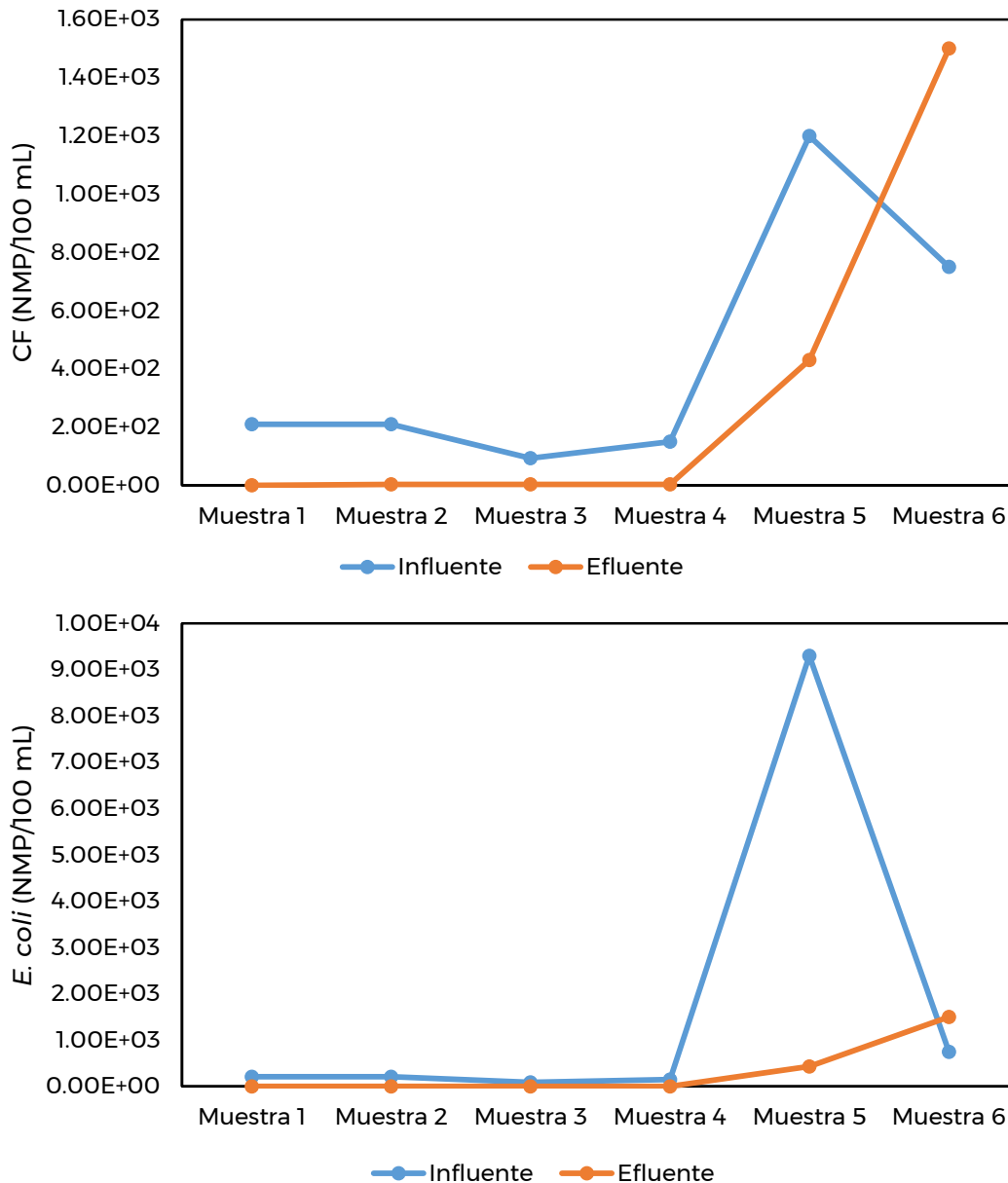
**Figura 163. Balance hidráulico del agua residual en la PTAR de Zaragoza**

Para las GyA las concentraciones en el influente oscilaron entre 25.2 y 78.2 mg/L con un promedio ponderado respecto al caudal de entrada de 40.9 mg/L. Las concentraciones de GyA detectadas en la descarga final fueron menores a 9.78 mg/L con un promedio ponderado de 8.8 mg/L respecto al caudal del efluente de la PTAR (Figura 164).



**Figura 164. Concentración de GyA en el influente y efluente de la PTAR de Zaragoza**

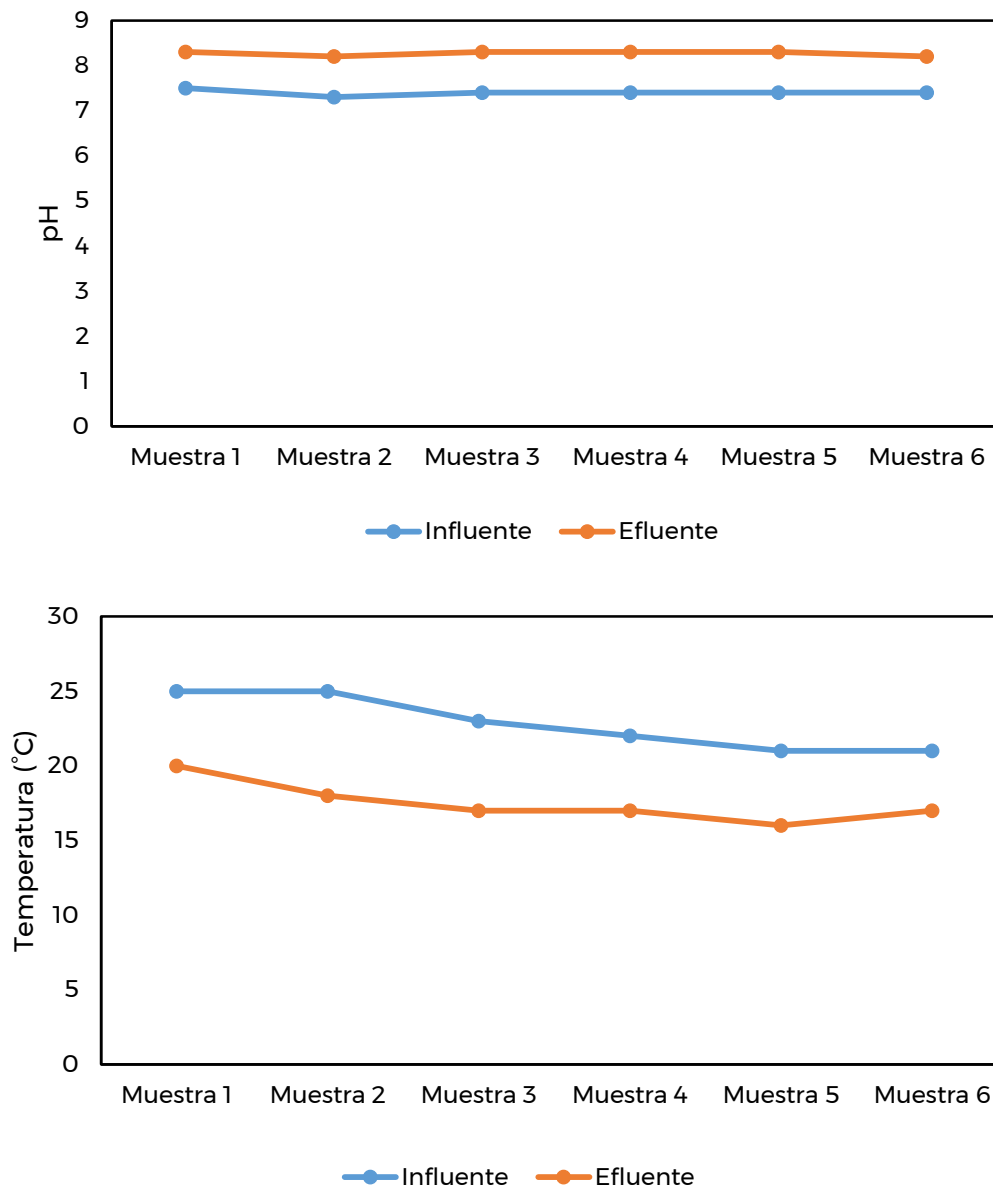
Durante los primeros cuatro muestreos la concentración de CF y *E. coli* en el influente y descarga final fueron bajos con valores menores a 210 NMP/100 mL para los CF y menores a 210 NMP/100 mL para *E. coli* (Figura 165). En el muestro 5 y 6 se observó un incremento en la concentración de las bacterias indicadoras de contaminación fecal con valores en el influente de hasta de 1500 NMP/100 mL para CF y de hasta 9,300 NMP/100 mL para la *E. coli*, estos valores indican que durante esas descargas el influente contenía una alta contaminación fecal. La concentración promedio en términos de media geométrica de los CF y *E. coli* fueron de 287 y 403 NMP/100 mL respectivamente. Una vez que pasó el agua residual a través del sistema lagunar la concentración de CF y *E. coli* disminuyó considerablemente alcanzando una concentración (media geométrica) de 28 NMP/100 mL para los CF y *E.coli*.



**Figura 165. Variación de los CF y *E. coli* en el influente y descarga final de la PTAR de Zaragoza**

Los valores del pH en el influente fueron constantes con valores entre 7.3 y 7.5 (promedio de 7.4). El pH en la descarga final fue en promedio de 8.2 indicando una buena actividad los microorganismos fotosintéticos desarrollados en las lagunas de maduración. Estos valores ligeramente alcalinos tienen una gran influencia en la eliminación de los microorganismos patógenos y concuerda con las remociones altas de CF y

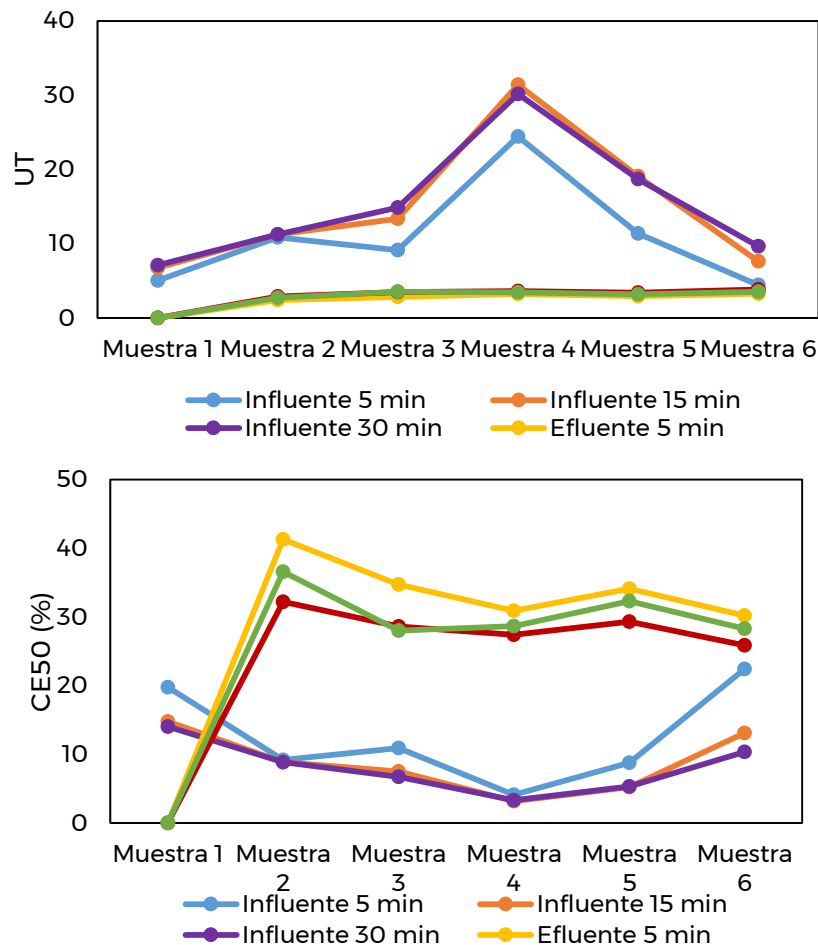
*E. Coli* en la PTAR. La temperatura en el influente durante la campaña de muestro fue entre 21 y 25°C con un promedio de 23°C. Las temperaturas del agua residual en la descarga final fueron entre 16 y 20°C (promedio de 17.5°C). Las más bajas temperaturas se presentaron durante la noche y al amanecer (muestra 4, 5 y 6) (Figura 166).



**Figura 166. Variación del pH y temperatura en el influente y descarga final de la PTAR de Zaragoza**

En la Figura 167 se muestran los resultados de las toxicidades determinadas en el influente y efluente de la PTAR. La toxicidad fue determinada en un periodo de 24 h tomado seis muestras simples. Como se puede observar el

influyente presenta una toxicidad alta alcanzándose valores de hasta 31.17 UT a los 15 minutos de exposición. La concentración letal medio (CE50) máxima fue 3.3% que corresponde con los altos valores de las UT en ese periodo de tiempo. Las máximas toxicidades que se presentaron fueron por la noche entre las 12:00 am y 5:00 am. Estas toxicidades comienzan a disminuir en el día. Para el efluente se presentaron toxicidades más bajas comparadas con el influente, sin embargo, los valores de las toxicidades están por arriba de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Como se puede observar en la Figura 83, las toxicidades son casi constantes en el transcurso del día y en la noche. Los valores de toxicidad en el efluente a los 15 minutos de exposición estuvieron en el rango de 0 hasta 3.5 UT.



**Figura 167. Variación de las toxicidades (*Vibrio fischeri*) en el influente y descarga final de la PTAR de Zaragoza**

### 3.3.2 Resultados de muestreo simple

Se realizó una caracterización de los seis emisores que llegan a la caja de recepción de la PTAR con el objetivo de determinar el emisor con más carga de contaminantes (Tabla 55). De acuerdo con los resultados de la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales que se descargan de cada emisor, el Emisor PBAR 6 es el que presentó una mayor carga de contaminantes con una DQO, DBO<sub>5</sub>, NT y PT de 790, 136, 70.6 y 9.33 mg/L respectivamente. Se puede indicar que los emisores que presentan mayor carga de contaminantes son el PBAR 6 seguido del emisor PBRA 3 (las dos tuberías) seguido por el emisor PBAR 1 (las dos tuberías) y finalmente el emisor PBAR 7 que es el emisor que presentó una menor carga de contaminantes. La relación DQO/DBO de estos emisores muestra que el agua residual que ingresa al PTAR es poco biodegradable por lo que se demuestra que los emisores tienen alguna influencia industrial.

**Tabla 55. Caracterización fisicoquímica de los emisores que llegan a la PTAR de Zaragoza**

| Emisor            | DBO <sub>5</sub> (mg/L) | DQO (mg/L) | DQO/DBO | NT (mg/L) | PT (mg/L) |
|-------------------|-------------------------|------------|---------|-----------|-----------|
| PBAR 1, tubería 1 | 125                     | 556        | 4.4     | 61        | 6.64      |
| PBAR 1, tubería 2 | 109                     | 555        | 5.1     | 60.6      | 5.56      |
| PBAR 3, tubería 1 | 108                     | 673        | 6.2     | 59.3      | 8.25      |
| PBAR 3, tubería 2 | 103                     | 613        | 5.9     | 59        | 6.9       |
| PBAR 6            | 136                     | 790        | 5.8     | 70.6      | 9.33      |
| PBAR 7            | 109                     | 495        | 4.5     | 79.3      | 9.19      |

La PTAR cuenta con un sistema de tratamiento terciario para el pulimento de la descarga final de la PTAR con el objeto de utilizar un parte del agua residual para su reúso. Con el objetivo de evaluar su desempeño se determinaron los parámetros de la Tabla 56. Como se puede observar, el sistema de tratamiento terciario remueve eficientemente la materia orgánica fácilmente biodegradable, sin embargo, presenta eficiencias de remoción bajas para DQO, nutrientes y SST. Debido a las condiciones actuales del sistema de filtración y a su mala operación, posiblemente se encuentren saturados de lodos provocando un incremento de los SST en el efluente del tratamiento terciario.



**Tabla 56. Eficiencia de remoción de los principales contaminantes en el tratamiento terciario**

| Punto de muestreo   | pH  | Temp (°C) | G y A (mg/L) | SST (mg/L)                 | DBO <sub>5</sub> (mg/L) | NT (mg/L) | PT (mg/L) | DQO (mg/L) |
|---------------------|-----|-----------|--------------|----------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------|
| Influyente          | 8.3 | 20        | <8.56        | 38.1                       | 35                      | 47.5      | 5.47      | 148        |
| Efluente            | 7.5 | 20        | <8.56        | 54                         | 2.8                     | 41.1      | 3.7       | 61.6       |
| <b>Remoción (%)</b> | -   | -         | -            | No hay remoción de sólidos | 92                      | 13.4      | 32.3      | 58.8       |

### 3.3.3 Eficiencias de las unidades de tratamiento del sistema lagunar de la PTAR

En la Tabla 57 se muestra las cargas orgánicas actuales aplicadas a las lagunas de aireación y a las lagunas de maduración. Los cálculos para la determinación de las cargas orgánicas volumétricas se realizaron tomando los valores actuales del TRH, caudal, volumen útil de las lagunas la DQO y la DBO<sub>5</sub>. Para la determinación de las cargas orgánicas superficiales se tomaron en cuenta las áreas superficiales actuales de las lagunas, los caudales, la DQO y la DBO<sub>5</sub>. La laguna aireada C se encuentra sobrecargada con materia orgánica. Las cargas orgánicas superficiales se encuentran por arriba de los valores recomendados por la literatura. Esto indica la materia orgánica que entra a las lagunas por hectárea por día es muy alta. Las cargas orgánicas aplicadas en términos de DBO para las lagunas de maduración se encuentran dentro los criterios de diseño. Sin embargo, tomando en cuenta la DQO, las lagunas de maduración se encuentran sobrecargadas.

**Tabla 57. Carga orgánica aplicadas actuales que entran a las lagunas de aireación y maduración de la PTAR de Zaragoza**

| Laguna             | Carga orgánica volumétrica (kg DQO/m <sup>3</sup> .d) | Carga orgánica volumétrica (kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> .d) | Carga orgánica superficial (kg DQO/ha.d) | Carga orgánica superficial (kg DBO <sub>5</sub> /ha.d) | Carga orgánica superficial (valores recomendados) (kg DBO <sub>5</sub> /ha.d) |
|--------------------|---|---|--|--|---|
| Laguna aireación A | 0.14  | 0.03  | 3,191.5                                  | 720.9  |   |

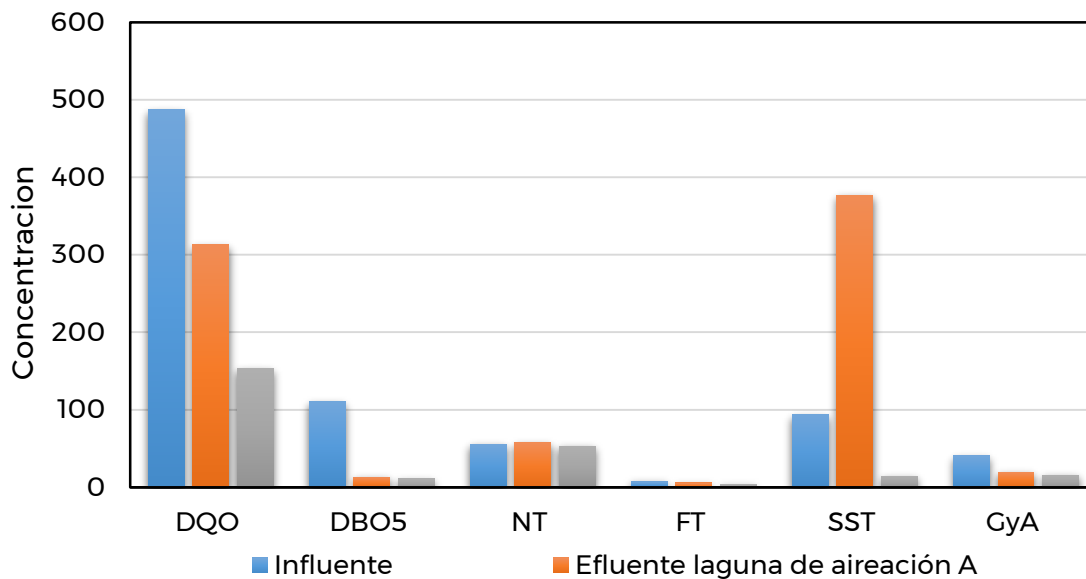
| Laguna                      | Carga orgánica volumétrica (kg DQO/m <sup>3</sup> .d) | Carga orgánica volumétrica (kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> .d) | Carga orgánica superficial (kg DQO/ha.d) | Carga orgánica superficial (kg DBO <sub>5</sub> /ha.d) | Carga orgánica superficial (valores recomendados) (kg DBO <sub>5</sub> /ha.d) |
|-----------------------------|---|---|--|--|---|
| Laguna aireación B          | 0.16  | 0.035   |  |  | 33.6-112.3 (mezcla parcial)   |
| Laguna aireación C          | 0.46  | 0.1   |  |  |   |
| Lagunas de maduración Norte | 0.01  | 0.0009  | 222.3                                    | 12   | <17   |
| Lagunas de maduración Sur   | 0.01  | 0.0009  | 143.7                                    | 7.8  |   |

ha= hectáreas

En la Tabla 58, Tabla 59 y Tabla 60 se muestran las eficiencias de tratamiento en términos de concentración y porcentaje de remoción en las lagunas aireadas y de sedimentación. Las tres lagunas de aireación A, B y C presentan buenas remociones de DBO por arriba del 85%, sin embargo, para la DQO se observaron remociones por debajo del 46%. Las tres lagunas de aireación no remueven el nitrógeno y fósforo del agua residual ya que se obtuvieron remociones por debajo del 25%. Para los SST, GyA las remociones son menores al 52%. Las remociones bajas de los contaminantes en las lagunas aireadas se deben principalmente a la sobrecarga de materia orgánica y a la mala distribución de la aireación y del flujo del agua residual a través de las lagunas. La laguna de sedimentación A es la laguna que genera una remoción de los SST de hasta el 96%. Las lagunas de sedimentación B y C existen problemas ya que las remociones de los contaminantes son bajas. El tren compuesto por la laguna de aireación C y laguna de sedimentación C, es el tren que presenta un mayor problema de operación y de sobrecarga de contaminantes ya que sus remociones están por debajo del 48% excepto para la DQO (Figura 168, Figura 169 y Figura 170). En el caso de las GyA, el conjunto de laguna aireada-laguna de sedimentación de los trenes A, B y C generaron remociones entre el 33 y 62% siendo más alta en el tren A.

**Tabla 58. Desempeño de la eficiencia de tratamiento de la laguna aireada y de sedimentación A de la PTAR de Zaragoza**

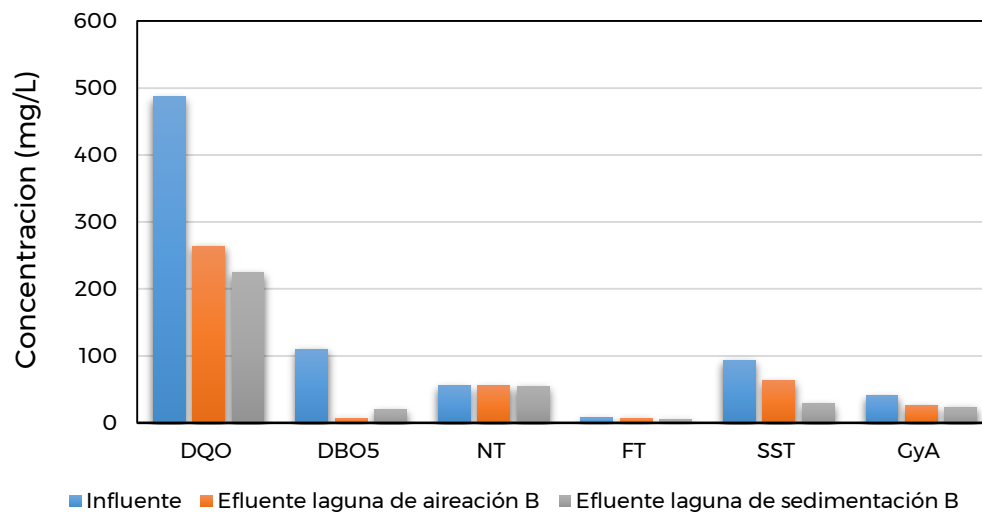
|  | <b>DQO</b> | <b>DBO<sub>5</sub></b> | <b>NT</b> | <b>PT</b> | <b>SST</b> | <b>GyA</b> |
|--|------------|------------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| <b>Influyente<br/>(mg/L)</b>                                 | 487        | 110                    | 55.7      | 7.5       | 93.8       | 40.9       |
| <b>Efluente<br/>laguna de<br/>aireación A<br/>(mg/L)</b>     | 313        | 13                     | 57.6      | 5.6       | 377        | 19.6       |
| <b>Efluente<br/>laguna de<br/>sedimentación<br/>A (mg/L)</b> | 153        | 11                     | 52.9      | 4.1       | 14.4       | 15.4       |
| <b>Remoción<br/>laguna de<br/>aireación A (%)</b>            | 35.7       | 88.2                   | 0         | 25.3      | 0          | 52         |
| <b>Remoción<br/>laguna de<br/>sedimentación<br/>A (%)</b>    | 51.1       | 15.4                   | 8.2       | 26.8      | 96.1       | 21.4       |
| <b>Remoción<br/>Global (%)</b>                               | 68.6       | 90                     | 5         | 45.3      | 84.6       | 62.3       |



**Figura 168. Variación de los contaminantes en la laguna de aireación y sedimentación A**

**Tabla 59. Desempeño de la eficiencia de tratamiento de la laguna aireada y de sedimentación B de la PTAR de Zaragoza**

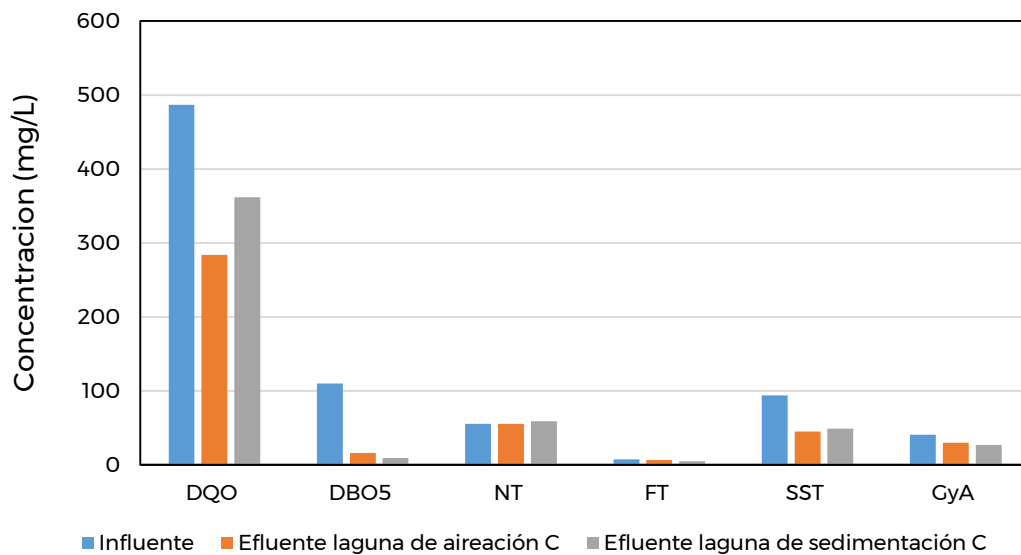
|  | DQO  | DBO <sub>5</sub> | NT   | PT   | SST  | GyA  |
|--|------|------------------|------|------|------|------|
| <b>Influente (mg/L)</b>                          | 487  | 110              | 55.7 | 7.5  | 93.8 | 40.9 |
| <b>Efluente laguna de aireación B (mg/L)</b>     | 264  | 7                | 55.7 | 6.9  | 63.3 | 25.7 |
| <b>Efluente laguna de sedimentación B (mg/L)</b> | 224  | 20               | 54.6 | 5.4  | 28.9 | 23.1 |
| <b>Remoción laguna de aireación B (%)</b>        | 45.8 | 93.6             | 0    | 8    | 32.5 | 37.2 |
| <b>Remoción laguna de sedimentación B (%)</b>    | 15.1 | 0                | 2    | 21.7 | 54.3 | 10.1 |
| <b>Remoción Global (%)</b>                       | 54   | 81.8             | 2    | 28   | 69.2 | 43.5 |



**Figura 169. Variación de los contaminantes en la laguna de aireación y sedimentación B**

**Tabla 60. Desempeño de la eficiencia de tratamiento de la laguna aireada y de sedimentación C de la PTAR de Zaragoza**

|  | <b>DQO</b> | <b>DBO<sub>5</sub></b> | <b>NT</b> | <b>PT</b> | <b>SST</b> | <b>CyA</b> |
|--|------------|------------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| <b>Influyente (mg/L)</b>                         | 487        | 110                    | 55.7      | 7.5       | 93.8       | 40.9       |
| <b>Efluente laguna de aireación C (mg/L)</b>     | 284        | 16                     | 55.3      | 6.5       | 45.3       | 29.9       |
| <b>Efluente laguna de sedimentación C (mg/L)</b> | 362        | 9                      | 59        | 5         | 49.1       | 27.1       |
| <b>Remoción laguna de aireación C (%)</b>        | 41.7       | 85.4                   | 0.7       | 13.3      | 51.7       | 26.9       |
| <b>Remoción laguna de sedimentación C (%)</b>    | 0          | 43.8                   | 0         | 23.1      | 0          | 9.4        |
| <b>Remoción global (%)</b>                       | 25.6       | 91.8                   | 0         | 33.3      | 47.7       | 33.7       |



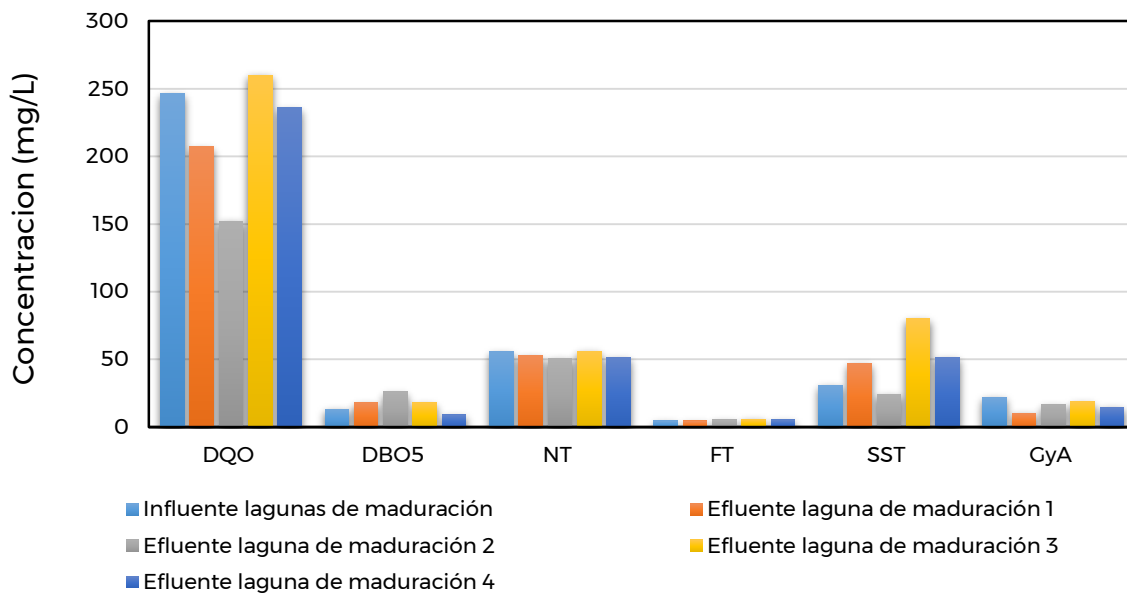
**Figura 170. Variación de los contaminantes en la laguna de aireación y sedimentación C**

En la Tabla 61 y Tabla 62 se muestra las eficiencias de tratamiento en términos de concentración y porcentaje de remoción en las lagunas de maduración Norte y Sur. Las ocho lagunas de maduración no tienen la capacidad de remover DQO esto debido a que están sobrecargas de materia orgánica no biodegradable. Las altas cargas orgánicas actuales aplicadas a las lagunas de maduración limitan la capacidad de tratamiento de las lagunas. Los valores de DQO que se encontraron fueron por arriba de los 150 mg/L. Para la DBO se determinó bajos porcentajes de remoción de este parámetro, esto debido principalmente a las bajas concentraciones de materia orgánica fácilmente biodegradable en los influentes de las lagunas. Las DBO que se detectaron en los efluentes fueron en el rango de 5 y 16 mg/L (Figura 87 y Figura 88). Las lagunas de maduración no tienen la capacidad para asimilar el nitrógeno y fósforo. Las remociones de los nutrientes fueron en el rango de 0 y 14%. Las remociones de GyA fueron relativamente altas en las lagunas de maduración son remociones entre el 33 y 61%. Las lagunas de maduración están diseñadas principalmente para remover CF. En este caso, las remociones de los CF obtenidas en las lagunas están por arriba del 95% los cuales van disminuyendo en cada laguna conectada en serie. Para determinar el funcionamiento de las lagunas de maduración se determinó adicionalmente la concentración de clorofila en cada laguna. Las concentraciones cuantificadas de clorofila-a fueron entre 69 y 1,405 mg/m<sup>3</sup>. Las concentraciones de clorofila se incrementaron con el incremento en el número de lagunas.

**Tabla 61. Desempeño de la eficiencia de tratamiento de las lagunas de maduración Norte de la PTAR de Zaragoza**

|   | DQO   | DBO <sub>5</sub> | NT   | PT  | SST  | GyA  | CF<br>(NMP/100<br>mL) | Clorofila-<br>a<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
|---|-------|------------------|------|-----|------|------|-----------------------|---|
| <b>Influente lagunas de maduración (efluente lagunas de sedimentación) (mg/L)</b> | 246.3 | 13.3             | 55.5 | 4.8 | 30.8 | 21.9 | 1500                  | 87                                      |
| <b>Efluente laguna de maduración 1 (mg/L)</b>                                     | 207   | 18               | 52.7 | 4.5 | 47.1 | 10.2 | 40                    | 69                                      |
| <b>Efluente laguna de</b>   | 152   | 26               | 50.6 | 5.4 | 24.2 | 16.6 | 3                     | 102                                     |

|   | DQO | DBO <sub>5</sub> | NT   | PT  | SST  | GyA  | CF (NMP/100 mL) | Clorofila-a (mg/m <sup>3</sup> ) |
|---|-----|------------------|------|-----|------|------|-----------------|----------------------------------|
| <b>maduración 2 (mg/L)</b>                    |     |                  |      |     |      |      |                 |                                  |
| <b>Efluente laguna de maduración 3 (mg/L)</b> | 260 | 18               | 56.2 | 5.8 | 80   | 18.9 | 4               | 1,405                            |
| <b>Efluente laguna de maduración 4 (mg/L)</b> | 236 | 9                | 51.3 | 5.4 | 51.3 | 14.7 | 4               | 322                              |
| <b>Remoción Global (%)</b>                    | 0   | 32.3             | 7.6  | 0   | 0    | 32.9 | 99.7            | -                                |

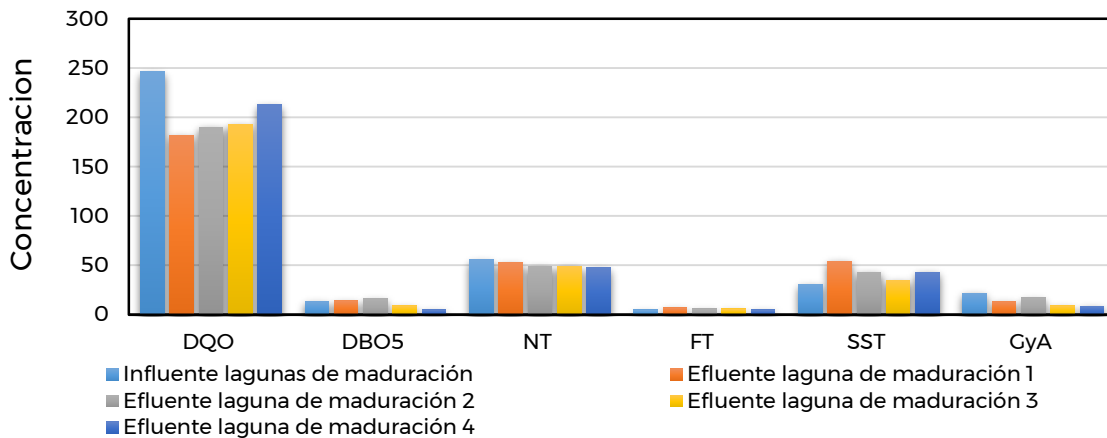


**Figura 171. Variación de los contaminantes en las lagunas de maduración Norte**

**Tabla 62. Desempeño de la eficiencia de tratamiento de las lagunas de maduración Sur de la PTAR de Zaragoza**

|  | DQO | DBO <sub>5</sub> | NT | PT | SST | GyA | CF (NMP/100 mL) | Clorofila-a (mg/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----|------------------|----|----|-----|-----|-----------------|----------------------------------|
|  |     |                  |    |    |     |     |                 |                                  |

|   |       |      |      |     |      |      |      |     |
|---|-------|------|------|-----|------|------|------|-----|
| <b>Influente lagunas de maduración (efluente lagunas de sedimentación) (mg/L)</b> | 246.3 | 13.3 | 55.5 | 4.8 | 30.8 | 21.9 | 1500 | 87  |
| <b>Efluente laguna de maduración 1 (mg/L)</b>                                     | 182   | 14   | 52.7 | 6.9 | 54   | 13.2 | 430  | 143 |
| <b>Efluente laguna de maduración 2 (mg/L)</b>                                     | 190   | 16   | 49.1 | 5.8 | 42.9 | 17.2 | 90   | 295 |
| <b>Efluente laguna de maduración 3 (mg/L)</b>                                     | 193   | 9    | 49.3 | 5.8 | 34.8 | 8.9  | 9    | 393 |
| <b>Efluente laguna de maduración 4 (mg/L)</b>                                     | 213   | 5    | 47.7 | 4.9 | 43   | 8.5  | 4    | 569 |
| <b>Remoción global (%)</b>  | 13.5  | 61.5 | 14   | 0   | 0    | 61.2 | 99.7 | -   |



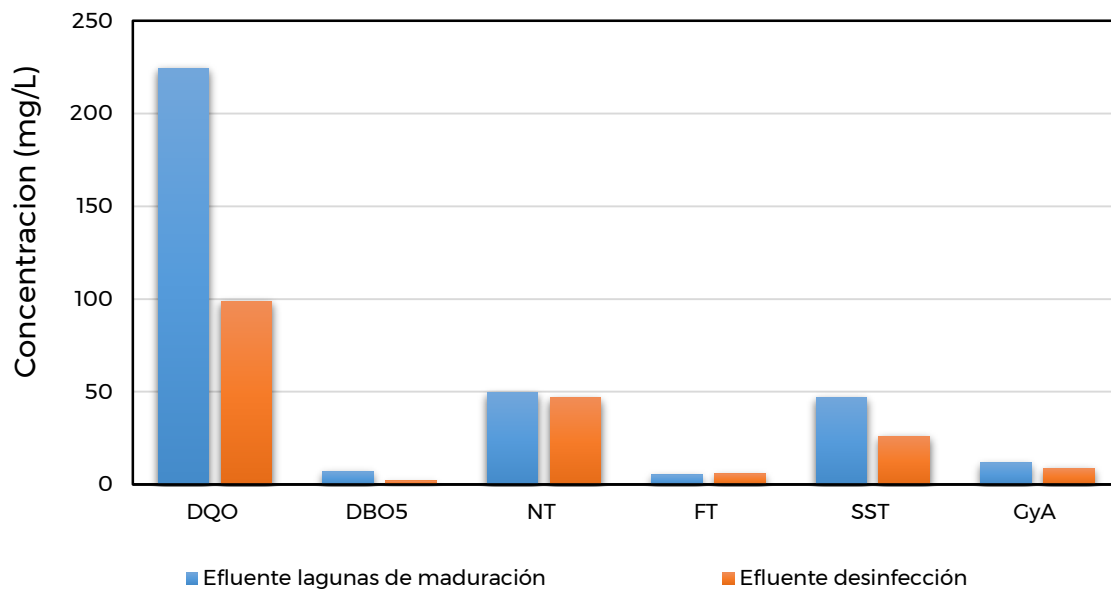
**Figura 172. Variación de los contaminantes en las lagunas de maduración Sur**

Finalmente se evaluó el desempeño de la desinfección sobre la remoción de los contaminantes. En el caso de la DQO, DBO, SST y GyA el proceso de desinfección con cloro incrementó la remoción de estos parámetros. Para el nitrógeno y fósforo no se observó ningún efecto sobre su remoción (Tabla 63 y Figura 173).



**Tabla 63. Desempeño de la eficiencia de tratamiento del proceso de desinfección la PTAR de Zaragoza**

|  | DQO   | DBO <sub>5</sub> | NT   | PT   | SST   | GyA  | CF<br>(NMP/100<br>mL) |
|--|-------|------------------|------|------|-------|------|-----------------------|
| <b>Efluente lagunas de maduración (mg/L)</b> | 224.5 | 7                | 49.5 | 5.15 | 47.15 | 11.6 | 4                     |
| <b>Efluente desinfección (mg/L)</b>          | 98.9  | 2                | 46.9 | 5.8  | 26    | 8.8  | 28                    |
| <b>Remoción global (%)</b>                   | 60    | 71.4             | 5    | 0    | 45    | 24   | 0                     |



**Figura 173. Variación de los contaminantes después del proceso de desinfección**

### 3.3.4 Influencia industrial

En el estado de Baja California existen 43 PTAR que tratan descargas municipales y 71 en el sector industrial. Las plantas municipales tienen una capacidad instalada para el tratamiento de 7,827.6 L/s, procesando un caudal de 5,715.1 L/s. Mientras que, para las plantas industriales su operación

es igual a la capacidad instalada de 613 L/s. La PTAR de “Zaragoza” Mexicali trata aguas residuales municipales e industriales, recibiendo descargas provenientes del PBAR 1 y 3 que transporta los efluentes de restaurantes y diversas industrias de Mexicali y descargas provenientes de PBAR 6, 7 y 8 provenientes de zonas residenciales de la ciudad de Mexicali. No se cuenta con información sobre el aporte industrial que llega a la PTAR de Zaragoza.

Se puede inferir que el agua residual que se trata en la PTAR de Zaragoza, tiene aportación industrial, ya que presenta concentraciones de metales como zinc, cobre y mercurio un poco elevadas, además de tener una relación DQO/DBO<sub>5</sub> de los diferentes emisores que llegan al PTAR que van desde 4.4 hasta 6.2, lo que indica que el agua residual es poco biodegradable por lo que puede contener descargas industriales o compuestos tóxicos, que se confirman con los valores altos de toxicidad obtenidos en el influente (mayor a 2 UT).

## 4 DIÁGNOSTICO DE PERSONAL

### 4.1 Recursos Humanos

La PTAR Zaragoza cuenta con una plantilla conformada por diez personas, quienes se encargan de la operación y mantenimiento de la Planta. Esta información corresponde a la obtenida a través del FORMATO 03. RECURSOS HUMANOS que se encuentra en el **¡Error! No se encuentra el rigen de la referencia.**

La plantilla que opera esta PTAR se conforma por un encargado de la PTAR, cinco operadores, dos personas de mantenimiento y 2 laboratoristas.

Se observa que 4 de los 5 operadores tienen más de 10 años de antigüedad laboral, los dos encargados de mantenimiento tienen más de 13 años trabajando en la PTAR y solo uno de los laboratoristas tiene menos de 10 años (5) de antigüedad, lo que refleja una continuidad en el personal que opera la Planta.

Se puede establecer que el personal cuenta con la experiencia suficiente para operar adecuadamente los procesos dentro de la PTAR y que se ha dado una continuidad a la plantilla laboral.

### 4.2 Evaluación de conocimientos

Este apartado es resultado de la aplicación del Formato 04. Evaluación de conocimientos.

Durante la evaluación de conocimiento del personal que opera la PTAR, el personal administrativo y de mantenimiento no presentó la evaluación. Asimismo, no se recibió la evaluación de un laboratorista y un operador.

Los resultados de las evaluaciones recibidas arrojaron:

- Operadores. En general se tiene un conocimiento regular, destacando un buen nivel en el conocimiento de la PTAR y los procesos involucrados y tendiendo a malos conocimientos generales de los procesos y los temas que involucran al tratamiento de aguas residuales. Cabe destacar que se presentó una evaluación con un nivel de conocimientos malos y una con un buen nivel de conocimientos.
- Laboratoristas. Presentan un conocimiento bueno, destacando los conocimientos sobre los procesos involucrados en la PTAR y los conocimientos generales básicos, presentando problemas en los procesos más complejos del tratamiento de aguas residuales.

## **4.3 Capacitación**

### **4.3.1 Cursos de capacitación recibidos**

Los operadores evaluados refirieron haber tomado dos cursos: Manejo de residuos peligrosos y Manejo de gas cloro.

El personal del laboratorio recibió el curso de la escuela del agua de Conagua Operación de PTAR.

Los operadores evaluados no contaban con la información de las fechas de los cursos recibidos ni con las constancias que los acreditaban, en el momento de la evaluación.

### **4.3.2 Temas de capacitación solicitados**

De acuerdo con la información recolectada el personal de la PTAR mencionó algunos cursos de capacitación de su interés, los cuales se desglosan a continuación:

- Los operadores evaluados no solicitaron ningún curso, mientras que el personal de laboratorio solicitó cursos relacionados con Buenas prácticas de laboratorio y Determinación e interpretación de coliformes fecales.
- De acuerdo con las evaluaciones realizadas y al historial de cursos de capacitación que dijeron haber tomado el personal que opera la PTAR se hace evidente la necesidad de implementar un programa de capacitación continua a todo el personal que labora en la planta.

En resumen, es necesario implementar un programa de capacitación continua a todo el personal que labora en la PTAR.

### **4.3.3 Material didáctico entregado**

Para solventar un poco la problemática sobre material para la capacitación continua, se entregó el siguiente material didáctico en la PTAR

- a) Manuales: El contenido de cada uno de ellos se encuentra en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1m9GYeDsYFscSYAuUpRM5B V8VBsYqT-o8?usp=sharing>
- b) Infografías
- c) Manual de ejercicios prácticos

Los Manuales constan de 6 tomos cuyas temáticas son las siguientes (Figura 174).

- Indicadores sensoriales
- Indicadores analíticos
- Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
- Calidad del agua
- Control del proceso
- Seguridad e higiene



**Figura 174. Portada de los manuales**

Se elaboraron 15 infografías con la información de los manuales, las cuales se mencionan a continuación (Figura 91):

- a) Arranque de una PTAR de lodos activados
- b) Higiene y seguridad
- c) Indicadores analíticos A
- d) Indicadores analíticos B
- e) Indicadores sensoriales A
- f) Indicadores sensoriales B
- g) Índice volumétrico de lodos
- h) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-001-SEMARNAT-1996
- i) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-002-SEMARNAT-1996
- j) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-003-SEMARNAT-1997
- k) Parámetros de calidad del agua
- l) Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados
- m) Problemas frecuentes en un sistema de lodos activados
- n) Relación alimento/microorganismos
- o) Sistema mecanizado de tratamiento de aguas residuales

## ARRANQUE DE UNA PTAR DE LODOS ACTIVADOS

**Revisión del equipo electromecánico**

Realizar un listado de todos los equipos electromecánicos por unidad de proceso. Realizar una prueba de arranque y paré, verificando el giro de motores y si es posible amperaje, esto con la finalidad de que no este obstruido o pegado el motor.

**Revisión hidráulica de los tanques**

- Realizar el llenado de las unidades para verificar que no existan fugas o grietas en las paredes.
- El agua será transferida de tanque en tanque.
- Para realizar esta actividad es necesario contar con planos de cada una de las unidades de proceso, para señalar o marcar y describir en estos las fallas que se consideren pertinentes.

**No arrancar si faltan equipos y detalles de construcción**

El arranque de un proceso de lodos activados, se lleva tiempo y deben tenerse ciertos cuidados para lograr su estabilización, así como un buen funcionamiento del proceso. Se recomienda realizarlo en **verano**.

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lodos activado se puede realizar  **bajo dos escenarios, con y sin inoculo**, siendo considerado este último como una situación difícil.

### ARRANQUE SIN INÓCULO

**DÍA 1** Introducir agua residual al reactor biológico hasta un cuarto de su capacidad y arrancar la unidad de aeración. Al no existir microorganismos en el sistema, se generará una gran cantidad de espuma.

**2** Llenar reactor biológico a un 50% y continuar con la aeración.

**3** Llenar reactor biológico a un 75% y continuar con la aeración.

**4** Llenar reactor biológico a un 100% y continuar con la aeración.

**5** Iniciar con un flujo continuo de agua residual a 25% del flujo de diseño. Iniciar operación en el sedimentador secundario con recirculación al 100%. Analizar SST/M y SVSL/M para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras del agua residual cruda y tratada para determinar DBO y SST, para establecer la eficiencia del proceso.

**10** Aumentar el flujo de agua residual al 50%.

**15** Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios, continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**20** Aumentar el flujo de agua residual al 75%.

**25** Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios, continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**30** Aumentar el flujo de agua residual al 100%.

Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios, continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

### ARRANQUE CON INÓCULO

**Calculo de requerimiento de inóculo:**

**Datos:** El reactor biológico tendrá 3 600 m<sup>3</sup> (15 kg/dm<sup>3</sup>) de SST/M y un volumen de 4 354 m<sup>3</sup> El inóculo presente de la recirculación, con una concentración de 8 760 mg/L (8,76 kg/dm<sup>3</sup>).

**Calculos:** Masa requerida = 3,5 kg/dm<sup>3</sup> \* 4 354 m<sup>3</sup> = 15 239 kg Volumen requerido = 15 239 kg / 8,76 kg/dm<sup>3</sup> = 1 739 m<sup>3</sup> se inocula con el 10% = 173,9 m<sup>3</sup> de la práctica como máximo se recomienda no menos del 5%.

**Días:**

**1** Llenar el reactor biológico con agua residual, al mismo tiempo agregar el inóculo, y arrancar la unidad de aeración. Iniciar con un flujo de agua residual del 25%. La recirculación en el sedimentador secundario debe ser del 100%. Monitorear la formación de la espuma y contener su desarrollo. Analizar SST/M y SVSL/M para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras del agua residual cruda y tratada para determinar DBO y SST, y establecer la eficiencia del proceso.

**6** Aumentar el flujo al 50%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**10** Aumentar el flujo al 75%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**15** Aumentar el flujo al 100%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**Es difícil determinar cuándo termina el arranque y cuándo inicia la operación normal.**

- Concentraciones de los parámetros de calidad del agua de efluente.
- Similares durante varios días, tal vez indican una operación normal.
- Disminuyen valores muy variables día de día.
- Parámetros de control de operación muy cercanos a los de diseño.

## HIGIENE Y SEGURIDAD

La higiene y seguridad deben iniciarse por uno mismo y mantenerse para prevenir enfermedades y accidentes en el lugar de trabajo.

### Comité de higiene y seguridad

Las actividades del comité son:

- Realizar inspecciones
- Desarrollar el manual de higiene y seguridad
- Propiciar y supervisar capacitación
- Conducir investigaciones de accidentes y lesiones

La capacitación es importante y sirve de medida preventiva contra accidentes e enfermedades.

### Programas

Los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento:

- Diagnóstico por escrito de higiene y seguridad
- Comités de higiene y seguridad
- Capacitación en higiene y seguridad

### Medidas de higiene

**Hepatitis A**

**Hepatitis B**

**Influenza**

**Sarampión**

**Papera**

**Neumonía**

**Rubéola**

**Tétanos**

**Difteria**

Norma Oficial Mexicana NOM-001-STPS-2001  
Código de práctica personal y subsección, uso y manejo en los centros de trabajo.

**Objetivo:** Establecer los requisitos para la selección, uso y manejo de equipos de protección personal, para proteger a los trabajadores de las agencias del medio ambiente de trabajo que puedan sufrir su salud.

**Propósito:** a) Asegurar a los trabajadores de protección personal que cumple con las siguientes condiciones:  
Que permita la respiración del trabajador con los agentes de riesgo.  
Que en los casos del uso personal.  
Que esté acorde a la naturaleza física de los trabajos.  
Que cuente con las instrucciones, las recomendaciones y los procedimientos del fabricante para su uso, lavado, reparación, limpieza, mantenimiento, almacenamiento y disposición final.

La mejor defensa contra infecciones virales y bacterianas es la observación de prácticas de higiene personal, por lo que se debe:

- Mantener manos y dedos limpios de la nariz, boca, ojos y oídos.
- Usar guantes de hule cuando se limpien bombas o accesorios, se maneje agua residual, vapores, lodos o arena, u otras tareas que impliquen contacto directo con las aguas residuales o lodos.
- Lavarse las manos con jabón, preferentemente con agua caliente, antes de comer o fumar y después de terminar los trabajos.
- Mantener las uñas cortas y remover los materiales extraños o cascos introducidos en las mismas.
- Se recomienda el uso de dos guantes por trabajador, uno para guardar raso de calle y limpiar y para la ropa de trabajo.
- Batirse al finalizar su turno de trabajo.

| Clave y región protectora | Clave y tipo                 | Tipo de riesgo en función de la actividad  |
|---------------------------|------------------------------|--|
| Cabeza                    | Casco contra impacto         | Colocado por el tipo de trabajo que sea susceptible de riesgo contra impactos en la actividad.                                   |
| Ojos y cara               | Goggles de protección        | Se usan de esta manera reduciendo el riesgo de contaminación contra la actividad.  |
| Oídos                     | Tapones auditivos            | Indicaciones contra el riesgo de ruido de acuerdo al nivel de exposición.  |
| Aparato respiratorio      | Respirador contra partículas | Indicaciones contra polvo y partículas en el medio ambiente laboral para mantener un nivel de salud del trabajador.              |
| Extremidades superiores   | Guantes                      | Indicaciones contra el riesgo de lesiones, pinchazos, cortes, quemaduras, etc. Dependiendo del tipo de actividad que se realice. |
| Tronco                    | Overol                       | Indicaciones de la protección en caso de riesgo por líquidos, vapores o aerosoles de acuerdo a la actividad que se realice.      |
| Extremidades inferiores   | Botas                        | Indicaciones de la protección en caso de riesgo por la presencia de gases, vapores, etc.   |

## INDICADORES ANALÍTICOS

**Empleados para:**

- Monitorrear el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

### DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

- Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (degradar) la materia orgánica.
- Es la materia orgánica biodegradable (BOD) que entra y sale de la PTAR.
- El porcentaje de DBO-5 que indica que la PTAR opera bien.
- El porcentaje de DBO-5 que indican problemas en la PTAR.
- Dado así en un balance entre la cantidad de alimento que entra y los microorganismos presentes en el reactor biológico.

### FLUJO DE AGUA

- El operador tiene el control de la cantidad de agua que ingresa a la PTAR.
- Se emplea para el control del proceso, para evitar que se genere un exceso de agua, lo que genera un exceso de recirculación y purga de lodos y clarificación de productos químicos.
- Comer con un "flow" para caudales mayores al de diseño.
- Se debe contar con un equipo medidor de gasto continuo.

### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

- Es la cantidad de oxígeno que se requieren para oxidar la materia orgánica por medios químicos.
- La relación DBO/DQO se obtiene monitoreando los dos parámetros durante un largo periodo de tiempo para establecer su tendencia o comportamiento.
- Con esta relación y determinando la DQO se calcula la DBO, considerando como días de separación (DS) el tiempo que tarda el DBO/DQO-5 en oxidarse en un reactor biológico.
- DS = DBO/DQO-5 indica descarga industrial biodegradable.
- DS = DBO/DQO-5 indica descarga urbana biodegradable.
- Tratamiento biológico.

### NUTRIENTES

- Los microorganismos requieren especialmente NITRÓGENO y FOSFÓFORO para su desarrollo.
- En las aguas residuales urbanas existen en cantidad suficiente para los microorganismos.
- En influencias industriales, en algunas cases, se requiere su adición para su tratamiento por medios biológicos.

### GRASAS Y ACEITES

- En vueless a los microorganismos, interfiriendo con la transferencia de materia orgánica soluble a través de su pared celular, por lo cual mueren por falta de alimento.
- Cuando se encuentran en altas concentraciones (100 y 500 mg/l), se adhieren a las lodos a la superficie del sedimentador secundario.
- Cuando se encuentran en altas concentraciones (100 y 500 mg/l), se presenta aglomeración de lodos en el reactor biológico, lo que ocasiona pérdida de SV y una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica.

### TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

Tiempo que permanece cierta cantidad de agua en un tanque. En el tanque de aereación los microorganismos necesitan tiempo de retención para comer y digerir la materia orgánica soluble.

| Unidad                  | Mayor   | Menor   |
|-------------------------|---|---|
| Reactor biológico       | Mayor tiempo de aereación. Genera producción de metano. | Baja eficiencia de transferencia de O <sub>2</sub> .                  |
| Sedimentador secundario | Desbordamiento. Análisis SST en el efluente.            | El lodo no tiene tiempo de asentamiento. Análisis SST en el efluente. |

## INDICADORES ANALÍTICOS

**Empleados para:**

- Monitorrear el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

### TEMPERATURA

Rango óptimo para la actividad bacteriana aerobia: 25 - 32°C

| Actividad de microorganismos | Alta      | Baja         |
|------------------------------|-----------|--------------|
| Desbordamiento               | Nada      | Lento        |
| SST en sedimentador          | Distintos | Inhomogéneos |

El aire de un soplador puede incrementar la temperatura del agua hasta en 2°C. Debido a que puedes salir alrededor de los 100°C.

### pH

Rango óptimo para mantener la actividad y el desarrollo de los microorganismos aerobios: 6.0 - 8.5 unidades. Por arriba de 9.0 unidades de pH, se reduce la población biológica.

En un proceso que nitrifica se espera un descenso de pH 0.2 a 0.3 unidades, entre el agua de entrada y la de salida.

| Actividad de microorganismos                      | Alta               | Baja |
|---|--------------------|------|
| Desbordamiento <td>Alta <td>Baja</td> </td>       | Alta <td>Baja</td> | Baja |
| Producción de metano <td>Baja <td>Alta</td> </td> | Baja <td>Alta</td> | Alta |

### OXÍGENO DISUELTUO (OD)

De 1 a 2 mg/L, OD residual satisficen el ingreso de una carga orgánica alta.

- La falta de un OD residual, inhibe la actividad microbiana y disminuye la remoción de oxígeno.
- Un OD residual mayor a 5 mg/L, afecta negativamente los sedimentadores secundarios, ya que la mezcla rompe los flocos, esta situación disminuye aereación y flujo.

### CONSUMO DE OXÍGENO

Permite conocer la actividad microbiana en el reactor biológico al medir la velocidad de consumo de oxígeno.

- Actividad microbiana alta o ingreso una alta carga orgánica o hay demasiados microorganismos.
- Comportamiento ideal, consumo en las primeras minutos alto, pero con el tiempo se estabiliza y si llegar a un valor de cero.
- Consumo de oxígeno lento y rápidamente se hace sintético, denota presencia de pocos microorganismos, o una toxicidad química que limita su respiración.
- Si no existe consumo de oxígeno, la actividad microbiana es nula, indica que ocurrió una toxicidad aguda.

### SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y VOLÁTILES

- Los SST se emplean para los ajustes de recirculación y de purga de lodos.
- Los SV indican indirectamente la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de aereación. Los SV se emplean para calcular la relación alimento/microorganismos (A/M) y el tiempo medio de retención celular (TMC).

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Material flotante

- Indicador de altas concentraciones de grasas y aceites.
- Interfiere con la sedimentación y puede causar bajas eficiencias de remoción de DBO.

### Acumulación de sólidos

- Su origen se debe a una operación ineficiente del desarenador o del sedimentador primario o secundario.
- Reduce el volumen efectivo de las unidades de proceso afectando su eficiencia.
- Generan zonas anaerobias que provocan problemas de sedimentación y mal olor.

### Traectoria de flujos

- La observación de la trayectoria del flujo se utiliza para detectar cortocircuitos.
- Los cortocircuitos son visibles al observar el movimiento de la espuma, sólidos suspendidos o materia flotante.
- Problema: reducción de tiempo de retención hidráulico, generando operación inadecuada.

### Mezcla y turbulencia

- Un tanque bien mezclado presenta uniformidad de concentraciones en todo su volumen.
- Indicadores de mezclado en el reactor biológico: Formación de depósitos de lodos en las esquinas. Zonas con concentraciones de O<sub>2</sub> de cero. Diferencia de concentraciones entre zonas en O<sub>2</sub> de 0.5.
- Turbulencias no uniformes o de baja turbulencia pueden ser causadas por:
  - Difusores obstruidos.
  - Difusores dañados.
  - Exceso de aereación.

### Burbujeo

- En el sedimentador secundario indican que el lodo tiene mucho tiempo de reedición (desnitrificación) se debe incrementar la recirculación de lodo.
- En canales, desarenadores y tanque de contacto de cloración limpia del efluente se presenta acumulación de sólidos y condiciones anaerobias, que generan burbujas y arrastre de sólidos.

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Color

- Lodo activado aerado en buenas condiciones: Color café lactado.
- Es un Indicativo del estado de salud del lodo.
- Las condiciones de alimento proporcionan diferentes tonalidades.
- Las condiciones ambientales le dan diferente tono de color café.

| Color         | Edad adecuada  |
|---------------|----------------|
| Café azulado  | Lodo joven     |
| Café claro    | Lodo maduro    |
| Café oscuro   | Lodo sobrecido |
| Griseso-negro | Lodo anaerobio |

### Olor

- Una PTAR bien operada no genera malos olores.
- Un proceso de lodos activados saludable tiene un ligero olor a humedad (tierra mojada).
- Un lodo séptico, cambia su color a oscuro y el olor es similar al del huevo podrido.

### Tacto

- Una temperatura o vibración excesiva en equipos electrónicos y tuberías advierten un mal funcionamiento.

### Algas

- Su crecimiento en las paredes de los tanques o en las cañanetas recolectoras indica que altos niveles de nutrientes.

### Turbiedad del efluente

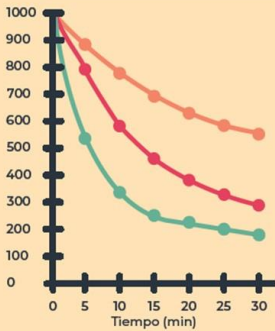
- Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario o en el tanque de contacto de cloro indican un mal funcionamiento de la PTAR.

### Espuma

- Color café oscuro: Se puede presentar en el reactor biológico y en el sedimentador secundario y se debe a un alto contenido de grasas y aceites que encapsulan a los microorganismos y los flocos.
- Color café claro: Los niveles de sólidos no son adecuados, se joven.
- Color blanco: En tanque de regulación, reactor biológico y afluente alta concentración de detergentes. Es una condición específica del arranque de una planta. Se presenta en flujos intermitentes por las manchas y por mayor impacto en invierno, debido a que la temperatura afecta la actividad metabólica de los microorganismos y no degradan los detergentes.

# ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)

- IVL (mL/g) = Volumen de lodos sedimentados (mL/L) / concentración de SSTLM (g/L)
- El volumen de lodos sedimentados se determina en una probeta de 1 L después de 30 minutos
- Los valores de IVL están comprendidos dentro del intervalo 150 a 35 mL/g



**Demasiado joven**

- Aumentar la recirculación
- Eliminar la purga

**Edad adecuada**

**Demasiado viejo**

- Reducir al mínimo la recirculación
- Aumentar la purga

- Se registra el volumen del lodo cada 5 minutos
- Los datos se graficarán para obtener una curva de sedimentabilidad, que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el reactor biológico.
- Durante la prueba se podrá apreciar la forma del floculo, su color y olor
- El aspecto final de la prueba da una idea de lo que se espera en el sedimentador secundario
- La información de esta prueba ayudará a conocer el comportamiento del sistema y a detectar problemas operacionales

## NORMATIVA MEXICANA DE AGUA RESIDUA

**NOM-001-SEMARNAT-1996**

« Que establezca los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. »  
« Con el objeto de proteger su calidad y posibilitar su uso, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. »

| PARÁMETROS                                    | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS |                        |                                   |                           |                        |  |                |               |                           |                        |  |                           | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANURO |                                  |                           |                        |  |                |                 |     |                |  |  |  |
|---|--|------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------|--|----------------|---------------|---------------------------|------------------------|--|---------------------------|--|----------------------------------|---------------------------|------------------------|--|----------------|-----------------|-----|----------------|--|--|--|
|   | RIOS   |                        | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES |                           |                        |  | AGUAS COSTERAS |               |                           |                        | SUELO  |                           | PARÁMETROS (*)   |                                  | RIOS                      |                        | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES                  |                |                 |     | AGUAS COSTERAS |  |  |  |
|   | Uso en riego agrícola (A)                              | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C)   | Uso en riego agrícola (B) | Uso público urbano (C) | Explicación, pastoreo, recreación y otros usos (A) | Recreación (B) | Costumbre (C) | Uso en riego agrícola (A) | Inundación natural (B) | Peligrosos por fire, explosión cuando se incendian (A) | Uso en riego agrícola (A) | Uso público urbano (B)                                     | Interacción de vida acuática (C) | Uso en riego agrícola (B) | Uso público urbano (C) | Explicación, pastoreo, recreación y otros usos (A) | Recreación (B) | Cuaternario (B) |     |                |  |  |  |
|   | PM   | PD                     | PM                                | PD                        | PM                     | PD   | PM             | PD            | PM                        | PD                     | PM   | PD                        | PM   | PD                               | PM                        | PD                     | PM   | PD             | PM              | PD  |                |  |  |  |
| Amalgama por fire, resaca cuando se incendian | NA   | NA                     | NA                                | NA                        | NA                     | NA   | NA             | NA            | NA                        | NA                     | NA   | NA                        | NA   | NA                               | NA                        | NA                     | NA   | NA             | NA              | NA  |                |  |  |  |
| Arqueología                                   | NA   | NA                     | NA                                | NA                        | NA                     | NA   | NA             | NA            | NA                        | NA                     | NA   | NA                        | NA   | NA                               | NA                        | NA                     | NA   | NA             | NA              | NA  |                |  |  |  |
| Asbestoso                                     | 0.3  | 0.4                    | 0.1                               | 0.1                       | 0.1                    | 0.2  | 0.3            | 0.4           | 0.1                       | 0.1                    | 0.1  | 0.1                       | 0.1  | 0.1                              | 0.1                       | 0.1                    | 0.1  | 0.1            | 0.2             | 0.4 |                |  |  |  |
| Cadmio  | 0.2  | 0.4                    | 0.1                               | 0.1                       | 0.1                    | 0.2  | 0.3            | 0.4           | 0.1                       | 0.1                    | 0.1  | 0.1                       | 0.1  | 0.1                              | 0.1                       | 0.1                    | 0.1  | 0.1            | 0.2             | 0.4 |                |  |  |  |
| Cianuro                                       | 10   | 30                     | 10                                | 20                        | 10                     | 20   | 20             | 30            | 10                        | 20                     | 10   | 20                        | 10   | 20                               | 10                        | 20                     | 10   | 20             | 30              | 10  |                |  |  |  |
| Cobre   | 4.0  | 6.0                    | 4.0                               | 6.0                       | 4.0                    | 6.0  | 4.0            | 6.0           | 4.0                       | 6.0                    | 4.0  | 6.0                       | 4.0  | 6.0                              | 4.0                       | 6.0                    | 4.0  | 6.0            | 4.0             | 6.0 |                |  |  |  |
| Cromo   | 10   | 15                     | 0.5                               | 1.0                       | 0.5                    | 1.0  | 10             | 15            | 0.5                       | 1.0                    | 0.5  | 1.0                       | 0.5  | 1.0                              | 0.5                       | 1.0                    | 15   | 15             | 0.5             | 1.0 |                |  |  |  |
| Fluoruro                                      | 10   | 100                    | 10                                | 100                       | 10                     | 100  | 10             | 100           | 10                        | 100                    | 10   | 100                       | 10   | 100                              | 10                        | 100                    | 10   | 100            | 10              | 100 |                |  |  |  |
| Hierro  | 10   | 100                    | 10                                | 100                       | 10                     | 100  | 10             | 100           | 10                        | 100                    | 10   | 100                       | 10   | 100                              | 10                        | 100                    | 10   | 100            | 10              | 100 |                |  |  |  |
| Manganeso                                     | 2  | 4                      | 2                                 | 4                         | 2                      | 4  | 2              | 4             | 2                         | 4                      | 2  | 4                         | 2  | 4                                | 2                         | 4                      | 2  | 4              | 2               | 4   |                |  |  |  |
| Mercurio                                      | 0.5  | 1                      | 0.2                               | 0.4                       | 0.2                    | 0.4  | 0.5            | 1             | 0.2                       | 0.4                    | 0.2  | 0.4                       | 0.5  | 1                                | 0.2                       | 0.4                    | 0.5  | 1              | 0.2             | 0.4 |                |  |  |  |
| Níquel  | 10   | 20                     | 10                                | 20                        | 10                     | 20   | 10             | 20            | 10                        | 20                     | 10   | 20                        | 10   | 20                               | 10                        | 20                     | 10   | 20             | 10              | 20  |                |  |  |  |
| Plomo   | 0.5  | 1                      | 0.2                               | 0.4                       | 0.2                    | 0.4  | 0.5            | 1             | 0.2                       | 0.4                    | 0.2  | 0.4                       | 0.5  | 1                                | 0.2                       | 0.4                    | 0.5  | 1              | 0.2             | 0.4 |                |  |  |  |
| Zinc  | 10   | 20                     | 10                                | 20                        | 10                     | 20   | 10             | 20            | 10                        | 20                     | 10   | 20                        | 10   | 20                               | 10                        | 20                     | 10   | 20             | 10              | 20  |                |  |  |  |

\*) Para determinar la contaminación por parámetros Cianuros, Fósforo, LMP para descargas a aguas y bienes nacionales y para las vertidas al suelo (riego agrícola):  
\*) H.H. para riego no restringido (CUALQUIER CULTIVO)  
\*) S.H. para riego restringido (excepto leguminosas y verduras que se consumen crudas)



## NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

NOM-002-SEMARNAT-1996

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal

• Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 42°C.  
Los límites máximos permisibles para los parámetros DBO y SST, son los establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.



### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

| Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | Promedio mensual | Promedio diario | Instantáneo |
|---|------------------|-----------------|-------------|
| Grasas y aceites  | 50               | 75              | 100         |
| Sólidos sedimentables (mililitros por litro)                          | 5                | 7.5             | 10          |
| Arsénico total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cadmio total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cianuro total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Cobre total   | 10               | 15              | 20          |
| Cromo hexavalente   | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Mercurio total  | 0.01             | 0.015           | 0.02        |
| Níquel total  | 4                | 6               | 8           |
| Plomo total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Zinc total  | 6                | 9               | 12          |

## NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

NOM-003-SEMARNAT-1997

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público

• Con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.

### REUSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO

Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. Se consideran los siguientes reusos:



### REUSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO O OCASIONAL

Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. Se consideran los siguientes reusos:



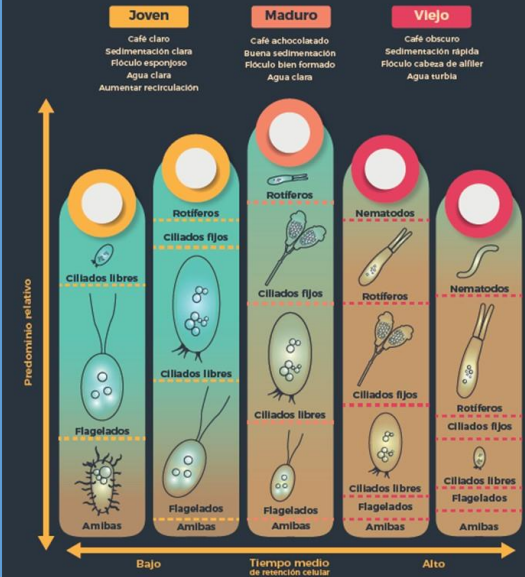
| TIPO DE REUSO   | PROMEDIO MENSUAL               |                            |                         |                         |            |
|---|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
|   | Coliformes Fecales (MPN/100ml) | Huevos de Helminthos (P/E) | Grasas y aceites (mg/l) | DBO <sub>5</sub> (mg/l) | SST (mg/l) |
| Servicios al público con contacto directo               | 340                            | ≤ 1                        | 15                      | 20                      | 20         |
| Servicios al público con contacto indirecto u ocasional | 1,000                          | ≤ 5                        | 15                      | 30                      | 30         |

• La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada.  
• El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

## PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

| PARÁMETRO                      | ABREVIACIÓN  | IMPORTANCIA   |
|--------------------------------|--|---|
| Sólidos totales                | ST   | Para evaluar el uso potencial de un agua residual y residual también se determina el cual es el tipo de operación/proceso para su tratamiento.  |
| Sólidos volátiles totales      | SVT  |   |
| Sólidos fijos totales          | SFT  |   |
| Sólidos suspendidos totales    | SST  |   |
| Sólidos suspendidos volátiles  | SSV  |   |
| Sólidos suspendidos fijos      | SSF  | Su determinación es por gravedad por un periodo específico de tiempo.   |
| Sólidos disueltos totales      | SDT  |   |
| Sólidos disueltos volátiles    | SDV  | Usado para evaluar la calidad del agua residual tratada.  |
| Sólidos sedimentables          | SSed   |   |
| Turbiedad                      |  | Para evaluar las condiciones de agua.   |
| Color                          |  |   |
| Olor                           |  | Para determinar si el olor puede ser un problema. Es importante en el diseño y operación de procesos de tratamiento biológico.  |
| Temperatura                    |  |   |
| Conductividad                  | CE   | Empleado para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.   |
| Amoníaco libre                 | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>   |   |
| Nitrógeno orgánico             | NOrg   | Empleados como una medida de nutrientes presentes y del grado de descomposición en el agua residual. Las formas oxidadas pueden ser tomadas como una medida del grado de oxidación.   |
| Nitrógeno total Kjeldahl       | NTK  |   |
| Nitritos                       | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>   |   |
| Nitrosos                       | NO <sub>x</sub>  |   |
| Nitrógeno total                | NT   |   |
| Fósforo inorgánico             | P Inorg  | Importante para el desarrollo de los microorganismos en un proceso de tratamiento biológico.  |
| Fósforo total                  | PT   |   |
| Fósforo orgánico               | P Org  | Una medida de la capacidad de amortiguamiento del agua en un proceso de tratamiento.  |
| pH                             |  |   |
| Alcalinidad                    |  | Empleado para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.   |
| Cloruro                        | Cl <sup>-</sup>  |   |
| Sulfato                        | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>  | Para evaluar la potencialidad de generar olores y su impacto en el tratamiento de lodos residuales.   |
| Metales                        | Ag, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Mn, Ni, Zn, H <sub>2</sub> , H <sub>3</sub> , H <sub>4</sub> , H <sub>5</sub> , H <sub>6</sub> , H <sub>7</sub> , H <sub>8</sub> , H <sub>9</sub> , H <sub>10</sub> , H <sub>11</sub> , H <sub>12</sub> , H <sub>13</sub> , H <sub>14</sub> , H <sub>15</sub> , H <sub>16</sub> , H <sub>17</sub> , H <sub>18</sub> , H <sub>19</sub> , H <sub>20</sub> , H <sub>21</sub> , H <sub>22</sub> , H <sub>23</sub> , H <sub>24</sub> , H <sub>25</sub> , H <sub>26</sub> , H <sub>27</sub> , H <sub>28</sub> , H <sub>29</sub> , H <sub>30</sub> , H <sub>31</sub> , H <sub>32</sub> , H <sub>33</sub> , H <sub>34</sub> , H <sub>35</sub> , H <sub>36</sub> , H <sub>37</sub> , H <sub>38</sub> , H <sub>39</sub> , H <sub>40</sub> , H <sub>41</sub> , H <sub>42</sub> , H <sub>43</sub> , H <sub>44</sub> , H <sub>45</sub> , H <sub>46</sub> , H <sub>47</sub> , H <sub>48</sub> , H <sub>49</sub> , H <sub>50</sub> , H <sub>51</sub> , H <sub>52</sub> , H <sub>53</sub> , H <sub>54</sub> , H <sub>55</sub> , H <sub>56</sub> , H <sub>57</sub> , H <sub>58</sub> , H <sub>59</sub> , H <sub>60</sub> , H <sub>61</sub> , H <sub>62</sub> , H <sub>63</sub> , H <sub>64</sub> , H <sub>65</sub> , H <sub>66</sub> , H <sub>67</sub> , H <sub>68</sub> , H <sub>69</sub> , H <sub>70</sub> , H <sub>71</sub> , H <sub>72</sub> , H <sub>73</sub> , H <sub>74</sub> , H <sub>75</sub> , H <sub>76</sub> , H <sub>77</sub> , H <sub>78</sub> , H <sub>79</sub> , H <sub>80</sub> , H <sub>81</sub> , H <sub>82</sub> , H <sub>83</sub> , H <sub>84</sub> , H <sub>85</sub> , H <sub>86</sub> , H <sub>87</sub> , H <sub>88</sub> , H <sub>89</sub> , H <sub>90</sub> , H <sub>91</sub> , H <sub>92</sub> , H <sub>93</sub> , H <sub>94</sub> , H <sub>95</sub> , H <sub>96</sub> , H <sub>97</sub> , H <sub>98</sub> , H <sub>99</sub> , H <sub>100</sub> |   |
| Demanda bioquímica de oxígeno  | DBO  | Cantidad de oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica biodegradable.   |
| Demanda química de oxígeno     | DQO  |   |
| Carbón orgánico total          | COT  | A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO.  |
| Toxicidad                      |  |   |
| Compuestos orgánicos volátiles | COV  | Toxicidad aguda crónica ocasionada por presencia de metales o COV.  |
| Organismos coliformes          | CT, CF   |   |
| Microorganismos específicos    | Bacterias, protozoarios, helmintos, virus  | Para determinar la presencia de compuestos orgánicos específicos y evaluar si se requieren medidas especiales de diseño para su remoción.<br>Para evaluar la presencia de bacterias patógenas y la efectividad del proceso de desinfección.<br>Evaluación de la presencia de organismos específicos en un proceso de tratamiento biológico. |

## Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados





### SISTEMA MECANIZADO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

MEDIO AMBIENTE

IMTA

Figura 175. Infografías

En el caso del Manual de ejercicios prácticos, en este manual (Figura 176) se presentan una serie de ejercicios prácticos que están clasificados por

niveles, de tal manera que el operador podrá resolverlos inicialmente por el mismo y posteriormente la complejidad de los ejercicios le requerirá hacer uso de materiales de apoyo, o recurrir a sus colegas para dar una solución adecuada, y finalmente en un nivel más superior para poder resolver el ejercicio tendrá que recurrir a la ayuda del instructor.

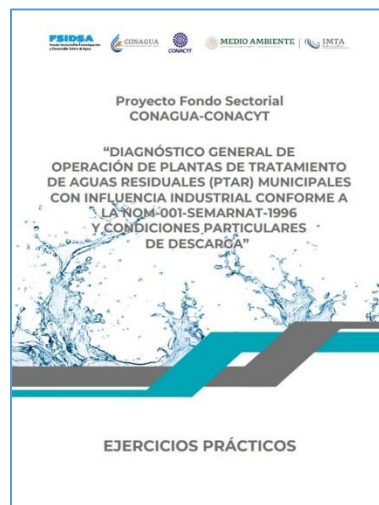
Para la ejecución de estos ejercicios se hará uso de:

- Preguntas de opción múltiple
- Preguntas directas
- Presentación de problemas operacionales
- Preguntas de reflexión, con problemas que desde un punto de vista pueden presentar múltiples interacciones entre los procesos

Estos ejercicios están relacionados a su vez con conocimientos generales, teóricos y prácticos de la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con un proceso de lodos activados.

Por lo anterior, lo que pretende este manual es que el operador al final cuente con los conocimientos que le permita discernir los niveles de problemas operacionales que se pueden presentar en una PTAR y a su vez tener una herramienta que le permita jerarquizarlos para obtener la mejor y correcta solución.

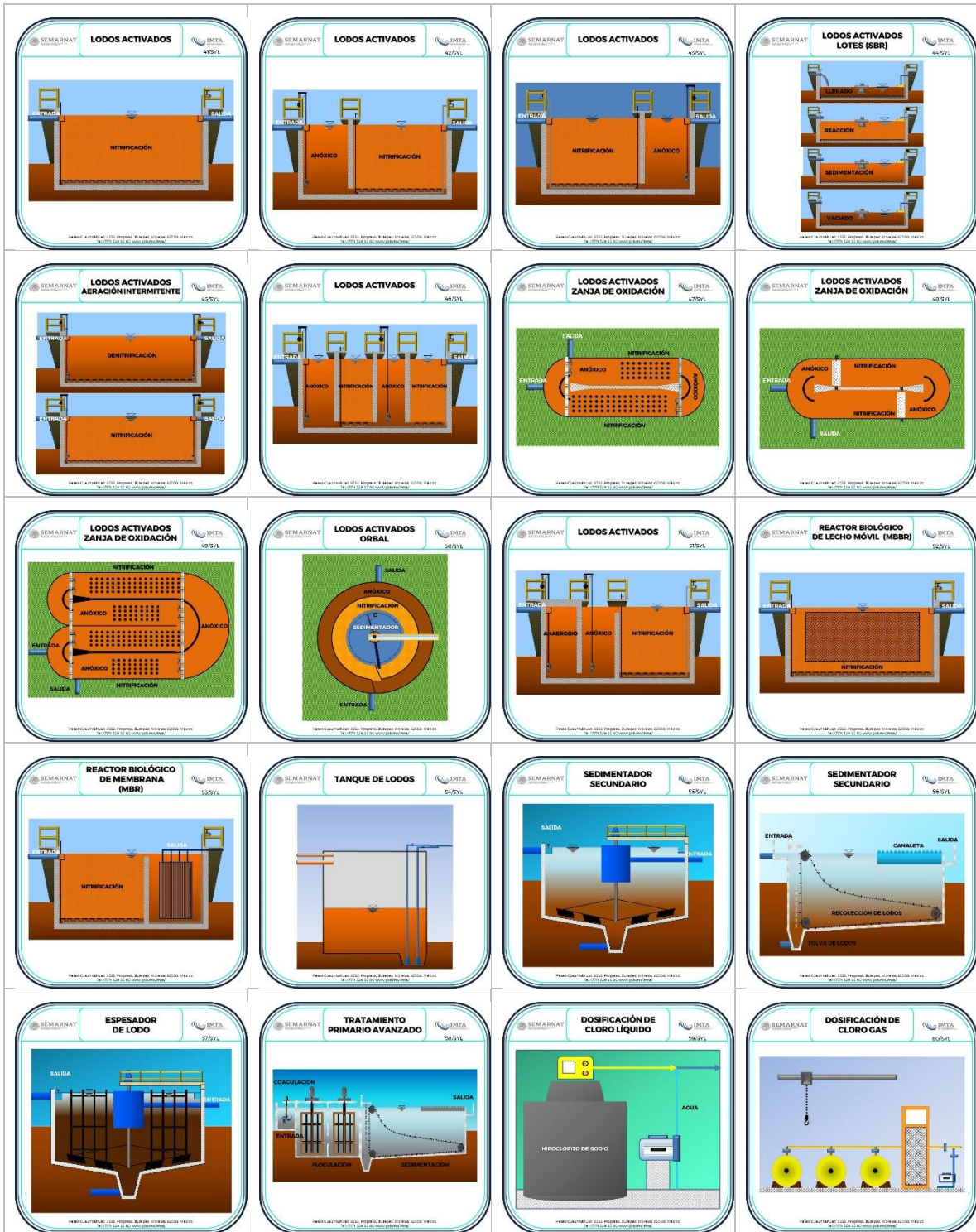
Este manual va acompañado de un kit de imágenes (Figura 177) que representan todos los posibles procesos que pueden estar presentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.

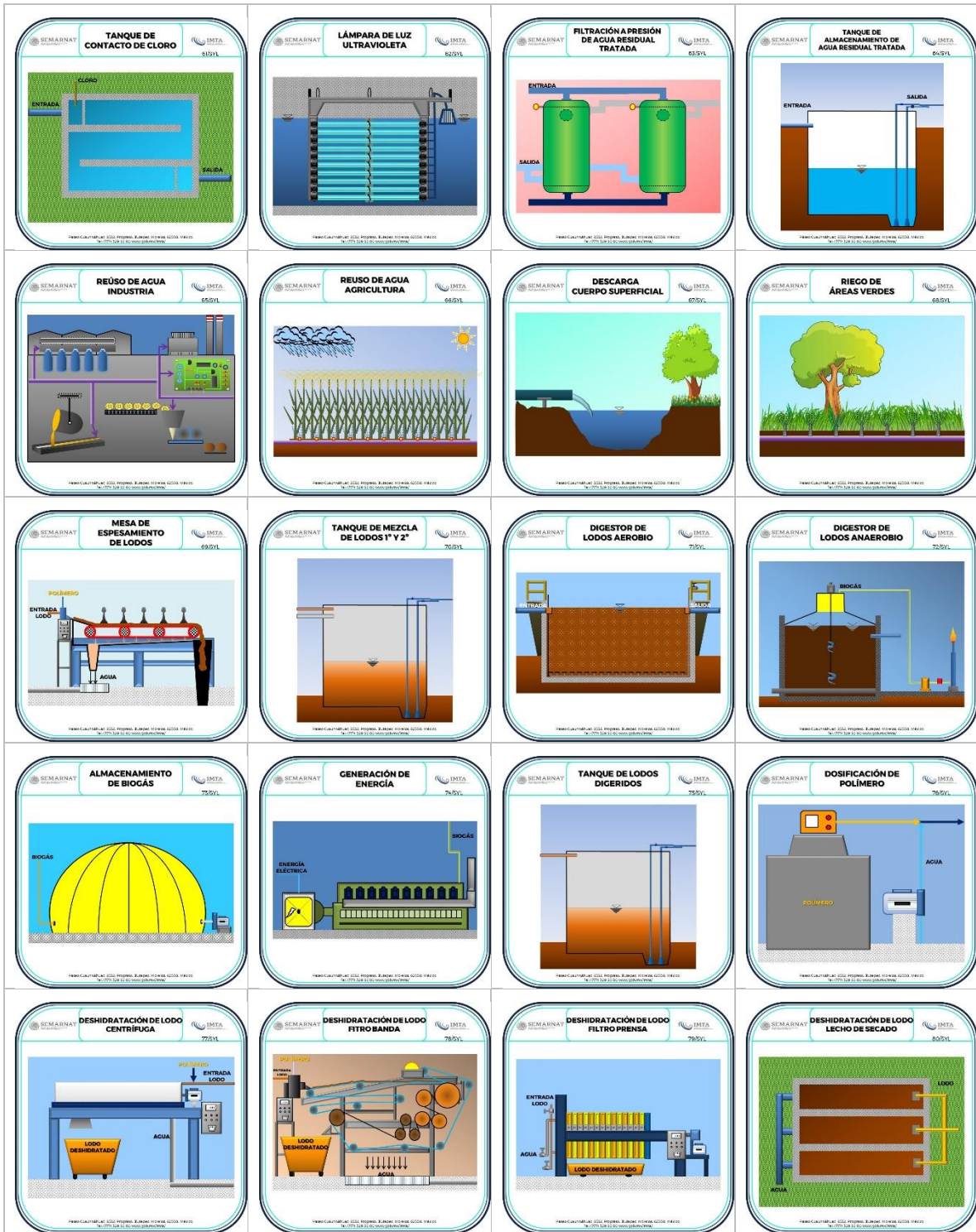


**Figura 176. Manual de ejercicios prácticos**











**Figura 177. Kit de figuras**



## 5 SEGURIDAD E HIGIENE

El responsable de la seguridad e higiene en la PTAR Zaragoza es el encargado de la planta, Jesús Alfredo López Villegas, quien colaboró en el llenado del formato aplicado para la recolección de la información.

En la información recopilada en el formato mencionado se observa que la Planta cuenta con un estudio de análisis de riesgo y se tienen identificados los diversos riesgos que se tienen dentro de las instalaciones, incluyendo riesgos por desastres naturales, disturbios y vandalismo, derrames, riesgo sanitario y químico. Asimismo, se cuenta con un plan de contingencia para la atención de los riesgos identificados.

En este sentido, se recomienda implementar un procedimiento de contingencia en caso de tormentas eléctricas y para la atención de explosiones, a pesar de presentar un riesgo bajo de ocurrencia de dichos fenómenos.

Durante la visita de diagnóstico realizada a la Planta se verificó que se cuenta con los teléfonos de emergencia en lugares visibles de las instalaciones, se cuenta con disposiciones de seguridad e higiene para trabajadores y visitantes, así como con equipo de protección personal y para atención de emergencias (Figura 94).



**Figura 178. Equipo de protección personal y atención de emergencias**

El equipo de protección personal utilizado en la planta consta de botas de trabajo, pantalón de mezclilla, camisa de manga larga, chaleco de seguridad y casco de protección. Sin embargo, las actividades que se realizan durante la operación y mantenimiento requieren de equipo de protección personal específico, que se menciona a continuación:

- Extracción de sólidos en rejillas manuales y mecanizadas; se realiza una vez por turno, como equipo de protección se utilizan guantes, chaleco de seguridad y casco. Adicionalmente, se exige el lavado de manos después de realizar las actividades.
- Extracción de arenas del desarenador; se realiza una vez por turno, como equipo de protección se utilizan guantes, chaleco de seguridad y casco. Adicionalmente, se exige el lavado de manos después de realizar las actividades.
- Medición de parámetros en los sistemas biológicos; se realiza una vez al día, como equipo de protección se utilizan guantes, chaleco de seguridad y casco. Adicionalmente, se exige el lavado de manos y fumigación (desinfección mediante aspersión con solución desinfectante) después de realizar las actividades.
- Mantenimiento y limpieza de agitadores en los sistemas biológicos; se realiza cada que se presentan fallas en el sistema, esta actividad es realizada por el personal de mantenimiento, como equipo de protección se utilizan guantes, chaleco de seguridad y casco. Adicionalmente, se exige el lavado de manos después de realizar las actividades.
- Control de tableros eléctricos; se realiza cuando es requerido. El equipo de protección personal que se utiliza durante las actividades mencionadas es: guantes, chaleco de seguridad y casco. Adicionalmente, se exige el lavado de manos después de realizar las actividades.
- Análisis de laboratorio; se realizan diariamente. El equipo de protección personal utilizado es bata de algodón, guantes, lentes de seguridad.

También, se verificó la existencia de brigadas de evacuación, primeros auxilios, prevención y combate de incendio, búsqueda y rescate, así como una brigada multifuncional y una encargada del manejo del equipo de seguridad, como la camilla, los trajes especiales, etc.

Respecto a los riesgos generales a los que se encuentra expuesto el personal que labora en la Planta, se tienen identificados los riesgos infecciosos, daños físicos, exposición a agentes químicos, gases y vapores tóxicos y descargas eléctricas, además de contar con medidas preventivas para cada uno de estos.

Se recomienda implementar medidas preventivas para el riesgo generado por fuego proveniente del almacenamiento inadecuado de materiales y químicos cercanos a una fuente de ignición.

## 6 LABORATORIO

La PTAR cuenta con un laboratorio de análisis (Figura 179) utilizado para tener un control interno de parámetros que sirven para monitorear el funcionamiento de la planta. El laboratorio cuenta con dos personas que trabajan como analistas, los cuales realizan muestreo y análisis mensuales de DQO, DBO<sub>5</sub>, SST y Coliformes Fecales.

El laboratorio y el personal que labora en este no cuentan con acreditación. Sin embargo, reciben capacitación bi anual.



**Figura 179. Laboratorio de análisis**

El laboratorio se encuentra limpio y ordenado, cuenta con instalaciones, equipos, cristalería y materiales adecuados para su operación. Asimismo, se constató que se cuenta con manual de procedimientos, manual de análisis y manuales de equipos. Sin embargo, es necesario que se implemente un manual de buenas prácticas de laboratorio, bitácora de uso y mantenimiento de equipos, así como de una carpeta que conjunte las hojas de datos de seguridad de los reactivos utilizados en el laboratorio.

La infraestructura del laboratorio cuenta con mesas de trabajo de acero inoxidable, vitrinas y cajones para almacenamiento de materiales, anaquel de acero inoxidable para almacenamiento de reactivos, refrigerador, campana de extracción, horno, incubadoras, bomba de vacío y autoclave. Estos equipos se encuentran en buenas condiciones.

Los equipos de laboratorio que se revisaron en el laboratorio (Figura 180) son:

- Balanza analítica
- Balanza granataria
- Medidor de oxígeno disuelto
- Medidor de pH y temperatura
- Medidor de conductividad eléctrica
- Espectrofotómetro

- Termorreactor
- Micropipetas

Los equipos mencionados cuentan con bitácoras de calibración y mantenimiento que muestran un adecuado manejo. Además, se encuentran en muy buenas condiciones físicas y funcionales.



**Figura 180. Equipos de laboratorio**

Respecto a la seguridad en el laboratorio, se tienen señalizaciones y ruta de evacuación identificada. Asimismo, se cuenta con el equipo de protección personal necesario, extintor y botiquín de primeros auxilios.

Se recomienda implementar un procedimiento de atención de emergencias que incluya la atención de incendios, derrames ocasionados por los productos utilizados en el laboratorio, así como primeros auxilios. También, se recomienda implementar un sistema de organización de reactivos por colores (SAF-T-DATA).

En resumen, se cuenta con un laboratorio en buenas condiciones, con los equipos, materiales, medidas de seguridad adecuados, así como personal suficiente para desarrollar las tareas requeridas en la Planta.

## 7 CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR

### 7.1 Causas

Para poder ponderar las causas que influyen de manera negativa en el desempeño de la PTAR, se hace uso de una clasificación que consta de tres niveles de impacto, a saber:

#### Nivel I

Son los que presentan un mayor efecto y con problemas físicos difíciles de resolver de las unidades de proceso más importantes.

#### Nivel II

Son los que contribuyen rutinariamente al bajo desempeño o producen mayores efectos en una base periódica o estacional.

#### Nivel III

Son los que presentan mínimos efectos, fáciles y económicos de resolver, Normalmente de operación y administración.

Así, tomando como base la información obtenida de los capítulos anteriores, y la clasificación de las causas que influyen en el desempeño de la PTAR, se elabora la Tabla 64.

**Tabla 64. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR**

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño  | Atención      |
|-----|-------|--|---------------|
| 1   | I     | Acumulación de lodos y arenas en las lagunas parcialmente aireadas, lagunas de sedimentación y lagunas de maduración | Corto plazo   |
| 2   |       | Falta de mamparas en las lagunas parcialmente aireadas   | Corto plazo   |
| 3   |       | Aireadores superficiales en mal estado   | Mediano plazo |
| 4   |       | Desarenadores tipo vórtice fuera de operación  | Corto plazo   |
| 1   | II    | No hay bordes y taludes en las lagunas de maduración   | Largo plazo   |
| 2   |       | Bordes y taludes de las lagunas parcialmente aireadas con presencia de malezas, arenas y piedras de gran tamaño      | Corto plazo   |

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño   | Atención      |
|-----|-------|---|---------------|
| 3   |       | Geomembranas en mal estado  | Mediano plazo |
| 1   | III   | Formación de malezas en las lagunas parcialmente aireadas, lagunas de sedimentación y lagunas de maduración | Mediano plazo |
| 2   |       | Tratamiento terciario en mal estado   | Largo plazo   |
| 3   |       | Capacitación al personal de operación y de laboratorio  | Corto plazo   |

## 7.2 Descripción de la causa y recomendaciones

### 7.2.1 Nivel I

| Causa   | Recomendación  |
|---|--|
| <p><b>1. Acumulación de lodos y arenas en las lagunas parcialmente aireadas, lagunas de sedimentación y lagunas de maduración</b></p> <p>La mayor remoción de los contaminantes se lleva a cabo en las lagunas parcialmente aireadas seguida por las lagunas de sedimentación y por las lagunas de maduración. Todo el sistema lagunar se encuentra saturadas de arenas y lodos principalmente las lagunas parcialmente aireadas y las lagunas de sedimentación. Esta causa reduce considerablemente el volumen útil de las lagunas, hasta en un 75%, lo que reduce también el TRH y genera una sobrecarga de materia orgánica.</p> | <p>Lo anterior, lleva a suponer que, si se retiran las arenas y lodos acumulados en las lagunas, el TRH de operación sería el de diseño y se mejoraría aún más las eficiencias de remoción de los diferentes contaminantes principalmente DQO y NT en las lagunas.</p> |
| <p><b>2. Falta de mamparas en las lagunas parcialmente aireadas</b></p> <p>Actualmente las lagunas parcialmente aireadas no cuentan con mamparas. Su diseño original tampoco contempla la instalación de mamparas. La ausencia de mamparas ha originado cortos circuitos y zonas muertas, además de una mala distribución del oxígeno disuelto. Este</p>  | <p>Colocar mamparas en las lagunas parcialmente a una distancia de 60 m, para favorecer un flujo pistón y maximizar el uso del volumen de las mismas y favorecer la distribución del oxígeno disuelto.</p>   |

|  |   |
|--|---|
| <p>problema disminuye el TRH y por tanto se afecta la eficiencia de tratamiento. Este hecho se ve reflejado en los bajos porcentajes de remoción de DQO y NT y en algunas lagunas se existe la presencia de bacterias púrpuras del azufre.</p>   |   |
| <p><b>3. Aireadores superficiales en mal estado</b></p> <p>Durante el diagnóstico de la PTAR, se observaron varios aireadores superficiales fuera de operación y en algunos casos se observaron aireadores con baja potencia de agitación. A pesar de que la PTAR cuenta con un programa anual de mantenimiento preventivo y correctivo de los aireadores superficiales no es suficiente ya que varios aireadores ya se encuentran en mal estado. Esta causa provoca que los aireadores superficiales no generen la suficiente cantidad de oxígeno disuelto en las lagunas provocando remociones bajas de los contaminantes principalmente DQO y NT.</p> | <p>Se recomienda seguir con el programa de mantenimiento de los aireadores superficiales e ir sustituyendo gradualmente los aireadores por equipos de baja potencia que puedan brindar una mejor transferencia de oxígeno disuelto a las lagunas parcialmente aireadas.</p> |
| <p><b>4. Desarenadores tipo vórtice fuera de operación</b></p> <p>Actualmente los dos desarenadores tipo vórtice se encuentran fuera de operación debido a las fallas electromecánicas que se tienen en los motores para los agitadores y las bombas de inyección de aire para la succión de las arenas. Este problema contribuye en gran medida al azolve de las lagunas parcialmente aireadas.</p>   | <p>Realizar la petición para la compra de los motores para los agitadores y bombas de inyección de aire para su pronta instalación.</p>   |

## 7.2.2 Nivel II

| <b>Causa</b>  | <b>Recomendación</b>                                     |
|---|--|
| <p><b>1. No hay bordes y taludes en las lagunas de maduración</b></p> | <p>Se deberá realizar la inclinación de los taludes,</p> |

|   |   |
|---|---|
| <p>Las ocho lagunas de maduración no contienen bordes y taludes. Esto genera la proliferación de vegetación y erosión de los diques de contención de las lagunas de maduración.</p>   | <p>necesaria para la seguridad de los diques. Se recomienda dar una inclinación vertical:horizontal igual a 1:2.5. Los taludes se pueden construir con material procedente del corte del terreno y está deberá ser compactada por capas (0.30 m aproximadamente), en conformidad con las propiedades del material, alineamientos, pendientes y perfiles del terreno. El talud interno de los diques, se recomienda que sea con un revestimiento de piedra para el control de la erosión y el crecimiento de maleza.</p> |
| <p><b>2. Bordes y taludes de las lagunas parcialmente aireadas con presencia de maleza, arenas y piedras de gran tamaño</b></p> <p>Las tres lagunas parcialmente aireadas se encontraron en sus taludes y bordes con presencia de malezas, arenas y piedras. En algunas zonas los taludes no se encuentran con el revestimiento de cemento. Este problema ocasiona que el material de construcción de las vialidades ingrese a las lagunas ocasionado una acumulación de arenas y piedras provocando cortos circuitos y zonas muertas en las lagunas parcialmente aireadas.</p> | <p>Realizar el retiro de la maleza, arenas y piedras de los taludes y bordes de las lagunas parcialmente aireadas. Colocar diques de contención para que no ingrese el material suelto de las vialidades de la PTAR. Tapar con cemento las partes de los taludes que no cuenten con este revestimiento y así evitar la presencia de maleza en las lagunas.</p>  |



|  |   |
|--|---|
| <p><b>3. Geomembranas en mal estado</b></p> <p>Una parte de la geomembrana colocada en las lagunas de sedimentación se encuentra levantada o con rupturas. Este problema puede ocasionar erosión de los bordes y taludes de las lagunas de sedimentación y puede generar infiltraciones del agua residual al subsuelo.</p> | <p>Reemplazar las geomembranas que se encuentre en mal estado para su pronta instalación.</p> |
|--|---|

### 7.2.3 Nivel III

| <b>Causa</b>  | <b>Recomendación</b>  |
|---|---|
| <p><b>1. Formación de malezas en las lagunas parcialmente aireadas, lagunas de sedimentación y lagunas de maduración</b></p> <p>El hecho de que se genere maleza acuática en todo el sistema lagunar es indicativo de zonas muertas dentro de las lagunas provocando una mala distribución del flujo del agua.</p>  | <p>Retiro de las malezas y acondicionamiento de los diques internos y bordes para evitar la formación de malezas.</p>   |
| <p><b>2. Tratamiento terciario en mal estado</b></p> <p>A pesar de que el tratamiento terciario no se incluye en el proyecto inicial de la PTAR y su descarga no tiene un permiso de descarga, el agua tratada por este sistema de tratamiento es utilizado para el riego de áreas verdes de algunas zonas de Mexicali. Se observó un mal funcionamiento del tratamiento terciario. Las unidades de tratamiento y los equipos</p> | <p>Se debe rehabilitar o hacer una reingeniería de todo el tratamiento terciario. Se deben hacer pruebas de jarras constantes para seleccionar las dosis adecuadas de los agentes químicos de acuerdo a las características fisicoquímicas del agua residual. Se deben seleccionar las mejores tasas de filtración y retrolavados para mejorar la eficiencia de tratamiento de los filtros. Se debe cambiar los materiales filtrantes</p> |

|  |  |
|--|--|
| <p>electromecánicos que conforman el sistema terciario se encuentran en mal estado. Estos problemas ocasionan una baja remoción de la DQO, NT y otros parámetros principalmente los SST.</p>   | <p>de los filtros ya que se encuentran saturados. Se debe cambiar por completo los equipos y tanques del proceso de coagulación-floculación.</p>   |
| <p><b>3. Capacitación al personal de operación y de laboratorio</b></p> <p>Con la aprobación de la NOM-001-SEMARNAT-2021, se hace indispensable contar con personal calificado en el tratamiento de aguas residuales, así como en la determinación analítica de los principales parámetros de control.</p>   | <p>Elaborar programas de capacitación:</p> <p>Personal de operación:<br/>Normatividad, teoría y operación de sistemas lagunares, seguridad e higiene.</p> <p>Analistas: Sistema de aseguramiento de calidad, implementación de procedimientos analíticos, seguridad e higiene.</p> |
| <p><b>Recomendación adicional</b></p>  |  |
| <p>Con el objetivo de incrementar la eficiencia de tratamiento del sistema lagunar y con el objetivo de dar cumplimiento con la NOM-001-SEMARNAT-2021 principalmente para los parámetros de NT y toxicidad se puede recomendar hacer una reconversión de la laguna de maduración 4 Norte y Sur a un sistema de humedales artificiales. Dada las dimensiones que tienen ambas lagunas es factible la implementación de un sistema de humedales como un sistema de pulimento. Esta recomendación se tendría que aplicar después de realizar las recomendaciones descritas anteriormente. Si el sistema lagunar se ve forzado con los límites permisibles de los parámetros que señala la NOM-001-SEMARNAT-2021 una vez realizadas las recomendaciones se tendría que aplicar la reconversión de las últimas lagunas de maduración a sistemas de humedales artificiales</p> |  |

## 7.3 RESUMEN

### 1) Título de concesión de descarga

- a) Se cuenta con un permiso para descargar aguas residuales con un volumen total de 37,843,200 m<sup>3</sup>/año (103,680 m<sup>3</sup>/d), con descarga al cuerpo receptor “Dren Internacional”, afluente del Río Nuevo, clasificado como cuerpo receptor tipo “B”.
- b) Las condiciones particulares de descarga contemplan los parámetros establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

### 2) Memoria de cálculo

- a) No se proporcionó memoria de cálculo de la PTAR, por lo que no se conocen los parámetros utilizados para el diseño de la planta. Se utilizaron los datos que vienen en el manual de operación y los planos. Las dimensiones, geometrías y profundidades de las unidades de proceso corresponden a lo que se tiene reportado en la documentación entregada por la PTAR.

### 2) Información histórica de calidad del agua

- a) Se proporcionó información que se reportó a la Comisión Nacional del Agua entre los años 2018 y 2021 al mes de julio.
- b) La PTAR en este periodo ha operado a un 70% del caudal de diseño, que es de 1,300 L/s.
- c) La PTAR tiene permitida una descarga máxima de agua residual tratada de 970 L/s de acuerdo con su permiso de descarga. Se reportó un caudal promedio de 475 L/s que representa un 49% del permitido y picos máximos que no llegan a 800 L/s, por lo que, de acuerdo con los datos compartidos por la PTAR se ha cumplido con este parámetro en los últimos años.
- d) El pH, los huevos de Helmintos, grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, metales y cianuros en el efluente de la PTAR cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- e) Los coliformes fecales en el efluente, cumplen normalmente con el LMP de 1000 NMP/100 ml, sin embargo, ocasionalmente se presentan valores mayores, por lo que se debe revisar las bitácoras de operación para determinar posibles causas de este incremento.

- f) Los parámetros en el efluente de la planta: pH, Temperatura, Grasas y Aceites, fósforo total, metales y cianuros cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- g) Los sólidos suspendidos totales, el nitrógeno y la demanda química de oxígeno (DQO) del efluente de la planta, no cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-2021 en los años 2018 y 2020, muchos valores están arriba del Límite Permisible.
- h) En el análisis de los datos históricos del 2018 a junio del 2021, se observa que el efluente de la planta de tratamiento no cumple con la NOM-001-SEMARNAT-2021 en los siguientes parámetros: Sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (NT) y Demanda Química de Oxígeno, por lo que se requiere analizar el estado actual de la planta para determinar si con la infraestructura existente se puede cumplir con la NOM.

### **3) Información del Proceso**

- a) Se realizan análisis rutinarios de manera bimestral de pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, coliformes fecales, nitritos, nitratos, nitrógeno de amonio, nitrógeno total, fósforo total, cianuros y metales. Adicionalmente, se realizan análisis mensuales de DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos totales, coliformes fecales, pH, temperatura y conductividad eléctrica en las lagunas de aireación, lagunas de sedimentación, lagunas de maduración, afluente y efluente de la PTAR.
- b) Las bitácoras describen los caudales que ingresan diariamente a cada sección de la PTAR. Sin embargo, en las bitácoras no se reportan las fallas encontradas ni se describen las características y parámetros de operación que se registran en los procesos de la planta.
- c) El programa de mantenimiento incluye los procesos de tratamiento, equipo electromecánico, sistemas de control, telemetría e instrumentación, subestación eléctrica y se estipula que se realice semestralmente. Sin embargo, no se realiza mantenimiento a la infraestructura de las lagunas, por lo que se recomienda robustecer el programa.
- d) Se cuenta con la documentación del historial de mantenimientos preventivos y correctivos realizados durante el último año de operación en la PTAR.

### **4) Funcionamiento de la PTAR**

- a) El estado de la obra civil del pretratamiento es bueno, se da mantenimiento y pintura una vez al año.
- b) Las rejillas finas mecánicas se encuentran en buen estado y en funcionamiento.
- c) Los desarenadores tipo vórtice se encuentran fuera de operación. Los equipos electromecánicos de los desarenadores presentan fallas en sus motores.
- d) El estado de las instalaciones metálicas es buena.
- e) Las tres lagunas parcialmente aireadas se encuentran en operación.
- f) La laguna parcialmente aireada C se encuentra con una mayor sobrecarga de materia orgánica. Existe la presencia de bacterias púrpuras de azufre. Hay desprendimiento de olores en la laguna.
- g) Las lagunas parcialmente aireadas A, B y C se encuentran saturadas de arenas y lodos lo que genera una disminución en su capacidad de operación respecto a los parámetros de diseño tales con el TRH provocando bajas eficiencias de tratamiento.
- h) Las dimensiones de las lagunas parcialmente aireadas si corresponde a los planos.
- i) Desde el arranque de la PTAR no se ha realizado una extracción de los lodos acumulados en las lagunas parcialmente aireadas.
- j) Las lagunas parcialmente aireadas contienen actualmente un volumen actual acumulado de lodos superior a los 90,000 m<sup>3</sup>.
- k) La configuración de las lagunas, la ubicación de entrada y salida, y la falta de mamparas ha propiciado cortos circuitos y zonas muertas, lo cual afecta la eficiencia de las mismas.
- l) La laguna parcialmente aireada A genera una remoción de DQO del 35% y una remoción de DBO<sub>5</sub> del 88%. Para G y A se generó una remoción del 52%. Para el resto de los parámetros tales como NT, PT y SST la remoción fue por debajo del 25%.
- m) La laguna parcialmente aireada B genera una remoción de DQO del 46% y una remoción de DBO<sub>5</sub> del 96%. Para G y A se generó una remoción del 37%. Para el resto de los parámetros tales como NT, PT y SST la remoción fue por debajo del 32%.
- n) La laguna parcialmente aireada C genera una remoción de DQO del 41% y una remoción de DBO<sub>5</sub> del 85%. Para los SST se generó una remoción del 51%. Para el resto de los parámetros tales como NT, PT y G y A la remoción fue por debajo del 27%.
- o) Los aireadores superficiales de las lagunas parcialmente aireadas A, B y C se encuentra funcionando parcialmente. Varios aireadores se encuentran fuera de operación.

- p) Los efluentes de las lagunas parcialmente aireadas alimentan a tres lagunas de sedimentación A, B y C. Las tres lagunas de sedimentación se encuentran en operación.
- q) Se estima un manto de lodos acumulados en las lagunas de sedimentación A, B y C mayor a 2.0 m. Esto genera una disminución en los TRH de operación respecto a los TRH de diseño.
- r) La laguna de sedimentación A presenta una buena remoción de DQO alrededor del 50%. y para los SST mayor al 90%. Para el resto de los parámetros tales como DBO<sub>5</sub>, NT, PT y GyA las remociones son por debajo del 27%.
- s) Para la laguna de sedimentación B las remociones de los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, PT y G y A son menores al 21%. Para los SST la remoción es del 54%.
- t) Para la laguna de sedimentación C hay un incremento de la DQO en su efluente debido a una acumulación de bacterias púrpuras de azufre. La remoción de NT, PT, SST y G y A es menor del 23%.
- u) La laguna de sedimentación B presenta ruptura de la geomembrana.
- v) Las dimensiones de las lagunas de sedimentación si corresponden a los planos
- w) El efluente de las lagunas de sedimentación alimentan a dos módulos de lagunas de maduración denominados Norte y Sur. Cada módulo contiene cuatro lagunas de maduración que trabajan en serie.
- x) Anteriormente las lagunas de maduración contenían mamparas, sin embargo, estas fueron retiradas hace más de tres años ya que de acuerdo a los operados generaban un mal funcionamiento de las lagunas.
- y) Se determinó que todas las lagunas de maduración no tienen la capacidad para remover DQO, NT, PT y SST ya que no estos parámetros no fueron parcialmente eliminados dentro de las lagunas. Existe una remoción de los CF mayor al 99% la cual es llevada a cabo en la primera laguna de maduración tanto de la Norte como la del Sur. Existe una remoción de G y A mayor al 32%.
- z) En todas las lagunas de maduración se encontró una concentración de clorofila-a mayor entre 69 y 1405 mg/m<sup>3</sup>, los cuales se encuentran en el rango recomendado por la literatura.
- aa) Los TRH actuales de las lagunas de maduración se encuentran ligeramente por arriba de TRH de diseño esto debido a que no se alcanzó el caudal de diseño.
- bb) Las dimensiones de las lagunas de maduración si corresponde con los planos.

- cc) El efluente que sale de las lagunas de maduración se desinfecta con una dosis de cloro gas de 12.5 lb Cl/h.
- dd) La desinfección con cloro gas genera que la concentración de materia orgánica medida como DQO y DBO<sub>5</sub> disminuya hasta un 70% con concentraciones después de la desinfección de 99 y 2 mg/L respectivamente.
- ee) El agua residual cruda que se envía a la termoeléctrica “La Rosita” es de 233.41 L/s. El agua residual tratada antes de la desinfección que se envía a la termoeléctrica “La Rosita” es de 150.5 L/s. El agua residual tratada que se pule en el tratamiento terciario es de 7.9 L/s. El agua tratada que sale del tratamiento terciario es en de 5.4 L/s.
- ff) La PTAR cuenta con un tratamiento terciario que trata una caudal de 7.9 L/s de agua residual tratada de la descarga final. El tratamiento terciario conformado por coagulación-floculación y filtración se encuentra en mal estado. La operación no es eficiente. La remoción de DQO, DBO<sub>5</sub>, NT y PT es de 58, 92, 13 y 32% respectivamente. No hay remoción de SST.
- gg) El agua tratada por el tratamiento terciario se reusa para el riego de áreas verdes de la Cd. De Mexicali.

## 5) Muestreo

- a) Se realizó un muestreo compuesto de 24 h al influente y efluente general de la PTAR, considerando los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y de la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- b) El caudal de operación de la PTAR se encuentra entre 830 a 1,556 L/s con un promedio de 1,037.5 L/s.
- c) Todos los parámetros cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 para cuerpos receptores tipo B.
- d) Todos los parámetros excepto el NT y la toxicidad cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ríos, arroyos, canales y drenes.
- e) Se tomaron muestras simples a la salida de cada laguna para la determinación de los siguientes parámetros; pH, temperatura, G y A, SST, DBO<sub>5</sub>, DQO, NT, PT, coliformes fecales y clorofila-a.

## 6) Determinaciones de campo

- a) La determinación de los perfiles pH y de oxígeno disuelto en cada una de las lagunas que conforma la PTAR indican que existen cortos circuitos y zonas muertas, en unas más que en otras, lo que afecta su operación y por tanto la calidad del efluente. Esto puede ser un efecto de la poca eficiencia que presentan las lagunas. Y esto es consecuencia principalmente de la falta de las mamparas y al buen

funcionamiento de los aireadores superficiales en las lagunas parcialmente aireadas.

## **7) Influencia industrial**

- a) No se cuenta con información sobre el aporte industrial que tienen las aguas residuales que llegan a la PTAR Zaragoza I, Mexicali.
- b) Se puede inferir que el agua residual que se trata en la PTAR de Zaragoza tiene aportación industrial, ya que presenta concentraciones de metales, como zinc, cobre y mercurio, que, a pesar de estar por debajo de los límites máximos permisibles por la Normatividad nacional vigente, se encuentran en una concentración mayor a la que se puede encontrar en aguas residuales domésticas sin aportación industrial. Además de tener una relación DQO/DBO<sub>5</sub> mayor a 4.4, lo que indica que el agua residual es poco biodegradable por lo que puede contener descargas industriales o compuestos tóxicos, que se confirman con los valores de toxicidad obtenidos en el influente.
- c) La relación DQO/DBO<sub>5</sub> en el influente de los diferentes emisores que llegan a la PTAR es entre 4.4 y 6.2, lo que indica que el agua residual es poco biodegradable por lo que puede contener compuestos tóxicos o descargas industriales. Esto se comprobó con las altas toxicidades en el influente de la PTAR los cuales fueron de hasta 31 UT.

## **8) Evaluación de conocimientos**

- a) El personal directivo de la PTAR presenta buenas bases en conocimiento básico y generales, sin embargo, los conocimientos técnicos son deficientes.
- b) Los operadores solo conocen bien la PTAR y en general no tienen conocimientos técnicos sobre el proceso de tratamiento.
- c) Se entregó material didáctico para solventar un poco la problemática.

## **9) Seguridad**

- a) La PTAR cuenta con un estudio de análisis de riesgos, incluyendo riesgo por desastre naturales, disturbios y vandalismo, derrames, riesgo sanitario y químico.



- b) Existe dentro de la PTAR disposiciones de seguridad tales como, el uso de equipo de protección personal, así como para contingencia COVID-19.
- c) Se cuenta con brigadas de evacuación, de primeros auxilios y prevención, así como de combate a incendios.

## **10) Laboratorio**

- a) Se cuenta con un laboratorio de análisis con infraestructura adecuada, que se encuentra limpio y ordenado. Además, se cuenta con los manuales de procedimiento y bitácoras de equipos para dar seguimiento a su uso y mantenimiento.
- b) Se cuenta con los equipos requeridos para desarrollar los trabajos requeridos, los equipos se encuentran en muy buenas condiciones, limpios y ordenados.
- c) El laboratorio tiene capacidad para realizar análisis de DQO, DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos totales y coliformes fecales, los cuales se realizan mensualmente.
- d) El laboratorio no cuenta con acreditación. El personal de laboratorio recibe capacitación bianual, a pesar de no contar con acreditación.
- e) Al contar con espectrofotómetro, termorreactor y micropipetas, se podrían analizar parámetros como: fósforo total, fósforo de fosfatos, nitratos, nitrógeno amoniacal y nitrógeno total.

## **11) Causas que limitan el desempeño de la PTAR**

- a) La acumulación de arenas y lodos en las lagunas principalmente en las lagunas parcialmente aireadas y de sedimentación lo cual disminuye la eficiencia de operación de las lagunas.
- b) La configuración de las lagunas, la ubicación de entrada y salida, y la falta de mamparas genera cortos circuitos y zonas muertas, lo que repercute en su eficiencia de operación.
- c) La falta de operación de los desarenadores tipo vórtice genera que las arenas se pasen a las lagunas parcialmente aireadas A, B y C 1, lo que provoca una baja eficiencia de remoción de las lagunas, ya que disminuyen los TRH y se incrementan las cargas de materia orgánica que llegan a las lagunas para su tratamiento.
- d) La presencia de malezas en las lagunas provoca rendimientos bajos en la operación de las lagunas.

## 8 CONCLUSIONES

Actualmente, la descarga de agua residual de la PTAR Zaragoza de Mexicali cumple con todos los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-2021 excepto para el NT y toxicidad. Estos parámetros se encontraron ligeramente superiores a los valores del promedio mensual que señala la NOM. Las acciones que se necesitan para cumplir con todos los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-2021 son:

- 1) Desazolver todas las lagunas de estabilización que conforman la PTAR.
- 2) Poner en funcionamiento el sistema de pretratamiento para la eliminación de sólidos de gran tamaño y arenas.
- 3) Operación y mantenimiento de los aireadores superficiales en mal estado.
- 4) Incorporación de mamparas en las lagunas parcialmente aireadas que permitan mejorar el flujo del agua dentro de las lagunas.
- 5) Eliminación de malezas dentro de las lagunas de estabilización y limpieza de los taludes.
- 6) Mantenimiento correctivo de las geomembranas que se encuentren en mal estado.
- 7) Adecuar correctamente los bordes y taludes de las lagunas de maduración.
- 8) Disminución de la dosis de cloro en el canal de desinfección para que se mantenga en una concentración de 1.2 mg/L.


Con el objetivo de incrementar la eficiencia de tratamiento del sistema lagunar y con el objetivo de dar cumplimiento con la NOM-001-SEMARNAT-2021 principalmente para los parámetros de NT y toxicidad se recomienda hacer una reconversión de la laguna de maduración 4 Norte y Sur a un sistema de humedales artificiales. Dada las dimensiones que tienen ambas lagunas es factible la implementación de un sistema de humedales como un sistema de pulimento. Esta recomendación se tendría que aplicar después de realizar las acciones descritas anteriormente. Si el sistema lagunar se ve forzado con los límites permisibles de los parámetros que señala la NOM-001-SEMARNAT-2021 una vez realizadas las acciones se tendría que aplicar la reconversión de las últimas lagunas de maduración a sistemas de humedales artificiales

## Anexo A. Formato 3. Recursos Humanos

| Nombre                           | Puesto                                  | Escolaridad  | Antigüedad   |              |
|----------------------------------|---|--------------|--------------|--------------|
|                                  |   |              | En la planta | En el puesto |
| <b>Personal administrativo</b>   |   |              |              |              |
| Jesús Alfredo López Villegas     | Encargado de la PTAR                    | Licenciatura | 12 años      | 4 meses      |
| <b>Personal operativo</b>        |   |              |              |              |
| José Roberto Rocío Adame         | Operador                                | Secundaria   | 23 años      | 14 años      |
| José Abel Carreras Quiñones      | Operador                                | Preparatoria | 20 años      | 11 años      |
| José Manuel Silva Ramos          | Operador                                | Secundaria   | 18 años      | 10 años      |
| Israel Marcelo Aguilar Contreras | Operador                                | Secundaria   | 13 años      | 12 años      |
| Manuel Zamora Félix              | Operador                                | Secundaria   | 3 años       | 2 años       |
| <b>Personal de mantenimiento</b> |   |              |              |              |
| Sergio García Flores             | Conservación                            | Primaria     | 24 años      | 20 años      |
| Jesús Oliveto Trejo Acuña        | Conservación                            | Preparatoria | 13 años      | 13 años      |
| <b>Personal de laboratorio</b>   |   |              |              |              |
| Miguel Cuevas Guerrero           | Jefe de Laboratorio de Aguas Residuales | Maestría     | 13 años      | 4 meses      |
| Ramón Ernesto Rosas Ángulo       | Aux. de Laboratorio de Aguas Residuales | Pasante Lic. | 5 años       | 3 años       |


## Anexo B. Equipos electromecánicos


|                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| Nombre de la PTAR | Mexicali (Zaragoza) |
|-------------------|---------------------|

|   |                        |  |
|---|------------------------|--|
| Equipo                                  | Mezclador              | NOTA: Hay 3 mezcladores en cada una de las lagunas aireadas (LAMP-A: son el A2, A9 y A10, en la LAMP-B: son el B2,B9 y B10 y LAMP-C: son el C2, C8 y C9)   |
| Nombre y/o clave                        | Agitador               |  |
| Ubicación                               | LAMP-A, LAMP-B Y LAMPC |  |
| Modelo                                  | AIRE-O <sub>2</sub>    |  |
| Potencia (HP) o (KW)                    | 50 HP                  | <div style="background-color: #004a7c; color: white; padding: 5px; text-align: center; font-size: small;">Asegura oxígeno disuelto en su sistema</div>  |
| Garantía                                | Si( X ) No( )          |  |
| Año de instalación                      | 2016                   |  |
| Tiempo de vida útil (años)              | 10                     |  |
| Tiempo de uso (Años)                    | 5                      |  |
| Mantenimiento preventivo                | Cada 4 meses           |  |
| - Veces por año<br>- Fecha de último MP |                        |  |
| Mantenimiento correctivo                |                        |  |
| - Fecha                                 |                        |  |
| Manual de usuario                       | Si( x ) No( )          |  |


|                            |                         |  |
|----------------------------|-------------------------|--|
| Equipo                     | Mezclador               | <p>NOTA:</p> <p>LAMP-A: son el A1, A3, A4, A5 ,A6, A7 , A8</p> <p>LAMP-B: Son el B1, B3, B4, B5,B6,B7,B8</p> <p>LAMP-C: son el C1, C3, C4, C5, C6, C7)</p> |
| Nombre y/o clave           | Agitador                |  |
| Ubicación                  | LAMP-A, LAMP-B y LAMP-C |  |
| Modelo                     | AIRE-O <sub>2</sub>     |  |
| Potencia (HP) o (KW)       | 30 HP                   | <p>Asegura oxígeno disuelto en su sistema</p>                           |
| Garantía                   | Si ( X ) No ( )         |  |
| Año de instalación         | 2016                    |  |
| Tiempo de vida útil (años) | 10                      |  |
| Tiempo de uso (Años)       | 5                       |  |
| Mantenimiento preventivo   | Cada 4 meses            |  |
| - Veces por año            |                         |  |
| - Fecha de último MP       |                         |  |
| Mantenimiento correctivo   |                         |  |
| - Fecha                    |                         |  |
| Manual de usuario          | Si ( ) No ( )           |  |

|                            |                            |  |
|----------------------------|----------------------------|--|
| Equipo                     | SOPLADOR                   | NOTA: son 32 sopladores en total, son 11 en la LAMP-A, 11 en la LAMP-B y 10 en la LAMP-C   |
| Nombre y/o clave           |                            |  |
| Ubicación                  | LAGUNAS AIREADAS           |  |
| Modelo                     | AIRE-O <sub>2</sub> TRITON |  |
| Potencia (HP) o (KW)       | 7.5 HP                     |  <p><i>Asegura oxígeno disuelto en su sistema</i></p> |
| Garantía                   | Si( X ) No( )              |  |
| Año de instalación         | 2016                       |  |
| Tiempo de vida útil (años) | 10                         |  |
| Tiempo de uso (Años)       | 5                          |  |
| Mantenimiento preventivo   | Cada 4 Meses               |  |
| - Veces por año            |                            |  |
| - Fecha de último MP       |                            |  |
| Mantenimiento correctivo   |                            |  |
| - Fecha                    |                            |  |
| Manual de usuario          | Si( X ) No( )              |  |


|   |                       |   |
|---|-----------------------|---|
| Equipo                                  | BOMBA 3"              | NOTA: Son 2 bombas marca Gorman Rup que se utilizan para el bombeo de agua tratada a los clarificadores del tratamiento terciario el motor que utiliza las bombas son de 7.5 HP |
| Nombre y/o clave                        |                       |   |
| Ubicación                               | Tratamiento Terciario |   |
| Modelo                                  | T3 SERIES             |   |
| Potencia (HP) o (KW)                    | 7.5 HP                |   |
| Garantía                                | Si( ) No( x )         |   |
| Año de instalación                      |                       |   |
| Tiempo de vida útil (años)              | 10 Años               |   |
| Tiempo de uso (Años)                    |                       |   |
| Mantenimiento preventivo                | Cada 6 meses          |   |
| - Veces por año<br>- Fecha de último MP |                       |   |
| Mantenimiento correctivo                |                       |   |
| - Fecha                                 |                       |   |
| Manual de usuario                       | Si( ) No( X )         |   |

|  |  |  |
|--|--|--|
| Equipo   | BOMBA 2"                                   | <p>NOTA: El motor es un NIDEC Motors de 10 HP y 60 Hz</p>  |
| Nombre y/o clave   |  |  |
| Ubicación  | Tratamiento Terciario (Tnq. De Regulación) |  |
| Modelo   | 5A11L                                      |  |
| Potencia (HP) o (KW)   | 10 HP                                      |  |
| Garantía   | Si( ) No( X )                              |  |
| Año de instalación   |  |  |
| Tiempo de vida útil (años)   | 10 Años                                    |  |
| Tiempo de uso (Años)   |  |  |
| Mantenimiento preventivo <ul style="list-style-type: none"> <li>- Veces por año</li> <li>- Fecha de último MP</li> </ul> | Cada 6 meses                               |  |
| Mantenimiento correctivo <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fecha</li> </ul>                                       |  |  |
| Manual de usuario  | Si( ) No( X )                              |  |





|   |  |  |
|---|--|--|
| Equipo  | BOMBA 2"                                   | Nota: el Motor de la Bomba es un Baldor de 20 HP y 60 Hz                           |
| Nombre y/o clave  |  |  |
| Ubicación   | Tratamiento Terciario (Tnq. De Regulación) |  |
| Modelo  | 5A11L                                      |  |
| Potencia (HP) o (KW)  | 20 HP                                      |  |
| Garantía  | Si( ) No( X )                              |  |
| Año de instalación  |  |  |
| Tiempo de vida útil (años)  | 10 años                                    |  |
| Tiempo de uso (Años)  |  |  |
| Mantenimiento preventivo<br>- Veces por año<br>- Fecha de último MP | Cada 6 meses                               |  |
| Mantenimiento correctivo<br>- Fecha                                 |  |  |
| Manual de usuario   | Si( ) No( X )                              |  |

|                            |                  |   |
|----------------------------|------------------|---|
| Equipo                     | BOMBA BOOSTER 6" | Nota: Son 2 bombas tipo Booster de 6", con motor de 30 HP y 60 Hz, marca WEG        |
| Nombre y/o clave           |                  |   |
| Ubicación                  | Cloración        |   |
| Modelo                     | C116297-02K01    |   |
| Potencia (HP) o (KW)       | 30 HP            |  |
| Garantía                   | Si ( ) No(X)     |   |
| Año de instalación         | 2008             |   |
| Tiempo de vida útil (años) | 10 Años          |   |
| Tiempo de uso (Años)       | 13 años          |   |
| Mantenimiento preventivo   | Cada 6 meses     |   |
| - Veces por año            |                  |   |
| - Fecha de último MP       |                  |   |
| Mantenimiento correctivo   |                  |   |
| - Fecha                    |                  |   |
| Manual de usuario          | Si ( ) No(X)     |   |

|                            |                            |  |
|----------------------------|----------------------------|--|
| Equipo                     | MOTOR SOPLADOR             | <p>NOTA: Son 2 Sopladores, uno en el desarenador Norte y otro más en el desarenador sur, esta área está fuera de servicio.</p> |
| Nombre y/o clave           |                            |  |
| Ubicación                  | Desarenador Pretratamiento |  |
| Modelo                     | W21, Marca WEG             |  |
| Potencia (HP) o (KW)       | 3 HP                       |   |
| Garantía                   | Si ( X ) No ( )            |  |
| Año de instalación         |                            |  |
| Tiempo de vida útil (años) | 10                         |  |
| Tiempo de uso (Años)       |                            |  |
| Mantenimiento preventivo   | Cada 6 Meses               |  |
| - Veces por año            |                            |  |
| - Fecha de último MP       |                            |  |
| Mantenimiento correctivo   |                            |  |
| - Fecha                    |                            |  |
| Manual de usuario          | Si ( ) No ( X )            |  |

|   |                    |  |
|---|--------------------|--|
| Equipo  | Compactadora       |  |
| Nombre y/o clave  |                    |  |
| Ubicación   | Pretratamiento     |  |
| Modelo  | SE-341 51<br>LAGAN |  |
| Potencia (HP) o (KW)  |                    |  |
| Garantía  | Si ( ) No ( X )    |  |
| Año de instalación  | 2017               |  |
| Tiempo de vida útil (años)  | 10 años            |  |
| Tiempo de uso (Años)  | 4 años             |  |
| Mantenimiento preventivo  | Cada 6 Meses       |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Veces por año</li> <li>- Fecha de último MP</li> </ul> |                    |  |
| Mantenimiento correctivo  |                    |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fecha</li> </ul>                                       |                    |  |
| Manual de usuario   | Si ( X ) No ( )    |  |

|   |                           |  |
|---|---------------------------|--|
| Equipo  | Motor Compactadora        |  |
| Nombre y/o clave  |                           |  |
| Ubicación   | Pretratamiento            |  |
| Modelo  | SK90SP/4 TF<br>Marca NORD |  |
| Potencia (HP) o (KW)  | 4 HP                      |  |
| Garantía  | Si( ) No(X )              |  |
| Año de instalación  | 2017                      |  |
| Tiempo de vida útil (años)  | 10 años                   |  |
| Tiempo de uso (Años)  | 4 años                    |  |
| Mantenimiento preventivo<br>- Veces por año<br>- Fecha de último MP | Cada 6 Meses              |  |
| Mantenimiento correctivo<br>- Fecha                                 |                           |  |
| Manual de usuario   | Si( ) No( X)              |  |

|   |                   |   |
|---|-------------------|---|
| Equipo  | Motor de Agitador | NOTA: Son dos Agitadores el del lado Norte y el del Lado sur                        |
| Nombre y/o clave  |                   |   |
| Ubicación   | Desarenador       |   |
| Modelo  | WWHT3-18-13       |   |
| Potencia (HP) o (KW)  | 3                 |  |
| Garantía  | Si( ) No( X )     |   |
| Año de instalación  |                   |   |
| Tiempo de vida útil (años)  | 10 años           |   |
| Tiempo de uso (Años)  |                   |   |
| Mantenimiento preventivo<br>- Veces por año<br>- Fecha de último MP | Cada 6 Meses      |   |
| Mantenimiento correctivo<br>- Fecha                                 |                   |   |
| Manual de usuario   | Si( ) No( X )     |   |



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



## **PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

### **PROYECTO No.309621**

# **“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA”**

## **DIAGNÓSTICO DE LA PTAR**

### **“TORREÓN”**

### **TORREÓN, COAHUILA**

## INDICE

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| 1.         | INFORMACIÓN DE LA PTAR .....                                   | 310 |
| 1.1.       | Datos generales .....  | 310 |
| 1.2.       | Ubicación .....  | 310 |
| 1.3.       | Descripción del proceso .....                                  | 311 |
| 2.         | REVISIÓN DOCUMENTAL .....                                      | 313 |
| 2.1.       | Planos .....   | 313 |
| 2.2.       | Permiso de descarga .....                                      | 313 |
| 2.3.       | Análisis de la memoria de cálculo .....                        | 315 |
| 2.3.1.     | Datos de diseño .....  | 315 |
| 2.3.1.1.   | Caudal .....   | 315 |
| 2.3.1.2.   | Características de influente .....                             | 315 |
| 2.3.1.3.   | Población y caudal de agua residual por año .....              | 315 |
| 2.3.2.     | Criterios de diseño .....                                      | 316 |
| 2.3.2.1.   | Pretratamiento .....   | 316 |
| 2.3.2.2.   | Lagunas .....  | 317 |
| 2.3.2.2.1. | Lagunas anaerobias .....                                       | 317 |
| 2.3.2.2.2. | Lagunas facultativas .....                                     | 317 |
| 2.4.       | Análisis de la información histórica de calidad del agua ..... | 318 |
| 2.4.1.     | Caudal .....   | 319 |
| 2.4.2.     | pH .....   | 320 |
| 2.4.3.     | Huevos de Helmintos .....                                      | 322 |
| 2.4.4.     | Coliformes fecales .....                                       | 322 |
| 2.4.5.     | Grasas y Aceites .....   | 322 |
| 2.4.6.     | Materia Flotante .....   | 323 |
| 2.4.7.     | Conductividad eléctrica .....                                  | 323 |



|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 2.4.8.  | Sólidos sedimentables .....                        | 324 |
| 2.4.9.  | Sólidos suspendidos totales (SST).....             | 324 |
| 2.4.10. | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....           | 325 |
| 2.4.11. | Nitrógeno Total (NT) .....                         | 326 |
| 2.4.12. | Fósforo Total (PT) .....                           | 327 |
| 2.4.13. | Metales y Cianuro.....                             | 328 |
| 2.4.14. | Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....             | 329 |
| 2.5.    | Análisis de la información del Proceso.....        | 331 |
| 2.5.1.  | Análisis rutinarios.....                           | 331 |
| 2.5.2.  | Manual de operación.....                           | 331 |
| 2.5.3.  | Reportes de operación (bitácoras) .....            | 331 |
| 2.5.4.  | Mantenimiento.....                                 | 331 |
| 3.      | ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR.....   | 332 |
| 3.1.    | Descripción de las unidades de proceso.....        | 332 |
| 3.1.1.  | Estado de las unidades de proceso .....            | 337 |
| 3.1.2.  | Estado físico de las instalaciones de la PTAR..... | 344 |
| 3.1.3.  | Equipos electromecánicos .....                     | 347 |
| 3.2.    | Muestreo y calidad del agua residual.....          | 350 |
| 3.2.1.  | Resultados del muestreo compuesto .....            | 353 |
| 3.2.2.  | Resultados de muestreo simple .....                | 358 |
| 3.2.3.  | Determinaciones de campo.....                      | 363 |
| 3.2.4.  | Influencia industrial.....                         | 366 |
| 4.      | DIAGNOSTICO DE PERSONAL.....                       | 368 |
| 4.1.    | Recursos Humanos .....                             | 368 |
| 4.2.    | Evaluación de conocimientos.....                   | 370 |
| 4.3.    | Capacitación.....                                  | 370 |
| 4.3.1.  | Cursos de capacitación recibidos .....             | 370 |
| 4.3.2.  | Temas de capacitación solicitados .....            | 371 |
| 4.3.3.  | Material didáctico entregado .....                 | 371 |



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



|  |     |
|--|-----|
| 5. SEGURIDAD E HIGIENE .....                           | 381 |
| 6. LABORATORIO.....                                    | 383 |
| 7. CAUSAS QUE LIMITAN EL Desempeño de la PTAR .....    | 386 |
| 7.1. Causas .....                                      | 386 |
| 7.2. Descripción de la causa y recomendaciones .....   | 387 |
| 7.2.1. Nivel I.....                                    | 387 |
| 7.2.2. Nivel II.....                                   | 389 |
| 7.2.3. Nivel III .....                                 | 390 |
| 8. CONCLUSIONES.....                                   | 393 |
| ANEXO 1. Calidad del agua del efluente 2018-2021 ..... | 97  |

## TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1 Datos generales .....  | 310 |
| Tabla 2 Ubicación y contacto .....   | 311 |
| Tabla 3 Condiciones particulares de descarga (CPD) de aguas residuales                         | 314 |
| Tabla 4 Calidad del agua de entrada de diseño .....  | 315 |
| Tabla 5 Población y caudal .....   | 316 |
| Tabla 6 Caudal tratado por año .....   | 319 |
| Tabla 7 pH por año .....   | 320 |
| Tabla 8 Grasas y Aceites por año.....  | 323 |
| Tabla 9 Sólidos suspendidos totales por año .....  | 324 |
| Tabla 10 Demanda bioquímica de oxígeno por año .....   | 325 |
| Tabla 11 Nitrógeno Total por año.....  | 326 |
| Tabla 12 Fósforo Total por año .....   | 328 |
| Tabla 13 Concentraciones de Metales y Cianuro .....  | 328 |
| Tabla 14 Demanda Química de Oxígeno por año.....   | 330 |
| Tabla 15 Dimensiones de las lagunas de la PTAR.....  | 342 |
| Tabla 16 Especificaciones actuales de las lagunas de la PTAR.....                              | 343 |
| Tabla 17 Estimación de egresos para el año 2022. Gerencia de Saneamiento<br>SIMAS Torreón..... | 350 |
| Tabla 18 Parámetros evaluados.....   | 352 |
| Tabla 19 Resultados de laboratorio de muestra compuesta .....                                  | 355 |
| Tabla 20 Resultados de laboratorio de muestras puntuales.....                                  | 358 |
| Tabla 21 Cargas orgánicas superficiales y volumétricas actuales de las<br>lagunas .....        | 361 |
| Tabla 22 Porcentajes de remoción por laguna.....   | 362 |
| Tabla 23 Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR<br>.....               | 386 |

## FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1 Tren de tratamiento de la PTAR Torreón .....   | 312 |
| Figura 2 Ubicación de la descarga de la PTAR Torreón.....                                     | 313 |
| Figura 3 Tendencia del Caudal del efluente .....  | 319 |
| Figura 4 Tendencia del pH del efluente con relación a la NOM-001-SEMARNAT-1996.....           | 321 |
| Figura 5 Tendencia del pH del efluente con relación a la NOM-001-SEMARNAT-2021.....           | 321 |
| Figura 6 Tendencia de grasas y aceites del efluente.....                                      | 323 |
| Figura 7 Tendencia de sólidos suspendidos totales del efluente .....                          | 325 |
| Figura 8 Tendencia de la demanda bioquímica de oxígeno del efluente.....                      | 326 |
| Figura 9 Tendencia de nitrógeno total del efluente.....                                       | 327 |
| Figura 10 Tendencia de fósforo total del efluente.....  | 328 |
| Figura 11 Tendencia de la demanda química de oxígeno del efluente. NOM-001-SEMARNAT-2021..... | 330 |
| Figura 12 Rejillas gruesas .....  | 332 |
| Figura 13 Desarenadores.....  | 333 |
| Figura 14 Rejillas finas .....  | 333 |
| Figura 15 Cárcamo de bombeo y caja distribuidora .....  | 334 |
| Figura 16 Vista aérea del sistema lagunar de la PTAR Torreón.....                             | 334 |
| Figura 17 Módulos de lagunas.....   | 335 |
| Figura 18 Canales recolectores del agua tratada .....   | 336 |
| Figura 19 Canal Parshall y tanque de almacenamiento.....                                      | 337 |
| Figura 20 Cárcamo la Joya.....  | 338 |
| Figura 21 Biofiltro para el tratamiento de gases.....   | 339 |
| Figura 22 Tolva de arenas y desarenador fuera de operación.....                               | 339 |
| Figura 23 Laguna anaerobia C y conexión entre laguna facultativa C y D.....                   | 340 |
| Figura 24 Maleza en lagunas facultativas y canales preferenciales .....                       | 341 |
| Figura 25 Restos de mamparas en lagunas facultativas B y C.....                               | 342 |
| Figura 26 Estado físico del pretratamiento .....  | 345 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 27 Estado físico de la obra civil y caminos en el sistema lagunar .. | 346 |
| Figura 28 Estado físico de la sección final de la PTAR .....                | 347 |
| Figura 29 CCM, planta de emergencia y subestación eléctrica .....           | 348 |
| Figura 30 Estado físico de bombas del cárcamo a lagunas.....                | 349 |
| Figura 31 Puntos de muestreo PTAR Torreón .....                             | 351 |
| Figura 32 Parámetros de campo de muestra compuesta.....                     | 354 |
| Figura 33 Parámetros microbiológicos de muestra compuesta.....              | 355 |
| Figura 34 Toxicidad aguda de muestra compuesta .....                        | 358 |
| Figura 35 Grasa en laguna facultativa E.....                                | 360 |
| Figura 36 pH medido en campo.....   | 364 |
| Figura 37 OD medido en campo.....   | 365 |
| Figura 38 Tipos de descargas industriales.....                              | 367 |
| Figura 39 Plantilla de personal de PTAR Torreón .....                       | 368 |
| Figura 40 Portada de los manuales .....                                     | 372 |
| Figura 41 Infografías .....   | 377 |
| Figura 42 Manual de ejercicios prácticos .....                              | 378 |
| Figura 43 Kit de figuras.....   | 380 |
| Figura 44 Señalización en oficinas.....                                     | 381 |
| Figura 45 Señalización en el laboratorio .....                              | 382 |
| Figura 46 Instalaciones y equipo de laboratorio .....                       | 384 |

## 9. INFORMACIÓN DE LA PTAR

### 9.1. Datos generales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Rancho Alegre”, mejor conocida como PTAR “Torreón” fue construida el año 1999 e inicio sus operaciones en 2003. La PTAR recibe las aguas residuales que se generan en la ciudad de Torreón y está diseñada para un caudal de 1,900 L/s. Actualmente la PTAR opera con un gasto de 1,350 L/s sirviendo a una población aproximada de 679,288 habitantes, lo cual representa el 100% de la población del municipio de Torreón. En la Tabla 1 se presentan algunos datos generales de la planta.

**Tabla 65 Datos generales**

| <b>Datos generales</b>                    |                   |                     |                             |
|---|-------------------|---------------------|-----------------------------|
| Año de construcción                       | <b>1999</b>       | Inicio de operación | <b>2003</b>                 |
| Municipios de los cuales recibe descargas | <b>Torreón</b>    | Población servida   | <b>679, 288</b>             |
| Actualización más reciente                | <b>Ninguna</b>    | Tipo de tratamiento | <b>Lagunas de oxidación</b> |
| Gasto de diseño                           | <b>1, 900 L/s</b> | Gasto de operación  | <b>1,350 L/s</b>            |

### 9.2. Ubicación

La PTAR “Torreón” se encuentra ubicada en el ejido del mismo nombre en el municipio de Torreón, Coahuila. La planta es operada por el Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento (SIMAS) de Torreón y se encuentra a cargo del Ing. Salvador López de Lara. En la Tabla 2 se muestran los datos de ubicación y contacto de la PTAR.

**Tabla 66 Ubicación y contacto**

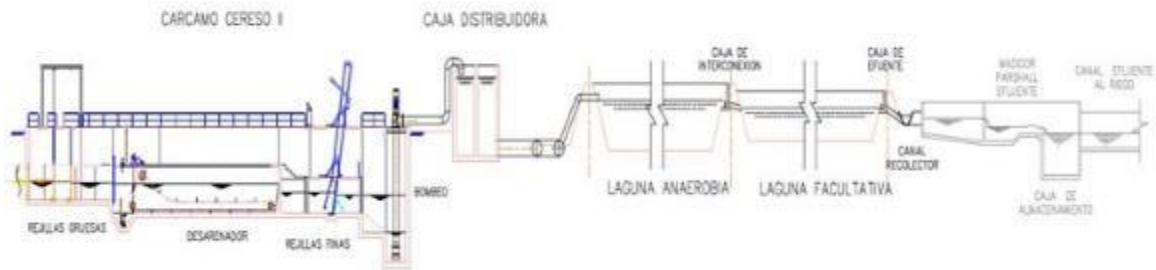
| <b>Ubicación</b>   |   |   |   |
|--------------------|---|---|---|
| Nombre de la PTAR  | <b>Rancho Alegre</b>                      | Mapa de ubicación<br> |   |
| Calle y número     | <b>Calle Jamaica S/N</b>                  |   |   |
| Colonia y C.P.     | <b>Ejido Rancho Alegre</b>                |   |   |
| Municipio y estado | <b>Torreón, Coahuila</b>                  |   |   |
| Coordenadas        | <b>Lat. 25°30'40", Long. - 103°20'19"</b> |   |   |
| <b>Contacto</b>    |   |   |   |
| Nombre             | <b>Ing. Salvador López de Lara M.</b>     | Puesto  | <b>Coordinador<br/>Planta Tratadora</b> |
| Correo electrónico | <b>salvadorlodela@hotmail.com</b>         | Teléfono  | <b>871 1464926</b>                      |

### 9.3. Descripción del proceso

Las aguas residuales generadas en el municipio de Torreón, Coahuila son enviadas a los cárcamos de bombeo La Joya II, Oriente, y Zaragoza II para posteriormente enviarlo al cárcamo Cereso I que se encuentra a 350 m de la planta. Una vez en el cárcamo Cereso I, el agua es enviada a la planta de tratamiento. Debido a que la ciudad de Torreón no cuenta con un desnivel natural, ya que el terreno es plano, la pendiente de la tubería de drenaje es mínima (0.0007), lo cual hace que el recorrido del agua residual hasta la PTAR sea de hasta 18 h.

El tren de tratamiento de la PTAR consta un pretratamiento conformado por cuatro rejillas gruesas manuales, tres desarenadores mecánicos, dos rejillas mecánicas finas y una rejilla fina manual. Después del pretratamiento el agua es enviada a un cárcamo de bombeo elevado (Cereso II) que envía el agua al tratamiento biológico conformado por sistemas lagunares. El sistema lagunar consta de seis lagunas anaerobias conectadas cada una a una laguna facultativa. El efluente de las lagunas

facultativas es enviado a un canal Parshall que posteriormente descarga a una caja de almacenamiento que envía el agua tratada a un distrito de riego (Figura 1). Cabe mencionar que el tren de tratamiento no cuenta con un sistema de desinfección y tampoco se consideró la instalación de una laguna de maduración que permitiera realizar dicho proceso.



**Figura 181 Tren de tratamiento de la PTAR Torreón**



## 10. REVISIÓN DOCUMENTAL

### 10.1. Planos

Se recopilaron 168 archivos con un tamaño de 51.06 MB relacionados a los planos generales, funcionales, arquitectónicos e hidráulicos de la PTAR "Torreón". Los cuales se pueden consultar en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1O1C5lBhKh-rjScer0xRQT4H2igqwOK2Q?usp=sharing> y serán entregados en memoria extraíble al término del proyecto.

### 10.2. Permiso de descarga

La Comisión Nacional del agua expidió los parámetros de las condiciones particulares de descarga (Tabla 3) en el título de concesión 07COA113914/36HMGR05 y permiso para descargar aguas residuales con un volumen total de 37 843,200.00 m<sup>3</sup>/año (103,680.00 m<sup>3</sup>/d), con descarga a suelo agrícola por medio de un canal como se establece en el título de concesión y se muestra en la Figura 182.



**Figura 182 Ubicación de la descarga de la PTAR Torreón**

El documento está fechado el 13 de octubre del 2004 y con vigencia de 10 años, sin embargo, se presentó la renovación a partir del 13 de octubre de 2014 con una nueva vigencia de 10 años a partir de esta fecha.

La Tabla 3 muestra las condiciones particulares de descarga (CPD) a las que deberán sujetarse las aguas residuales tratadas de la PTAR, considerando que el agua residual tratada es empleada para riego agrícola.

**Tabla 67 Condiciones particulares de descarga (CPD) de aguas residuales**

| Parámetro               | Unidades                   | NOM-001-SEMARNAT-1996 |         | NOM-001-SEMARNAT-2021                  |       | CPD   |      |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------|---------|--|-------|-------|------|
|                         |                            | PM                    | PD      | PM                                     | PD    | PM    | PD   |
| pH                      | UpH                        | 5 - 10                | 5 - 10  | 6 - 9                                  | 6 - 9 | 6     | 8    |
| Tem.                    | °C                         | Na                    | NA      | 35                                     | 35    | NA    | NA   |
| G y A                   | mg/L                       | 15                    | 25      | 15                                     | 18    | 15    | 25   |
| Material Flotante       |                            | Ausente               | Ausente | NA                                     | NA    | NA    | NA   |
| S. Sed.                 | ml/L                       | NA                    | NA      | NA                                     | NA    | NA    | NA   |
| SST                     | mg/L                       | NA                    | NA      | 100                                    | 120   | NA    | NA   |
| DBO                     | mg/L                       | NA                    | NA      | NA                                     | NA    | NA    | NA   |
| NT                      | mg/L                       | NA                    | NA      | NA                                     | NA    | NA    | NA   |
| PT                      | mg/L                       | NA                    | NA      | NA                                     | NA    | NA    | NA   |
| As                      | mg/L                       | 0.2                   | 0.4     | 0.1                                    | 0.15  | 0.2   | 0.4  |
| Cd                      | mg/L                       | 0.05                  | 0.1     | 0.1                                    | 0.15  | 0.05  | 0.1  |
| CN                      | mg/L                       | 2.0                   | 3.0     | 1.0                                    | 1.50  | 2     | 3    |
| Cu                      | mg/L                       | 4.0                   | 6.0     | 4.0                                    | 5.0   | 4     | 6    |
| Cr                      | mg/L                       | 0.5                   | 1.0     | 0.5                                    | 0.75  | 0.5   | 1    |
| Hg                      | mg/L                       | 0.005                 | 0.01    | 0.005                                  | 0.008 | 0.005 | 0.01 |
| Ni                      | mg/L                       | 2.0                   | 4.0     | 2.0                                    | 3.0   | 2     | 4    |
| Pb                      | mg/L                       | 5.0                   | 10.0    | 0.2                                    | 0.3   | 5     | 10   |
| Zn                      | mg/L                       | 10.0                  | 20.0    | 10                                     | 15.0  | 10    | 20   |
| CF                      | NMP/100 ml                 | 1000                  | 2000    | NA                                     | NA    | NA    | NA   |
| HH                      | H/L                        | 1                     | 1       | 1                                      | 1     | NA    | NA   |
| DQO                     | mg/L                       |                       |         | 150                                    | 180   | NA    | NA   |
| COT                     | mg/L                       |                       |         | 38                                     | 45    | NA    | NA   |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 ml                 |                       |         | 250                                    | 500   | NA    | NA   |
| Color                   | Long. De onda              |                       |         | Coeficiente absorción Espectral máximo |       |       |      |
|                         | 436 nm<br>525 nm<br>620 nm |                       |         | 7.0 m-1<br>5.0 m-1<br>3.0 m-1          |       |       |      |

PM: Promedio mensual

PD: Promedio diario

### 10.3. Análisis de la memoria de cálculo

A continuación, se muestran los datos que se utilizaron en el diseño de la PTAR y que se encuentran en la memoria de cálculo de proporcionada por el organismo operador, además del análisis de la información.

#### 10.3.1. Datos de diseño

##### 10.3.1.1. Caudal

Los caudales utilizados para el diseño de la PTAR fueron:

- Medio de 1,900 L/s
- Máximo de 2,750 L/s
- Mínimo de 758 L/s

##### 10.3.1.2. Características de influente

En la Tabla 4 se muestra la calidad del agua de entrada a la PTAR utilizada en el diseño.

**Tabla 68 Calidad del agua de entrada de diseño**

| Parámetro                            | Concentración       |
|--------------------------------------|---------------------|
| pH                                   | 6.84                |
| Grasas y aceites (mg/L)              | 89.00               |
| Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) | 319.00              |
| Demanda química de oxígeno (mg/L)    | 620.00              |
| Nitrógeno amoniacal (mg/L)           | 24.00               |
| Nitrógeno total (mg/L)               | 40.00               |
| Fósforo total (mg/L)                 | 15.00               |
| Sólidos suspendidos totales (mg/L)   | 389.00              |
| Conductividad (mg/L)                 | 1,338.00            |
| Coliformes fecales (NMP/100 ml)      | 2.8X10 <sup>6</sup> |

##### 10.3.1.3. Población y caudal de agua residual por año

En la Tabla 69 se muestra la tendencia de incremento de población en la ciudad de Torreón y por tanto del caudal de agua residual.

**Tabla 69 Población y caudal**

| <b>Año</b> | <b>Población</b> | <b>Caudal (L/s)</b> |
|------------|------------------|---------------------|
| 1990       | 500,266          | 1,051               |
| 1995       | 578,546          | 1,216               |
| 2000       | 669,076          | 1,406               |
| 2005       | 745,096          | 1,566               |
| 2010       | 829,752          | 1,744               |

### **10.3.2. Criterios de diseño**

Debido a que el agua residual tratada es dispuesta en suelo para su posterior reúso en la agricultura, la NOM-001-SEMARNAT-1996 estipula que para este uso no aplican límites máximos permisibles para los siguientes parámetros; temperatura, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total y por otra parte en las condiciones particulares de descarga no se contemplan los coliformes fecales ni los huevos de Helminto.

El organismo operador SIMAS seleccionó como sistema de tratamiento de aguas residuales las lagunas de estabilización, ya que se cuenta con el terreno que presenta una pendiente ligera y con una permeabilidad apropiada, además de que su construcción es económica, así como su operación.

#### **10.3.2.1. Pretratamiento**

- Se menciona el diseño de tres rejillas manuales antes de los desarenadores, pero físicamente no hay en la planta. En la PTAR hay 2 rejillas gruesas y una fina, sin embargo, en la memoria de cálculo no se especifica que sean esas.
- La memoria de cálculo presenta datos de cómo se diseñaron las rejillas manuales, los cuales son correctos.
- Se mencionan características de desarenadores aireados pero físicamente en la PTAR no existen.
- Físicamente se tienen tres canales desarenadores, pero no existe memoria de su cálculo.

### 10.3.2.2. Lagunas

Se considera solo para el diseño una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del influente de 319 mg/L.

#### 10.3.2.2.1. Lagunas anaerobias

El sistema es modular y consta de 6 lagunas; 4 de 350 L/s y 2 de 250 L/s.

Se fijó del tiempo de retención hidráulico de 4.9 días para las de 350 L/s y de 4.8 días para las de 250 L/s. No se da referencia de este valor y con éste se realizan los cálculos siguientes.

Se establece una profundidad de 3 m para ambas lagunas.

Para las de 350 L/s no se cita ancho y largo, área de 49,659 m<sup>2</sup>, volumen de 49,659 m<sup>3</sup>. Carga orgánica volumétrica 0.065 kg/m<sup>3</sup> d. Carga orgánica superficial 1,941 kg/ha d.

Se espera una salida de coliformes fecales de 111,843 NMP/100 ml.

Para las de 250 L/s el ancho es de 150.725 m y largo de 228.725 m, área de 34,474.58 m<sup>2</sup>, volumen de 103,423.73 m<sup>3</sup>. Carga orgánica volumétrica 0.067 kg/m<sup>3</sup> d. Carga orgánica superficial 1,997 kg/ha d.

Se espera una salida de coliformes fecales de 215,305 NMP/100 ml.

Considera que la remoción de DBO será del 55%, por lo que a la salida de estas lagunas se espera una DBO de 143.55 mg/L.

#### 10.3.2.2.2. Lagunas facultativas

El sistema es modular y consta de 6 lagunas; 4 de 350 L/s y 2 de 250 L/s.

Se fijó del tiempo de retención hidráulico de 8.6 días para las de 350 L/s y de 8.95 días para las de 250 L/s.

Se establece una profundidad de 2 m para ambas lagunas.

Para lagunas de 350 L/s las dimensiones son de 154.30 m de ancho y de 843.25 m de largo, área de 130,113.5 m<sup>2</sup>, volumen de 260,227 m<sup>3</sup>. Carga orgánica volumétrica 0.017 kg/m<sup>3</sup> d. Carga orgánica superficial 333.63 kg/ha d.

Se espera una salida de coliformes fecales de 772 NMP/100 ml

Se espera una salida de DBO de 31 mg/L.

Para las de 250 L/s el ancho es de 150.725 m y largo de 641.525 m, área de 96693.83 m<sup>2</sup>, volumen de 193387.71 m<sup>3</sup>. Carga orgánica volumétrica 0.012 kg/m<sup>3</sup> d. Carga orgánica superficial 320.6 kg/ha d.

Se espera una salida de coliformes fecales de 1,819 NMP/100 ml.

Se espera una salida de DBO<sub>5</sub> de 32 mg/L.

Con esta información y empleando la ecuación de Wehner y Wilhelm para un reactor de flujo disperso se calcula la eficiencia de remoción de materia orgánica y coliformes fecales. Los cálculos se comprobaron y son correctos. Sin embargo, aunque los resultados determinan teóricamente que las lagunas facultativas son suficientes para lograr una concentración de coliformes fecales en el efluente de alrededor de 1,000 NMP/100 ml, la concentración de coliformes del influente que se consideró para el diseño fue muy baja, con valores atípicos para aguas residuales municipales. Por lo que, se debieron considerar valores más altos de diseño para este parámetro y por lo tanto, el dimensionamiento de una laguna de maduración para realizar la desinfección.

En resumen, la memoria de cálculo no presenta como requerimiento de diseño una calidad de agua de entrada ni de salida, que pueda ser referente a la NOM-001- SEMARNAT-1996, solo se basa en la DBO y CF. Además, se establece un TRH en las lagunas que no tiene una referencia y con éste se dimensionan las mismas.

#### **10.4. Análisis de la información histórica de calidad del agua**

En el Anexo I se presentan una serie de tablas que muestran la calidad del agua de salida de la PTAR Torreón, que se reportó a la Comisión Nacional del Agua entre los años 2019 y 2021 al mes de julio.

Es importante mencionar que los parámetros que se reportaron son los que contempla la NOM-001-SEMARNAT-1996, y que representan más de los que se estipulan en el título de concesión de descarga.

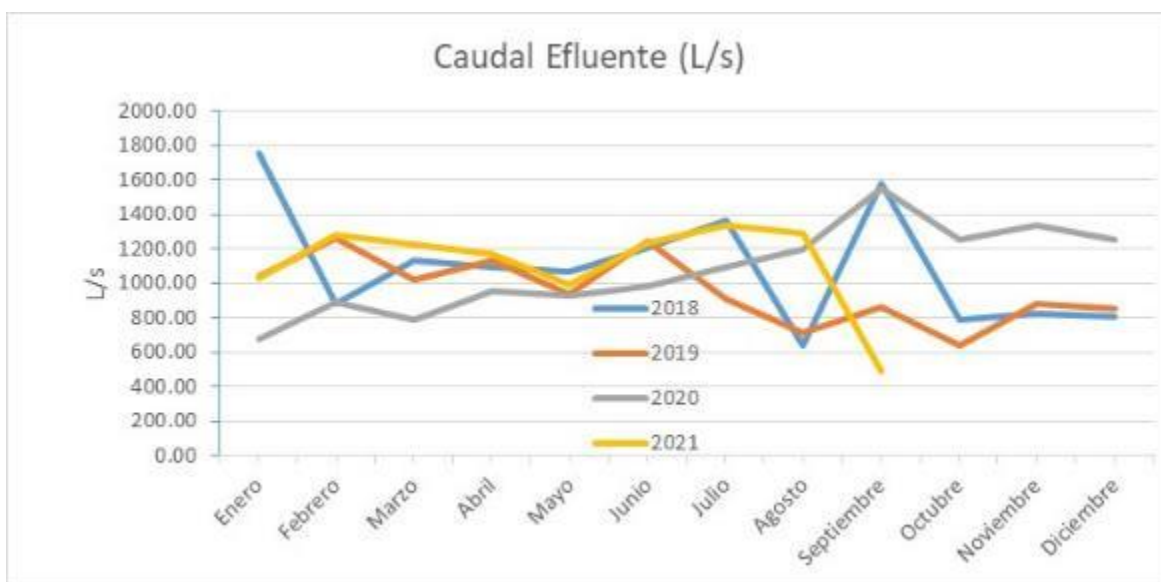
Por otra parte, para facilitar la interpretación de los resultados de los análisis, solo se graficaron parámetros de interés para el riego agrícola, como el caudal, DBO, DQO, SST, pH, grasas y aceites (G y A), y nutrientes.

A continuación, se presenta una discusión de los parámetros que se reportan cada mes a la Comisión Nacional del Agua, tomando como referencia la NOM-001-SEMARNAT-1996 “que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”, y considerando que el agua

residual tratada es descargada a suelo para uso agrícola. Así como en la NOM-001-SEMARNAT-2021. “que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación”. Para esta discusión se tomaron como referencia los valores de los promedios mensuales.

### 10.4.1. Caudal

Si bien la capacidad de tratamiento de la PTAR de Torreón es de 1,900 L/s, en el año de 2018 operó a un caudal promedio de 1,095 L/s (Figura 183), lo que representa el 57.63% de su capacidad, en 2019 fue de 958 L/s (50.42%), en 2020 fue de 1,078 L/s (56.73%) y en 2021 fue de 1,181 L/s (62.16%).



**Figura 183 Tendencia del Caudal del efluente**

Observando la Figura 183, se aprecia un descenso en el caudal tratado durante los años 2018 y 2019, sin embargo, en los años 2020 y 2021, se muestra un incremento del caudal. A manera de resumen se presenta la Tabla 70.

**Tabla 70 Caudal tratado por año**

| Año  | Caudal tratado (L/s) |       |        |        |
|------|----------------------|-------|--------|--------|
|      | Promedio             | %     | Máximo | Mínimo |
| 2018 | 1,095                | 57.63 | 2,125  | 577    |
| 2019 | 958                  | 50.42 | 1,344  | 585    |
| 2020 | 1,078                | 56.73 | 2,024  | 667    |

| Año  | Caudal tratado (L/s) |       |        |        |
|------|----------------------|-------|--------|--------|
|      | Promedio             | %     | Máximo | Mínimo |
| 2021 | 1,181                | 62.16 | 1,397  | 983    |

### 10.4.2. pH

Al ser un proceso de tratamiento biológico, éste considera el uso de microorganismos, por lo que para que éstos se desarrollen adecuadamente deben coexistir en un rango de 6.0 a 8.5 unidades de pH. De acuerdo con lo que se observa en las tablas y gráficas el agua de salida presenta un pH en promedio cercano a 7.5 unidades, dentro de rango, lo que indica que en las lagunas existen microorganismos favorables para la estabilización de la materia orgánica.

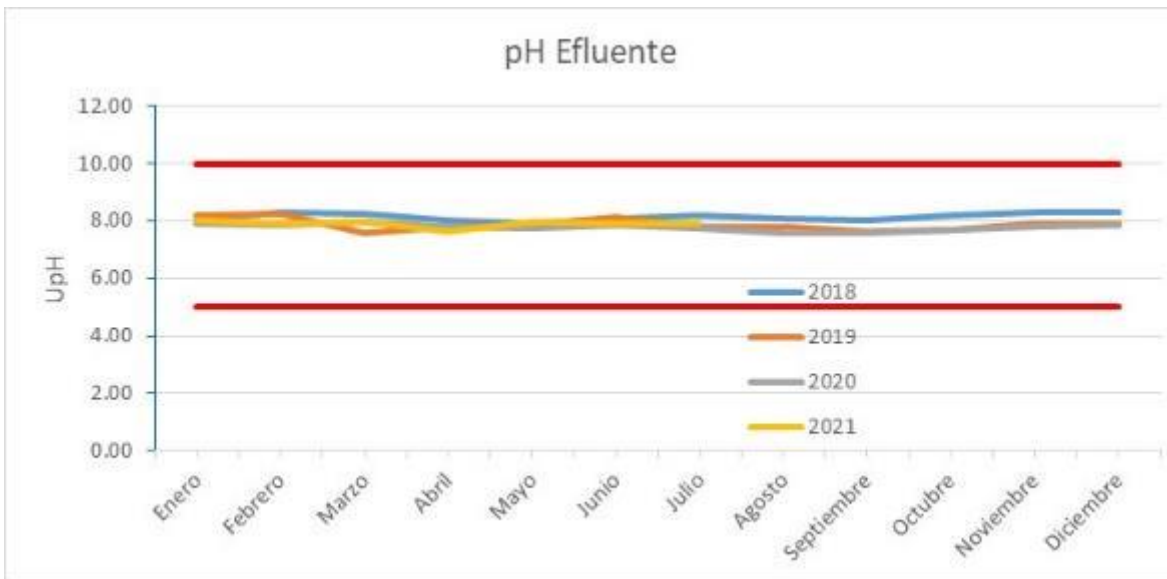
En la Tabla 71 se puede apreciar el comportamiento promedio anual y los valores máximos y mínimos que se presentaron en el periodo de estudio. Observándose un ligero descenso de 2018 a 2020.

**Tabla 71 pH por año**

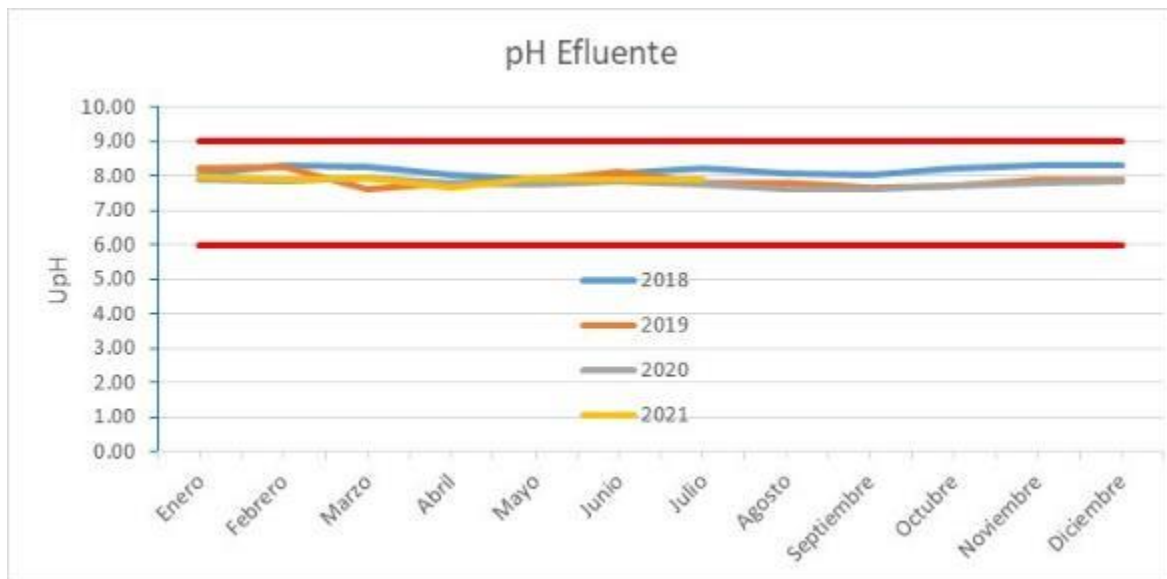
| Año  | pH       |        |        |
|------|----------|--------|--------|
|      | Promedio | Máximo | Mínimo |
| 2018 | 8.15     | 8.4    | 7.7    |
| 2019 | 7.88     | 8.3    | 7.4    |
| 2020 | 7.78     | 8.1    | 7.6    |
| 2021 | 7.89     | 8.2    | 7.6    |

Por otra parte, en la NOM-001-SEMARNAT-1996, se estipula un rango óptimo de descarga el cual se encuentra entre 5 a 10 unidades, y en la NOM-001-SEMARNAT-2021 entre 6 a 9, por lo que este parámetro cumple en el efluente de la PTAR (Figura 184 y Figura 185).





**Figura 184 Tendencia del pH del efluente con relación a la NOM-001-SEMARNAT-1996**



**Figura 185 Tendencia del pH del efluente con relación a la NOM-001-SEMARNAT-2021**

### **10.4.3. Huevos de Helmintos**

Con relación a los huevos de Helmintos y debido a los tiempos de residencia que tienen las lagunas, éstos son removidos, por lo que se reportan como menores a 1 H/L.

En la NOM-001-SEMARNAT-1996, y en la NOM-001-SEMARNAT-2021 se estipula como LMP 1 H/L, por lo que se cumple el parámetro en el efluente de la PTAR.

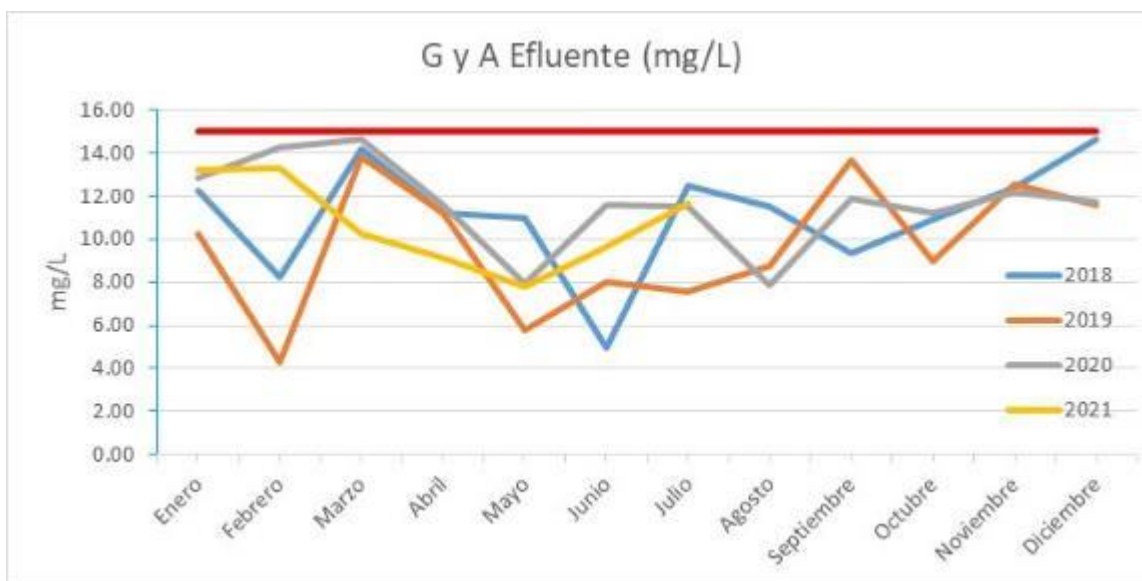
### **10.4.4. Coliformes fecales**

Debido a que el sistema de tratamiento no contempla lagunas de maduración y además, no se cuenta con un sistema de desinfección, los coliformes fecales no son eliminados, por lo que se reportaron como mayores o iguales a 2,400 NMP/100 ml, durante el periodo de análisis.

Por lo anterior, no se cumple con lo estipulado en la NOM-001-SEMARNAT-1996, la cual indica que la concentración no debe rebasar los 1000 NMP/100 ml.

### **10.4.5. Grasas y Aceites**

En la NOM-001-SEMARNAT-1996 y en la NOM-001-SEMARNAT-2021 se establece como límite máximo permisible para promedio mensual de grasas y aceites un valor de 15 mg/L (Figura 186) y como se puede observar en la Tabla 72, este valor no es rebasado, ya que la concentración máxima se encuentra por debajo de los 15 mg/L.



**Figura 186 Tendencia de grasas y aceites del efluente**

**Tabla 72 Grasas y Aceites por año**

| Año  | G y A (mg/L) |        |        |
|------|--------------|--------|--------|
|      | Promedio     | Máximo | Mínimo |
| 2018 | 11.10        | 14.65  | 4.90   |
| 2019 | 9.71         | 13.85  | 4.33   |
| 2020 | 11.6         | 14.62  | 7.86   |
| 2021 | 10.72        | 13.27  | 7.80   |

#### **10.4.6. Materia Flotante**

La materia flotante fue ausente en todos los resultados, por lo que se cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996.

#### **10.4.7. Conductividad eléctrica**

Si bien éste no es un parámetro que está contemplado en la NOM-001-SEMARNAT-1996, se reporta como un parámetro determinado en campo. Los valores no representan ningún problema para que el agua pueda ser reutilizada en la agricultura, ya que ésta fluctúa entre los 1,200 y 1,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### **10.4.8. Sólidos sedimentables**

La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que para los sólidos sedimentables no aplica, y en este caso en el periodo de estudio se reportó <1 ml/L, por lo que se cumple con la normatividad.

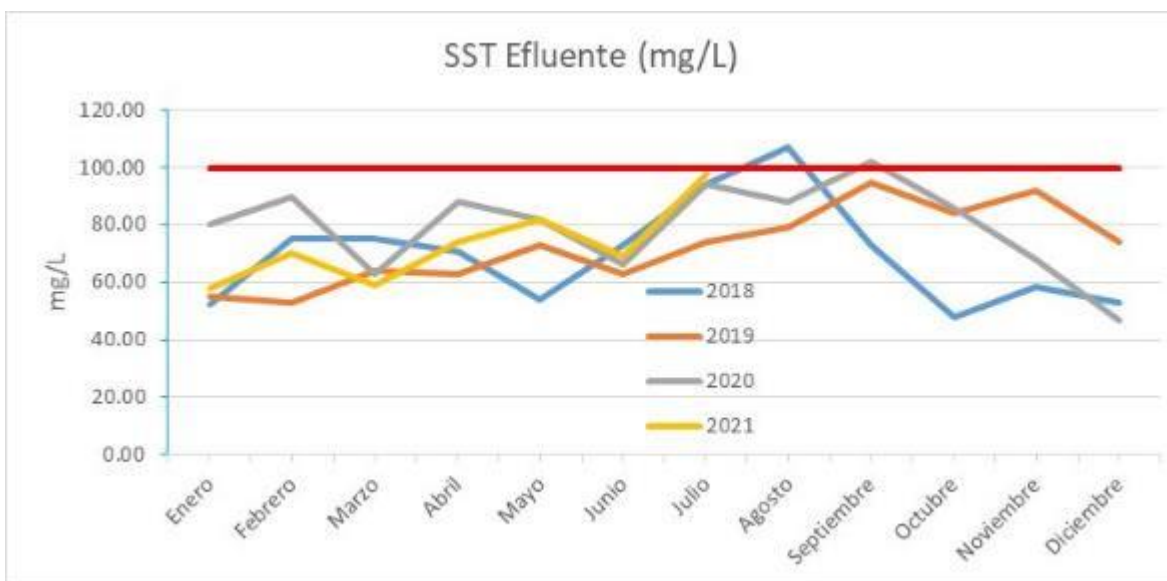
#### **10.4.9. Sólidos suspendidos totales (SST)**

En la Tabla 73 se pueden observar los valores promedio de cada año de estudio, así como las concentraciones máximas y mínimas de SST en el efluente de la PTAR.

**Tabla 73 Sólidos suspendidos totales por año**

| Año  | SST (mg/L) |        |        |
|------|------------|--------|--------|
|      | Promedio   | Máximo | Mínimo |
| 2018 | 69.53      | 106.99 | 47.99  |
| 2019 | 72.43      | 95.00  | 53.00  |
| 2020 | 79.52      | 102.00 | 63.00  |
| 2021 | 72.81      | 97.66  | 58.00  |

Estos datos muestran que se tienen concentraciones máximas de alrededor de 100 mg/L, y en promedio entre 70 y 80 mg/L, sin embargo, la NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que para los sólidos suspendidos totales no aplica, por lo que se cumple con la normatividad. Sin embargo, para la NOM-001-SEMARNAT-2021 se establece un máximo de 100 mg/L para promedio mensual, por lo que en los años 2018 y 2020 solo se rebasó en un mes (Figura 187).



**Figura 187** Tendencia de sólidos suspendidos totales del efluente

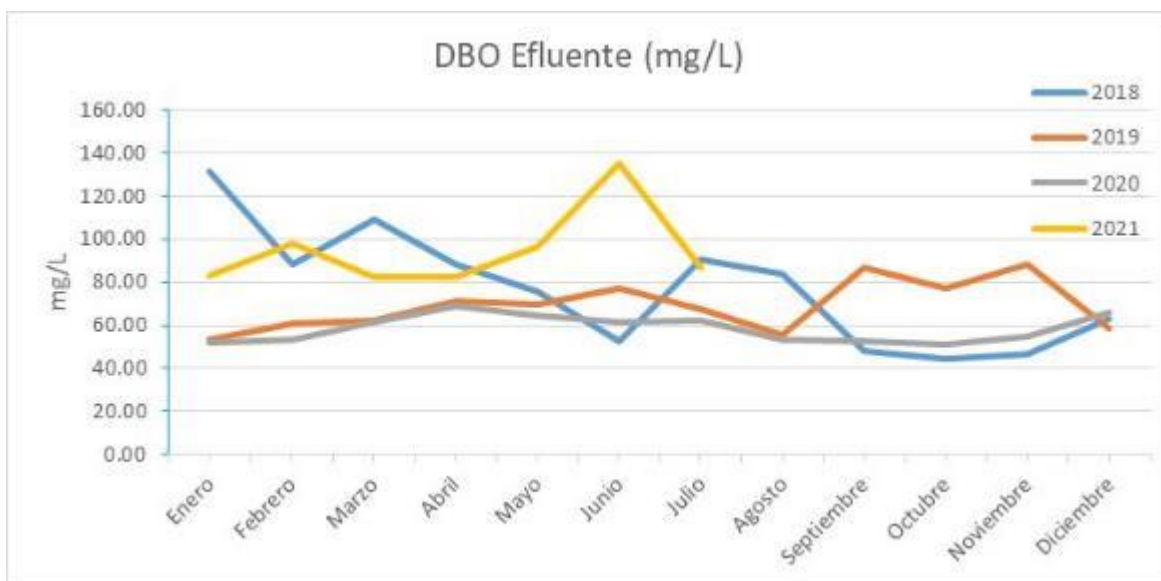
#### 10.4.10. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

En la Tabla 74 se pueden observar los valores promedio de cada año de estudio, así como las concentraciones máximas y mínimas.

**Tabla 74** Demanda bioquímica de oxígeno por año

| Año  | DBO (mg/L) |        |        |
|------|------------|--------|--------|
|      | Promedio   | Máximo | Mínimo |
| 2018 | 76.94      | 131.84 | 44.19  |
| 2019 | 69.02      | 188.10 | 53.30  |
| 2020 | 58.51      | 68.80  | 51.10  |
| 2021 | 94.89      | 135.17 | 82.10  |

Estos datos muestran que se tienen concentraciones máximas de alrededor de 170 mg/L, y los promedios anuales muestran un descenso en la concentración, lo que indica una mejora en la eficiencia de remoción de materia orgánica, sin embargo, en el 2021 la concentración promedio de DBO, hasta el mes de julio, supero la mostrada en años anteriores (Figura 188). Esto puede deberse al azolve que presentan las lagunas anaerobias. En la NOM-001-SEMARNAT-1996 no presenta un límite máximo permisible para este parámetro y la NOM-001-SEMARNAT-2021 no lo considera.



**Figura 188** Tendencia de la demanda bioquímica de oxígeno del efluente

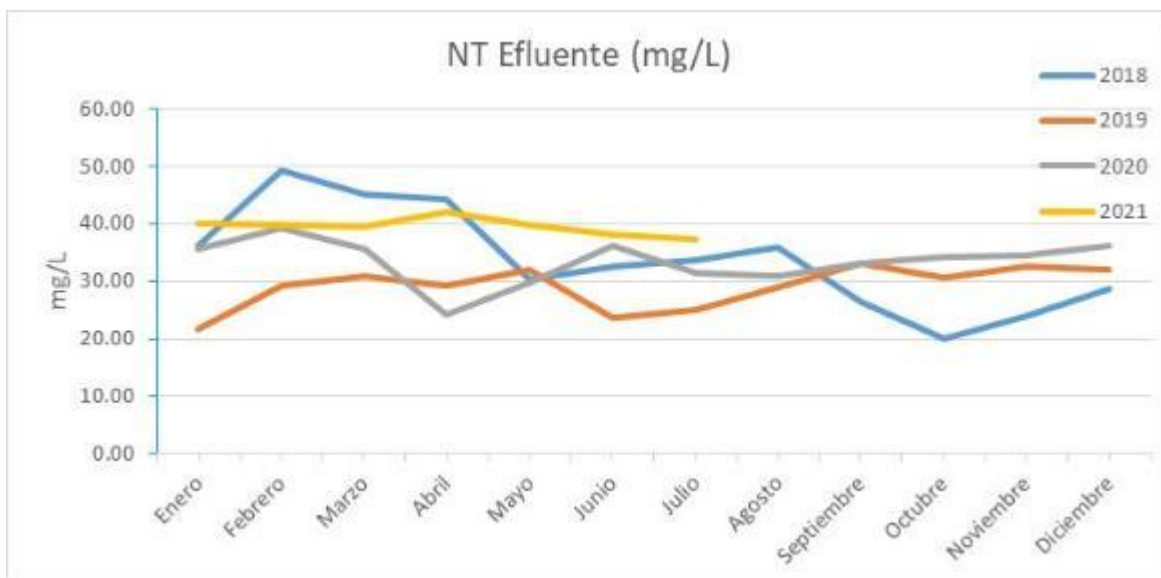
#### 10.4.11. Nitrógeno Total (NT)

A este parámetro están asociados el nitrógeno total Kjeldahl (NTK), nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal, y el reporte de calidad del agua presenta concentraciones de los tres primeros, sin embargo, solo el NT es de importancia para efectos de normatividad. Es necesario comentar, que en el reporte de análisis prácticamente las concentraciones del NTK y las del NT son muy similares, la diferencia entre ellos es la suma de los nitritos y nitratos. En la Tabla 75 se pueden observar los valores promedio de cada año de estudio, así como las concentraciones máximas y mínimas.

**Tabla 75** Nitrógeno Total por año

| Año  | NT (mg/L) |        |        |
|------|-----------|--------|--------|
|      | Promedio  | Máximo | Mínimo |
| 2018 | 33.89     | 49.41  | 20.05  |
| 2019 | 29.08     | 33.20  | 21.74  |
| 2020 | 33.43     | 39.31  | 24.30  |
| 2021 | 39.56     | 42.04  | 37.43  |

De los años estudiados, solo en el 2018 se observa una tendencia a la baja en la concentración de NT (Figura 189), en los restantes tres años se aprecia que la concentración presenta muy poca variación.

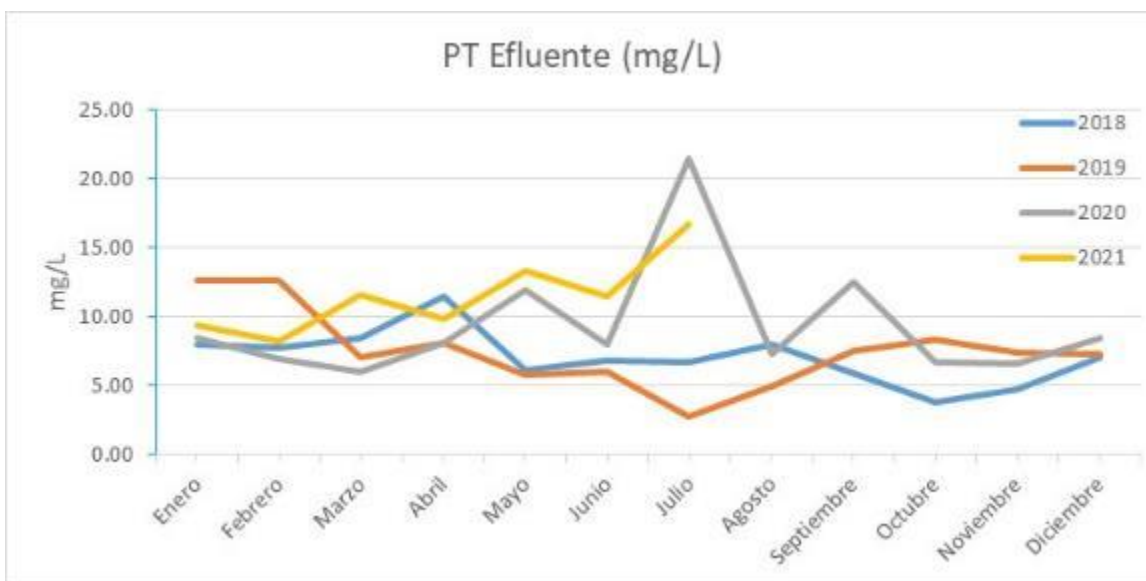


**Figura 189 Tendencia de nitrógeno total del efluente**

Por otra parte, la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021 establecen que para el NT no aplica, por lo que se cumple con la normatividad.

#### **10.4.12. Fósforo Total (PT)**

La Figura 190, en el año 2019 muestra un descenso de la concentración de PT de enero a julio, de 13 a 3 mg/L, sin embargo, posteriormente vuelve a incrementarse hacia el mes de noviembre, 7.4 mg/L. Por otra parte, en el año de 2021, se observa un incremento en la concentración de PT, de 8 a 17 mg/L.



**Figura 190 Tendencia de fósforo total del efluente**

En la Tabla 76 se pueden observar los valores promedio de cada año de estudio, así como las concentraciones máximas y mínimas.

**Tabla 76 Fósforo Total por año**

| Año  | PT (mg/L) |        |        |
|------|-----------|--------|--------|
|      | Promedio  | Máximo | Mínimo |
| 2018 | 7.05      | 11.49  | 3.74   |
| 2019 | 7.55      | 12.62  | 2.80   |
| 2020 | 9.36      | 11.94  | 5.96   |
| 2021 | 11.52     | 16.76  | 8.23   |

Tomando como referencia los valores promedio de PT, se puede concluir que la concentración de salida del sistema lagunar se ha incrementado paulatinamente a lo largo de los años.

### **10.4.13. Metales y Cianuro**

En este caso en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021 si se establecen límites máximos permisibles para descarga a suelo en uso agrícola, estos se presentan nuevamente en la Tabla 77.

**Tabla 77 Concentraciones de Metales y Cianuro**



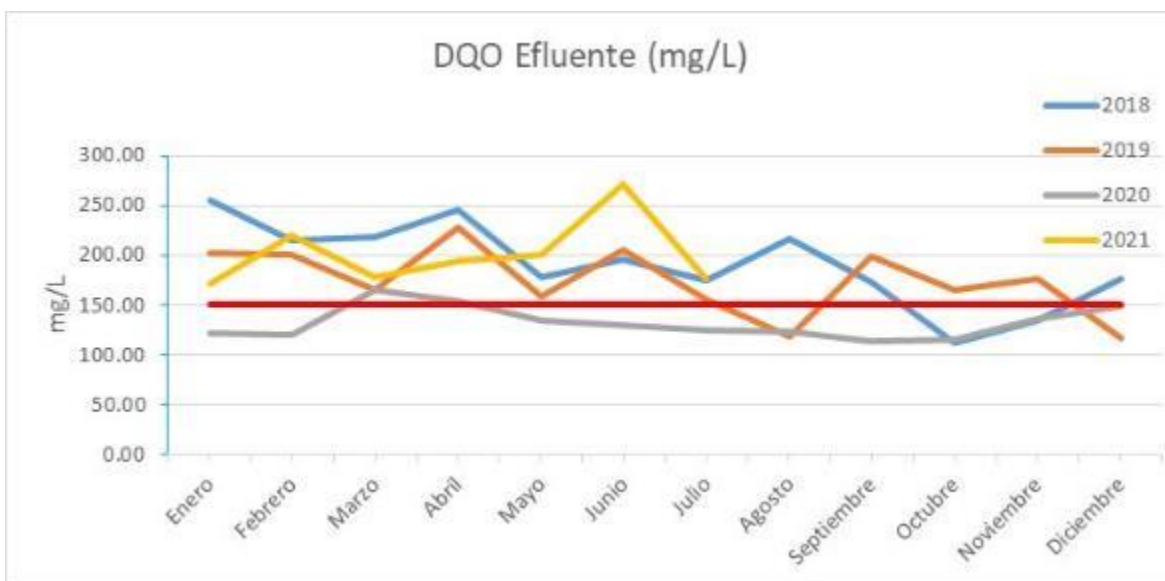
| <b>Parámetro</b> | <b>NOM-001-<br/>SEMARNAT-1996<br/>(mg/L)</b> | <b>NOM-001-<br/>SEMARNAT-2021<br/>(mg/L)</b> | <b>Reportado<br/>(mg/L)</b> |
|------------------|--|--|-----------------------------|
| Arsénico         | 0.2  | 0.1  | <0.05                       |
| Cadmio           | 0.05   | 0.1  | <0.002                      |
| Cianuro          | 2.0  | 1.0  | <0.025                      |
| Cobre            | 4.0  | 4.0  | <0.05                       |
| Cromo            | 0.5  | 0.5  | <0.05                       |
| Mercurio         | 0.005  | 0.005  | <0.003                      |
| Níquel           | 2.0  | 2.0  | <0.05                       |
| Plomo            | 5.0  | 0.2  | <0.05                       |
| Zinc             | 10.0   | 10   | <1                          |

Como se puede apreciar en la Tabla las concentraciones de los metales y cianuros fueron reportados menores a los límites de detección. Por lo tanto, siempre se cumplió con ambas normas. Además de las condiciones particulares establecidas.

#### **10.4.14. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Si bien este parámetro no está considerado en la NOM-001-SEMARNAT-1996, en la NOM-001-SEMARNAT-2021 se considera un límite máximo permisible de 150 mg/L.

En el año 2018 se observa un descenso de 250 (enero) a 100 mg/L (octubre) y posteriormente se incrementa hasta 260 mg/L nuevamente en enero de 2019, para descender en diciembre hasta los 120 mg/L, pero para 2020 las concentraciones prácticamente se mantienen entre los 100 y 140 mg/L. En 2021 la concentración si incrementa entre 170 a 180 mg/L, con algunos picos mayores a 200 y 300 mg/L (Figura 191).



**Figura 191 Tendencia de la demanda química de oxígeno del efluente. NOM-001-SEMARNAT-2021**

En la Tabla 78 se pueden observar los valores promedio de cada año de estudio, así como las concentraciones máximas y mínimas.

**Tabla 78 Demanda Química de Oxígeno por año**

| Año  | DQO (mg/L) |        |        |
|------|------------|--------|--------|
|      | Promedio   | Máximo | Mínimo |
| 2018 | 191.29     | 255.12 | 111.77 |
| 2019 | 174.45     | 228.36 | 117.22 |
| 2020 | 132.23     | 165.41 | 113.33 |
| 2021 | 201.75     | 271.89 | 175.83 |

Las concentraciones promedio anuales de los tres primeros años indican una mejora en la calidad del agua, sin embargo, hasta julio de 2021 la DQO se incrementó de una manera importante. Sin embargo, no se cumple con el LMP de 150 mg/L que establece la NOM-001-SEMARNAT-2021.

En resumen, se aprecia un incremento en el último año de DBO, DQO, NT y PT, lo cual puede estar asociado a un incremento en el caudal, lo que afecta directamente el tiempo de residencia hidráulico, y por lo tanto se tiene menor tiempo de tratamiento del agua dentro del sistema lagunar.

Por otra parte, al ser descargada el agua residual tratada a suelo, para uso en riego agrícola, y de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1966, algunos parámetros no presentan límites máximos permisibles y los que si los tienen cumplen con la normatividad. Sin embargo, para la NOM-001-SEMARNAT-2021 se tendrá que poner atención en el parámetro de DQO, ya que éste no ha cumplido en ningún año.

Es este momento y considerando las Condiciones Particulares de Descarga fijadas al efluente de la PTAR, la calidad del agua tratada es satisfactoria para su reuso en la agricultura.

## **10.5. Análisis de la información del Proceso**

### **10.5.1. Análisis rutinarios**

Actualmente la PTAR cuenta con un laboratorio equipado, pero se encuentra fuera de servicio, por lo que no se cuenta con la información de análisis rutinarios.

### **10.5.2. Manual de operación**

El sistema operador proporcionó el manual de operación de la PTAR en el que se detalla la forma de operación de cada una de las unidades que componen el tren de tratamiento.

### **10.5.3. Reportes de operación (bitácoras)**

Con relación a reportes de operación, se proporcionó información de la bitácora de operación escaneada en el periodo de 03/11/2019 a 07/08/2021, sin embargo, en ésta solo se describen actividades de mantenimiento rutinario o de reparación del sistema de tratamiento.

### **10.5.4. Mantenimiento**

No se proporcionó el programa de mantenimiento anual, además se comentó que se cuenta con un archivo de las órdenes de mantenimiento pero que no era posible proporcionarlo, por lo que se desconoce el alcance del mantenimiento de la PTAR.

Por otra parte, como se comentó en el punto anterior, en la información de la bitácora se menciona de una manera vaga el mantenimiento que se le proporciona a la PTAR, como la reparación de algunas bombas.

## 11. ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

### 11.1. Descripción de las unidades de proceso

El agua residual proveniente del municipio de Torreón ingresa a la PTAR a través de un cárcamo. Durante el pretratamiento, el agua residual pasa a través de dos canales de un metro de ancho cada uno. En cada canal se encuentran dos rejillas gruesas (rejillas de desbaste) separadas por un metro de distancia (una en operación y una en reserva). Cada rejilla mide 1x1.18 m, teniendo una abertura de 38.1 mm con un total de 22 barras en cada rejilla (Figura 192).



**Figura 192 Rejillas gruesas**

Después de las rejillas gruesas, el agua residual pasa a través de tres compuertas deslizables que dividen el flujo en tres canales desarenadores de sección trapecial y garganta rectangular vertical. La limpieza de los desarenadores es mecánica por barrido del fondo y descarga a tolva de arenas. La extracción de las arenas se realiza a través de un equipo de bombeo sumergible, el cual descarga a un equipo separador y lavador de arenas. Cada desarenador mide 2.5 m de ancho, 14.5 m de largo y 2.15 m de profundidad (Figura 193).



**Figura 193 Desarenadores**

A la salida de los canales desarenadores, se encuentran dos rejillas finas de limpieza mecánica y una rejilla fina de limpieza manual (en reserva), cada una se encuentra colocada en un canal de 1.20 m de ancho. Cada rejilla mide 1.20x1.22 m, teniendo una abertura de 19.05 mm con un total de 47 barras en cada rejilla (Figura 194).



**Figura 194 Rejillas finas**

Una vez que el agua residual pasa por el pretratamiento, es enviada a un cárcamo de bombeo denominado Cereso II, en el cual se encuentran cinco bombas sumergidas que descargan el agua en una caja distribuidora elevada a 4 m del terreno y la cual descarga a tres vertedores rectangulares que controlan la entrada del flujo por gravedad al sistema lagunar de la planta (Figura 195).



**Figura 195 Cárcamo de bombeo y caja distribuidora**

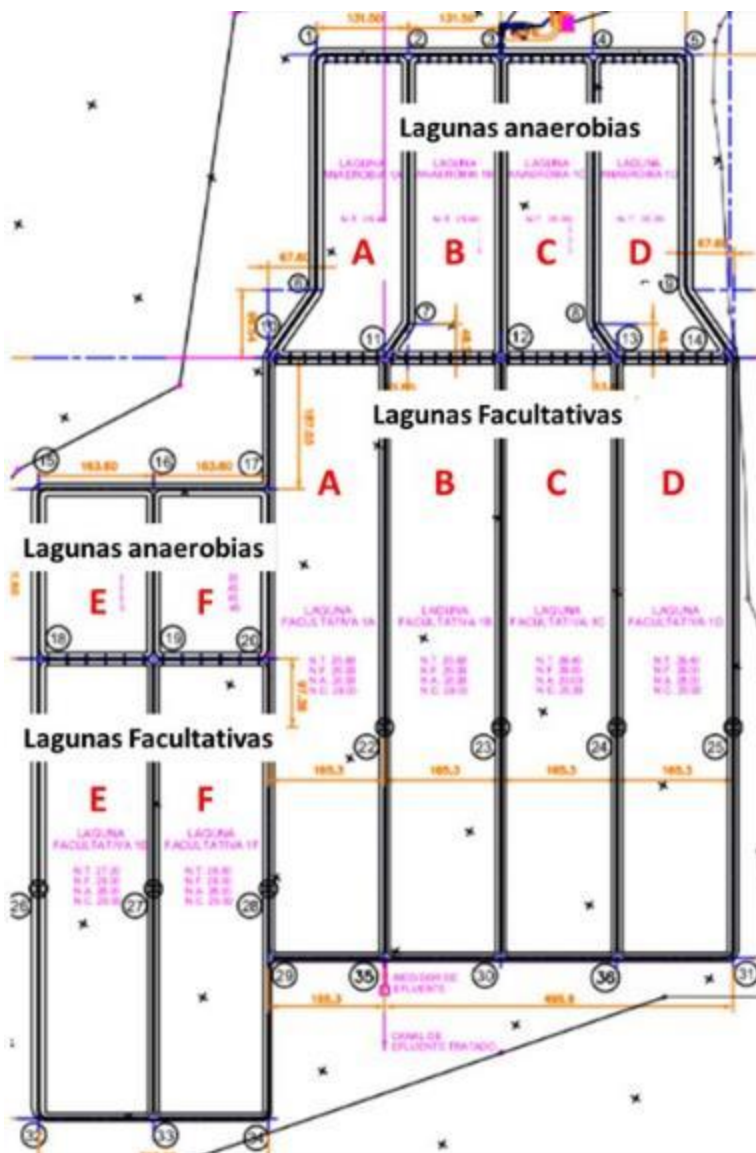
La planta de tratamiento está compuesta de seis módulos (A-F) conformados cada uno por una laguna anaerobia seguida de una laguna facultativa (Figura 196 y Figura 197). Las lagunas A-D tienen un gasto medio de 350 L/s y un gasto máximo de 552.5 L/s, mientras que las lagunas E y F tienen un gasto medio de 250 L/s y un gasto máximo de 395 L/s.

Cada laguna anaerobia A-D consta 8 cajas de distribución de flujo de 1 m de ancho, las cuales operan con un gasto máximo de 69 L/s y un gasto medio de 44 L/s. Las lagunas E y F cuentan con 6 cajas de distribución de flujo y operan con un gasto máximo de 66 L/s y un gasto medio de 42 L/s.



**Figura 196 Vista aérea del sistema lagunar de la PTAR Torreón**

Las lagunas no cuentan con un recubrimiento, únicamente tienen una superficie de arcilla en el fondo, lo cual impide el paso del agua hacia el subsuelo.



**Figura 197 Módulos de lagunas**

El agua tratada en los seis módulos lagunares descarga a canales recolectores paralelos a los bordos de salida, los cuales confluyen en un solo canal que alimenta a un medidor de gasto tipo Parshall de 6 pies de ancho de garganta (Figura 198).



**Figura 198 Canales recolectores del agua tratada**

El canal Parshall descarga a un tanque de almacenamiento que cuenta con un sistema de bombeo que envía el agua tratada a los sistemas de riego de la zona (Figura 199). El tanque de almacenamiento tiene una capacidad de 210 m<sup>3</sup>.





**Figura 199 Canal Parshall y tanque de almacenamiento**

### ***11.1.1. Estado de las unidades de proceso***

Antes de que el agua residual llegue a la planta, ésta es bombeada desde los cárcamos La Joya y El Cereso II, en donde se eliminan la mayoría de los sólidos gruesos (basura) que arrastra el agua residual. Por lo que, en el pretratamiento de la PTAR no se generan grandes cantidades de basura ni arenas, en la Figura 200 se presenta una imagen del pretratamiento en el cárcamo La Joya.



**Figura 200 Cárcamo la Joya**

Durante el recorrido en campo para el llenado de formatos y la evaluación *in situ* de la PTAR se pudo percibir un olor a ácido sulfhídrico en el canal de llegada a la PTAR, esto probablemente por el tiempo prolongado que pasa el agua residual en el alcantarillado antes de llegar a la planta. Debido a esta problemática, se tenía instalado un biofiltro para el tratamiento de los gases, sin embargo, actualmente no se encuentra funcionando (Figura 201).



**Figura 201 Biofiltro para el tratamiento de gases**

El desarenador se encuentra fuera de operación desde mayo de 2021, debido a la falta de una sección de la tubería que conduce las arenas hacia la tolva (Figura 202).



**Figura 202 Tolva de arenas y desarenador fuera de operación**

En el caso de las lagunas, se observó que todas se encuentran en operación, excepto la laguna anaerobia C, pues se encuentra en fase de secado de lodos, para su posterior extracción, por lo cual se dejó de alimentar. La laguna facultativa C se encuentra en operación ya que se instaló una conexión para pasar agua residual proveniente de la laguna D (Figura 203). Se tiene planeado realizar estas conexiones en el resto de las lagunas facultativas para que puedan continuar funcionando cuando las anaerobias entren en mantenimiento.



**Figura 203 Laguna anaerobia C y conexión entre laguna facultativa C y D**

Desde el arranque de la PTAR se ha realizado solamente la limpieza de las lagunas anaerobias A y B en el año 2016 y 2019, respectivamente. De acuerdo a los datos del personal de SIMAS, se estima que la acumulación de lodos en las lagunas anaerobias es de 10 cm por año, por lo que las lagunas anaerobias D, E y F, deben tener un manto de lodos en promedio de 1.5 m, es decir un 50% del total de la profundidad (3 m), lo que implica una disminución del volumen y por tanto del tiempo de residencia hidráulico, lo que al final afecta negativamente la eficiencia del proceso anaerobio, por lo que se sugiere programar lo antes posible una limpieza de las mismas.

Para el caso de las lagunas facultativas, se estima que el manto de lodos es de 3 a 5 cm, sin embargo, en el recorrido se observó un crecimiento de maleza acuática en algunas zonas, además de algunos cortocircuitos o canales preferenciales, lo que probablemente indique que el manto de lodos sea mayor en algunas zonas (Figura 204).



**Figura 204 Maleza en lagunas facultativas y canales preferenciales**

De acuerdo información del personal de SIMAS y a lo que se pudo observar durante el recorrido, cuando entro en operación la PTAR, las lagunas contaban con mamparas para evitar cortos circuitos, sin embargo, éstas tuvieron un tiempo de vida de aproximadamente tres años, aunque aún se observan algunas partes de lo que queda de ellas (Figura 205). Estas mamparas se encontraban a una distancia unas de otras de 160 m en las lagunas anaerobias A a D y de 90 m en las lagunas anaerobias E y F. En las lagunas facultativas la distancia entre mamparas era de 210 m en las lagunas A a D y de 140 m en las lagunas E y F. Una vez que las mamparas se rompieron no fueron sustituidas por falta de presupuesto.



**Figura 205 Restos de mamparas en lagunas facultativas B y C**

En la Tabla 79 y la Tabla 80 se muestran las características de las lagunas.

**Tabla 79 Dimensiones de las lagunas de la PTAR**

| Fuente             | Laguna      | 350 L/s (A-D) |            | 250 L/s (E-F) |           |
|--------------------|-------------|---------------|------------|---------------|-----------|
|                    |             | Ancho (m)     | Largo (m)  | Ancho (m)     | Largo (m) |
| Memoria de cálculo | Anaerobia   | No reporta    | No reporta | 150.725       | 228.725   |
|                    | Facultativa | 154.30        | 843.25     | 150.725       | 641.525   |
| Planos             | Anaerobia   | 128.0 - 161.8 | 428.00     | 160.1         | 238.1     |
|                    | Facultativa | 161.8         | 850.75     | 160.1         | 650.9     |
| Medición en campo  | Anaerobia   | 122.5 - 155.0 | 430.00     | 164.0         | 240.0     |
|                    | Facultativa | 155.0         | 854.00     | 164.0         | 654.0     |

**Tabla 80 Especificaciones actuales de las lagunas de la PTAR**

| Laguna              | Ancho (m) | Largo (m) | Relación largo/ancho | Área (m <sup>2</sup> ) | Profundidad (Tirante de agua) (m) | Volumen útil (m <sup>3</sup> ) | Caudal operación (L/s) | TRH (días) |
|---------------------|-----------|-----------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------|
| <b>Anaerobias</b>   |           |           |                      |                        |                                   |                                |                        |            |
| A                   | 122.5     | 430       | 3.51                 | 52,675                 | 2.4 a 2.7                         | 134,321                        | 322                    | 4.83       |
| B                   | 122.5     | 430       | 3.51                 | 52,675                 | 2.7 a 2.8                         | 144,856                        | 322                    | 5.21       |
| C                   | 122.5     | 430       | 3.51                 | 52,675                 | Fuera de operación                |                                |                        |            |
| D                   | 122.5     | 430       | 3.51                 | 52,675                 | 1.5 a 2.0                         | 92,181                         | 322                    | 3.31       |
| E                   | 164       | 240       | 1.46                 | 39,360                 | 1.5 a 2.0                         | 68,880                         | 192                    | 4.15       |
| F                   | 164       | 240       | 1.46                 | 39,360                 | 1.5 a 2.0                         | 68,880                         | 192                    | 4.15       |
| <b>Facultativas</b> |           |           |                      |                        |                                   |                                |                        |            |
| A                   | 155       | 854       | 5.51                 | 132,370                | 1.95 a 1.97                       | 259,445                        | 322                    | 10.13      |
| B                   | 155       | 854       | 5.51                 | 132,370                | 1.95 a 1.97                       | 259,445                        | 322                    | 10.13      |
| C                   | 155       | 854       | 5.51                 | 132,370                | 1.95 a 1.97                       | 259,445                        | 161                    | 20.26      |
| D                   | 155       | 854       | 5.51                 | 132,370                | 1.95 a 1.97                       | 259,445                        | 161                    | 20.26      |
| E                   | 164       | 654       | 3.99                 | 107,256                | 1.95 a 1.97                       | 210,222                        | 192                    | 12.85      |
| F                   | 164       | 654       | 3.99                 | 107,256                | 1.95 a 1.97                       | 210,222                        | 192                    | 12.85      |

En relación con los TRH solo en la laguna anaerobia D se ha reducido considerablemente, y esto es debido a la acumulación de lodos. En la E y F también se nota la influencia del lodo en el TRH.

El personal de SIMAS mencionó que en el proyecto original no se consideraron lagunas de maduración, para efectuar una desinfección natural, debido a un error en la memoria de cálculo, por lo que, en los resultados de calidad del agua que entregan a CONAGUA, la concentración de coliformes fecales es superior a 2,400 NMP/100 ml. Debido a esta situación tienen considerada la adquisición de un equipo de electrofrecuencia para la desinfección del agua.

Con respecto al canal Parshall, éste se encuentra en funcionamiento adecuado.

### **11.1.2. Estado físico de las instalaciones de la PTAR**

En general el estado de la obra civil del pretratamiento es bueno, se da mantenimiento y pintura una vez al año. El estado de las instalaciones metálicas es regular, ya que se observó en ciertas zonas corrosión de tuberías, barandales, tapas y piso metálico. Además, se encontró un poco de basura alrededor de la zona de pretratamiento (Figura 206).





**Figura 206 Estado físico del pretratamiento**

En caso del estado de la obra civil de la zona de lagunas, este es bueno, los bordos de las lagunas y caminos se encuentran en buen estado (Figura 207). Se realiza la limpieza y desyerbe de los alrededores de las lagunas, sin

embargo, dentro de las lagunas no se ha realizado un mantenimiento adecuado.



**Figura 207 Estado físico de la obra civil y caminos en el sistema lagunar**

En el caso del estado físico de la sección final de la PTAR en el que confluyen los efluentes de las lagunas facultativas y el agua es enviada al tanque de almacenamiento para su posterior envío al distrito de riego, se encontró que el estado de la obra civil es bueno, sin embargo, las instalaciones metálicas y tuberías se observan con corrosión (Figura 208), lo que implica una falta de mantenimiento en dicha zona.



**Figura 208 Estado físico de la sección final de la PTAR**

### **11.1.3. Equipos electromecánicos**

Se realizó el levantamiento de los equipos electromecánicos de la PTAR Torreón. En general se encontró que se da mantenimiento una o dos veces al año a los equipos, los cuales no son muy numerosos ya que solo se utilizan en el área de pretratamiento y en el tanque de almacenamiento final, esto porque el sistema de tratamiento lagunar opera por medio de gravedad.

La PTAR cuenta con un Centro de Control de Motores (CCM), un transformador, una planta de emergencia y una subestación eléctrica ubicadas en el área de pretratamiento, sin embargo, en relación a ésta última, el personal de la PTAR ha solicitado su reubicación debido a que el área en el que se encuentran es susceptible a inundación, puesto que el terreno es más bajo que la zona de lagunas. La zona de rejillas y desarenadores se encuentra 5 m abajo del nivel de lagunas para que la

entrada del agua residual que proviene de cárcamo Cereso II fuera por gravedad.

El estado físico de los equipos electromecánicos y de la obra civil donde se resguardan es bueno, a pesar de que son los mismos desde el inicio de operación de la PTAR (Figura 209).



**Figura 209 CCM, planta de emergencia y subestación eléctrica**

En la zona de pretratamiento los equipos electromecánicos que se encuentran son; polipastos para manipular las rejillas gruesas, rejillas mecánicas finas, rastras de arena, compactadores de basura y bombas de agua residual a lagunas. El estado general de estos equipos es regular ya que requieren mantenimiento, sin embargo, de las cinco bombas que envían el agua a la caja de distribución, cuatro se encuentran en mal estado, ya que presentan fugas de agua, y una está en reparación (Figura 210).



**Figura 210 Estado físico de bombas del cárcamo a lagunas**

Para solventar la problemática o necesidades actuales de la PTAR, que se han descrito anteriormente, el SIMAS elaboró un “Programa de Ingresos y Egresos de la Gerencia de Saneamiento” en donde se presenta una estimación de los egresos para el año 2022, en el cual se plantea que se requiere de una inversión de \$54 499,898.50 para solventar los requerimientos de la planta (Tabla 81).

**Tabla 81 Estimación de egresos para el año 2022. Gerencia de Saneamiento SIMAS Torreón.**

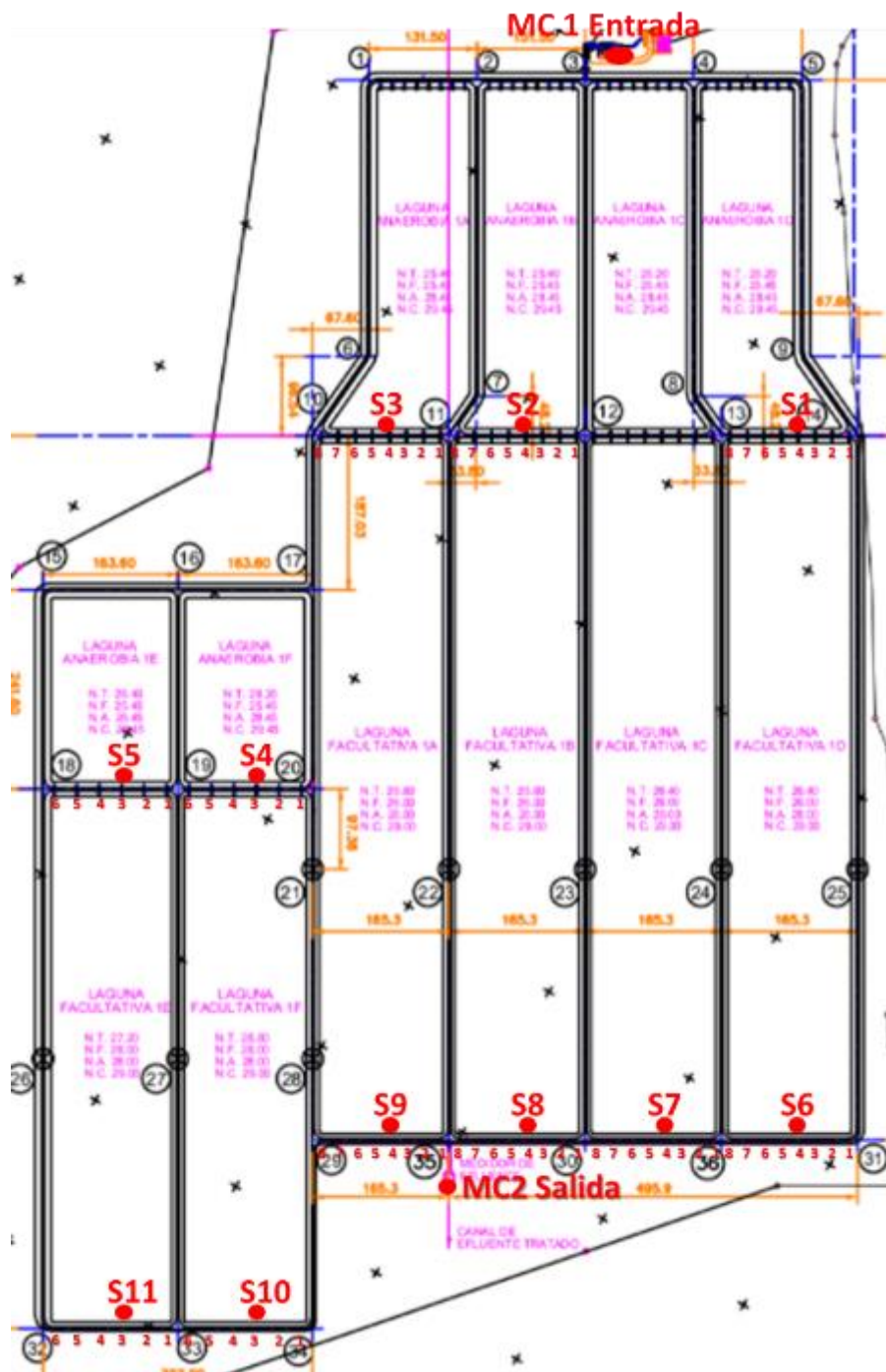
| <b>No.</b>   | <b>Concepto</b>   | <b>Monto</b>           |
|--------------|---|------------------------|
| 1            | Lodos de la Laguna C, D, E y F  | \$12 600,000.00        |
| 2            | Compra de 5 equipos de bombeo Cereso II   | \$15 245,000.00        |
| 3            | Tubos de descarga en caja distribuidora   | \$2,739,178.50         |
| 4            | Tubos para bombas para alimentar caja de distribución   | \$23 700,000.00        |
| 5            | Electrocoagulación PCRI   | \$6 876,000.00         |
| 6            | Compra de camionetas  | \$980,000.00           |
| 7            | Reparaciones y mantenimiento PTAR   | \$5 670,000.00         |
| 8            | Sistema de transferencia de planta de emergencia  | \$1 280,000.00         |
| 9            | Mantenimiento y adquisición de equipos de laboratorio   | \$459,720.00           |
| 10           | Frecuencias electromagnéticas para el control de coliformes fecales   | \$3 500,000.00         |
| 11           | Adquisición de retroexcavadora para mantenimiento de caminos, manejo de residuos vegetales y zanja perimetral | \$1 100,000.00         |
| 12           | Contrato con laboratorio certificado ante CONAGUA y EMA   | \$350,000.00           |
| <b>TOTAL</b> |   | <b>\$54 499,898.50</b> |

Este presupuesto es para el ejercicio del 2022 y se entregó al gobierno municipal para su aprobación y hasta el momento de la visita no se tenía una respuesta. Por lo que, aún no se cuenta con proyectos de ejecución de obras o de adquisición de bienes.

## **11.2. Muestreo y calidad del agua residual**

Para realizar el muestreo del agua residual en la PTAR se realizó inicialmente un recorrido a las instalaciones con personal de la planta, con la finalidad de seleccionar los puntos de muestreo más adecuados y seguros. Los puntos de muestreo seleccionados se muestran en la Figura 211.

En la Tabla 82 se muestran los parámetros evaluados en cada punto, los cuales se seleccionaron de acuerdo con los parámetros de diseño de cada unidad de proceso de la PTAR. El muestreo fue realizado por personal del Laboratorio de Calidad del Agua del IMTA, el cual es un laboratorio acreditado.



Nota: MC; muestra compuesta  
S; Muestra simple

**Figura 211 Puntos de muestreo PTAR Torreón**

**Tabla 82 Parámetros evaluados**

| Parámetro                    | Descripción      | Influyente                      | Efluente lagunas         |                  | Efluente (canal Parshall)       |
|------------------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------|---------------------------------|
|                              |                  |                                 | Anaerobias A, B, D, E, F | Facultativas A-F |                                 |
|                              | No. de muestras  | 1                               | 5                        | 6                | 1                               |
| <b>NOM-001-SEMARNAT-1996</b> | pH               |                                 |                          |                  |                                 |
|                              | Temp             |                                 |                          |                  |                                 |
|                              | Materia flotante |                                 |                          |                  |                                 |
|                              | Sól. Sed.        |                                 |                          |                  |                                 |
|                              | GyA              |                                 |                          |                  |                                 |
|                              | SST              |                                 |                          |                  |                                 |
|                              | DBO              |                                 |                          |                  |                                 |
|                              | NT               |                                 |                          |                  |                                 |
|                              | PT               |                                 |                          |                  |                                 |
|                              | Metales          |                                 |                          |                  |                                 |
|                              | HH               |                                 |                          |                  |                                 |
| CF                           |                  |                                 |                          |                  |                                 |
| <b>NOM-001-SEMARNAT-2021</b> | DQO              |                                 |                          |                  |                                 |
|                              | Toxicidad aguda  |                                 |                          |                  |                                 |
|                              | Color verdadero  |                                 |                          |                  |                                 |
|                              | E. coli          |                                 |                          |                  |                                 |
| <b>Diseño</b>                | <b>Clorofila</b> |                                 |                          |                  |                                 |
| <b>Tipo de muestreo</b>      |                  | Compuesto<br>24 h<br>6 muestras | Muestreo simple          | Muestreo simple  | Compuesto<br>24 h<br>6 muestras |

Además, de los análisis realizados por el laboratorio certificado, se realizaron determinaciones de pH y oxígeno disuelto en las lagunas anaerobias y facultativas.

A continuación, se realiza una discusión de los resultados de los análisis del laboratorio certificado y los de campo.

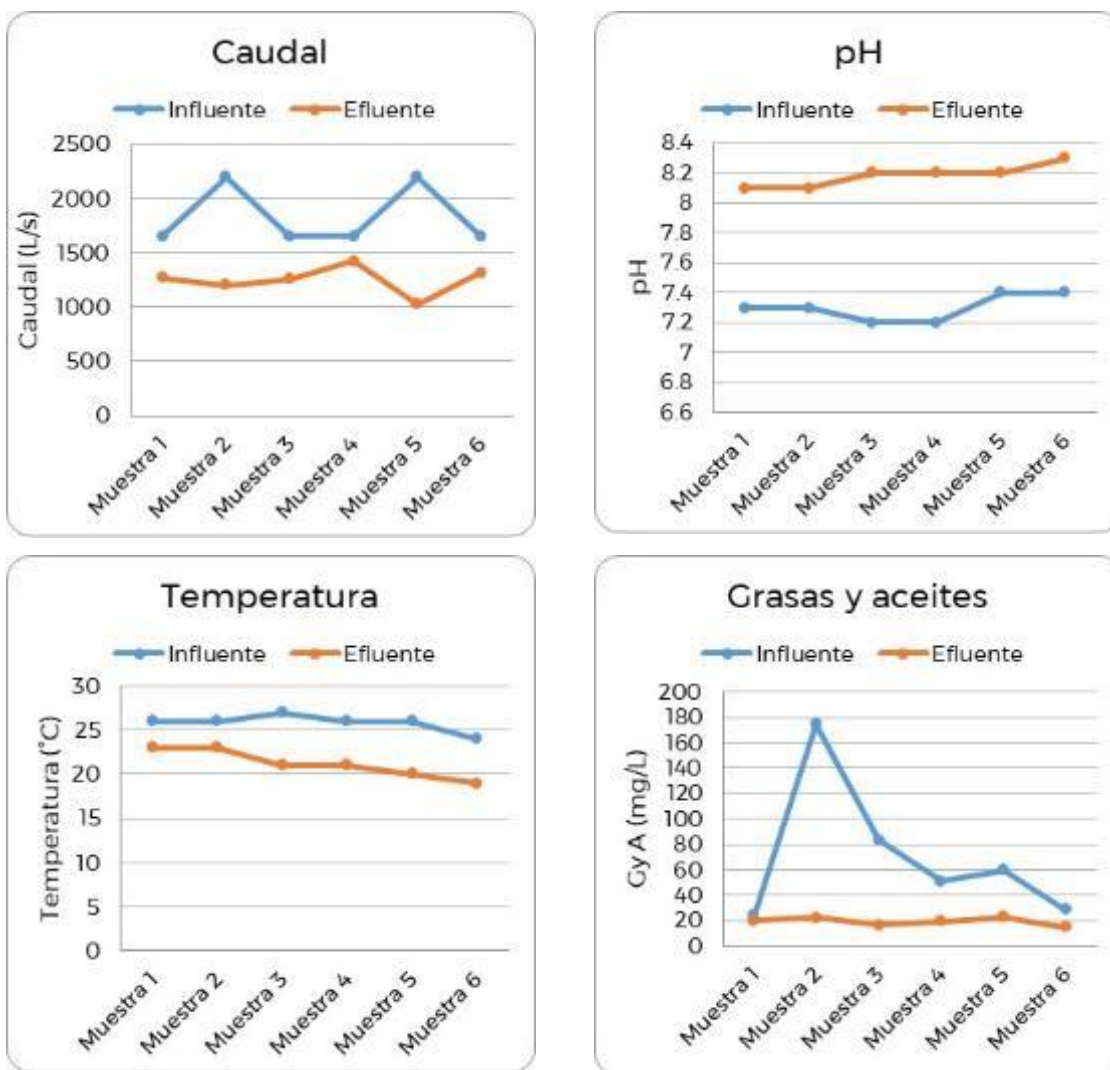


### **11.2.1. Resultados del muestreo compuesto**

En las gráficas de la Figura 212 se puede observar que el caudal del influente se mantuvo en valores entre 1,650 y 2,200 L/s, sin embargo, estos valores corresponden a los reportados por la planta utilizando la capacidad de las bombas que están en operación en el momento de la toma de muestras, ya que no se cuenta con un medidor de caudal a la entrada de la PTAR y tampoco fue posible medir el caudal durante el muestreo por cuestiones de seguridad. Para el caso del efluente, se tiene un medidor de caudal ultrasónico marca Signature instalado en el canal Parshall. Durante el muestreo los valores estuvieron en un rango de 1,027 a 1,422 L/s, éstos se encuentran alrededor del reportado como de operación, que es de 1,350 L/s.

En cuanto al pH en el influente, éste se mantiene en valores en un rango entre 7.2 y 7.4, mientras que en el efluente el pH fue de 8.1 a 8.3. La temperatura en el influente presenta valores entre 24 y 27°C, siendo el menor durante la muestra tomada durante la noche. La temperatura en el efluente desciende a valores entre 19 a 23°C. En el influente se encontró presencia de materia flotante y en el efluente ausencia de la misma.

Para el caso de las grasas y aceites se observa que en el influente se presentan valores en un rango entre 24.8 a 175 mg/L, siendo el valor más elevado el reportado en la segunda muestra que está relacionado con la hora de la comida (3 pm). Los valores más bajos se encontraron en las muestras tomadas por la mañana (7 y 11 am). En el efluente la concentración varía de 14.6 a 22.8 mg/L, ambas concentraciones se presentaron en la madrugada. Es de destacar, que de las seis muestras tomadas solo dos presentan un valor por debajo de los 18 mg/L. Esto cobra relevancia ya que la NOM-001-SEMARNAT-2021 establece como promedio diario 18 mg/L y el promedio de las muestras rebasa este valor.

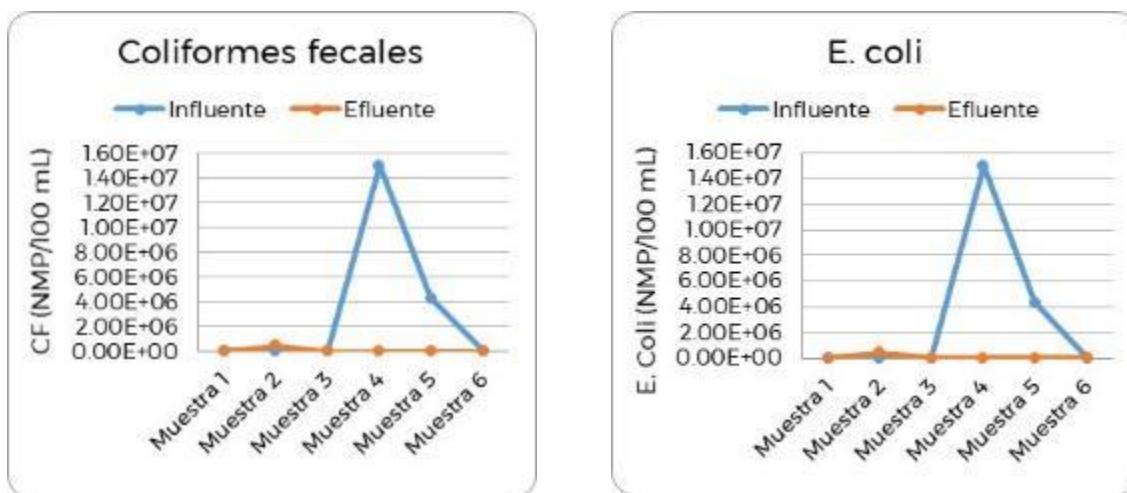


**Figura 212 Parámetros de campo de muestra compuesta**

En las gráficas de la Figura 213 se observa que en el influente la concentración de coliformes fecales es típica de un agua residual municipal con valores en un rango entre  $4 \times 10^2$  a  $1.50 \times 10^7$  NMP/100 mL, mientras que en el efluente la concentración de coliformes disminuye a valores en un rango de 3 a  $4.30 \times 10^5$  NMP/100 mL, en este punto y retomado lo calculado en el diseño de la PTAR, se establece que la salida debe ser de 1047 NMP/100 ml, hecho que no se cumple. Por otra parte, estos valores son similares a los reportados por la planta a CONAGUA y mencionados anteriormente, lo que indica que no hay una remoción eficiente de estos microorganismos patógenos en el sistema de tratamiento. La concentración de *E. coli* en el influente se encontró en un rango de concentración de  $4.20 \times 10^2$  a  $1.50 \times 10^7$

NMP/100 mL. En el efluente se encontraron concentraciones de *E. coli* en un rango de 3 a  $4.30 \times 10^5$  NMP/100 mL.

Se debe tomar en consideración que ya sea por CF o *E.coli*, la calidad del efluente no cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.



**Figura 213 Parámetros microbiológicos de muestra compuesta**

En la Tabla 83 se presentan los resultados de laboratorio de la muestra compuesta para diferentes parámetros.

**Tabla 83 Resultados de laboratorio de muestra compuesta**

| Parámetro         | Unidades | Compuesto  |             | NOM-001-SEMARNAT-1996 | NOM-001-SEMARNAT-2021 | CPD   |
|-------------------|----------|------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-------|
|                   |          | Influyente | Efluente    |                       |                       |       |
| pH                | UpH      | 7.4        | 8.3         | 5 - 10                | 6 - 9                 | 6 - 8 |
| Tem.              | °C       | 24 y 27    | 19 a 23     | NA                    | 35                    | NA    |
| C y A             | mg/L     | 175        | <b>22.8</b> | 25                    | 18                    | 25    |
| Material Flotante | P / A    | Ausente    | Ausente     | Ausente               | NA                    | NA    |
| S. Sed.           | ml/L     | 1.5        | 0.2         | NA                    | NA                    | NA    |
| SST               | mg/L     | 173        | 47.1        | NA                    | 120                   | NA    |
| DBO <sub>5</sub>  | mg/L     | 297        | 45          | NA                    | NA                    | NA    |
| NT                | mg/L     | 55.5       | 46.1        | NA                    | NA                    | NA    |
| PT                | mg/L     | 6.39       | 4.07        | NA                    | NA                    | NA    |
| As                | mg/L     | 0.037      | 0.0189      | 0.4                   | 0.15                  | 0.4   |
| Cd                | mg/L     | 0.039      | <0.030      | 0.1                   | 0.15                  | 0.1   |
| CN                | mg/L     | NA         | NA          | 3.0                   | 1.50                  | 3     |

| Parámetro               | Unidades      | Compuesto            |                     | NOM-001-SEMARNAT-1996 | NOM-001-SEMARNAT-2021                   | CPD  |
|-------------------------|---------------|----------------------|---------------------|-----------------------|---|------|
|                         |               | Influyente           | Efluente            |                       |   |      |
| Cu                      | mg/L          | 0.056                | <0.05               | 6.0                   | 5.0                                     | 6    |
| Cr                      | mg/L          | <0.10                | <0.10               | 1.0                   | 0.75                                    | 1    |
| Hg                      | mg/L          | 0.0017               | <0.0005             | 0.01                  | 0.008                                   | 0.01 |
| Ni                      | mg/L          | <0.10                | <0.10               | 4.0                   | 3.0                                     | 4    |
| Pb                      | mg/L          | 0.11                 | <0.10               | 10.0                  | 0.3                                     | 10   |
| Zn                      | mg/L          | 1.2                  | <0.10               | 20.0                  | 15.0                                    | 20   |
| CF                      | NMP/100 ml    | 4.0x10 <sup>2</sup>  | 3.0                 | 2,000                 | NA                                      | NA   |
|                         |               | 1.50x10 <sup>7</sup> | 4.3x10 <sup>5</sup> |                       |   |      |
| HH                      | H/L           | Cero                 | Cero                | NA                    | 1                                       | NA   |
| DQO                     | mg/L          | 733                  | 219                 | NA                    | 180                                     | NA   |
| COT                     | mg/L          | NA                   | NA                  | NA                    | 45                                      | NA   |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 ml    | 4.0x10 <sup>2</sup>  | 3.0                 | NA                    | 500                                     | NA   |
|                         |               | 1.50x10 <sup>7</sup> | 4.3x10 <sup>5</sup> |                       |   |      |
| Color                   | Long. De onda |                      |                     |                       | Coefficiente absorción Espectral máximo |      |
|                         |               | 436 nm               | 2.9                 | 2.3                   | 7.0 m <sup>-1</sup>                     |      |
|                         |               | 525 nm               | 1.5                 | 1.1                   | 5.0 m <sup>-1</sup>                     |      |
|                         |               | 620 nm               | 1.0                 | 0.6                   | 3.0 m <sup>-1</sup>                     |      |

La concentración de materia orgánica medida como DBO<sub>5</sub> y DQO en el influente fue de 297 y 733 mg/L, respectivamente, lo que proporciona una relación de 0.4, mostrando que el agua a tratar es biodegradable. En el efluente los valores fueron de 45 y 219 mg/L, respectivamente, con una relación de 0.2, lo que indica que en el efluente solo han quedado o predominan compuestos con baja biodegradabilidad. Estos valores representan una remoción del 85% para la DBO<sub>5</sub> y del 70% para DQO. Los valores de DBO<sub>5</sub> y DQO en el efluente son similares a los valores promedio reportados por la PTAR durante los años 2018-2021. Sin embargo, es importante mencionar que en la NOM-001-SEMARNAT-2021 el LMP para DQO, en promedio diario, es de 180 mg/L, por lo que esta concentración es rebasada. Por otra parte, es necesario recordar que en la memoria de cálculo se estableció que a la salida de las lagunas facultativas la concentración de DBO debería ser de 32 mg/L, hecho que no se cumple ya que se tienen 45 mg/L.

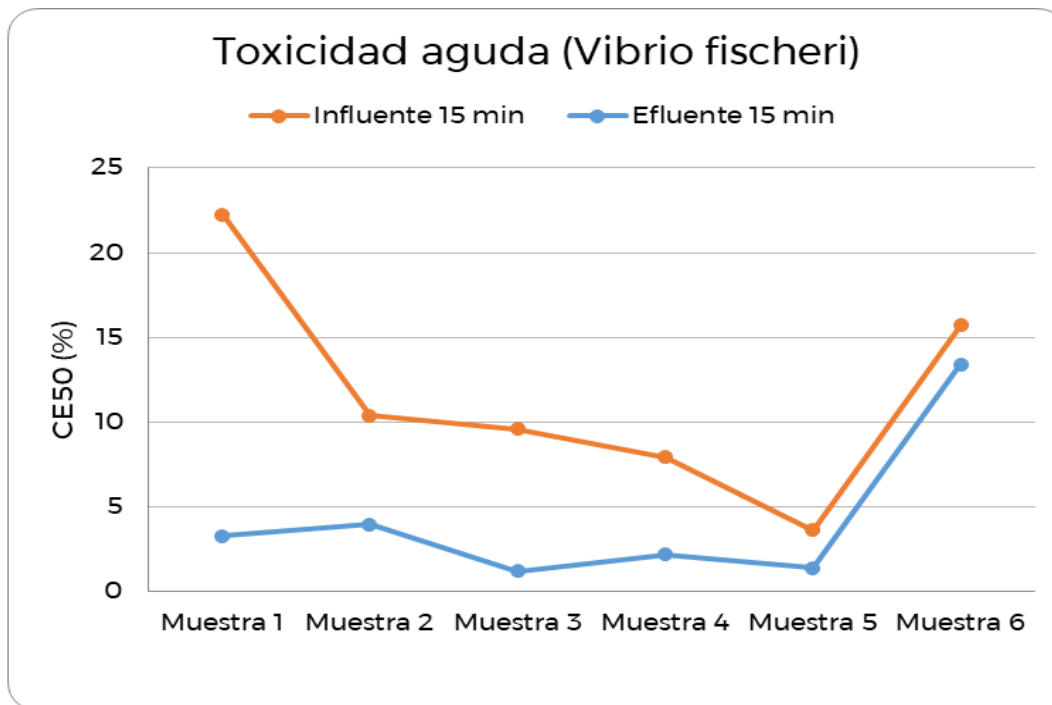
Con respecto a la concentración de nitrógeno se observa que la remoción en la planta es mínima (17%), ya que el sistema lagunar no está diseñado para su remoción. La concentración de nitrógeno se encuentra dentro del rango máximo (35.85-51.60 mg/L) reportado en la PTAR durante los años

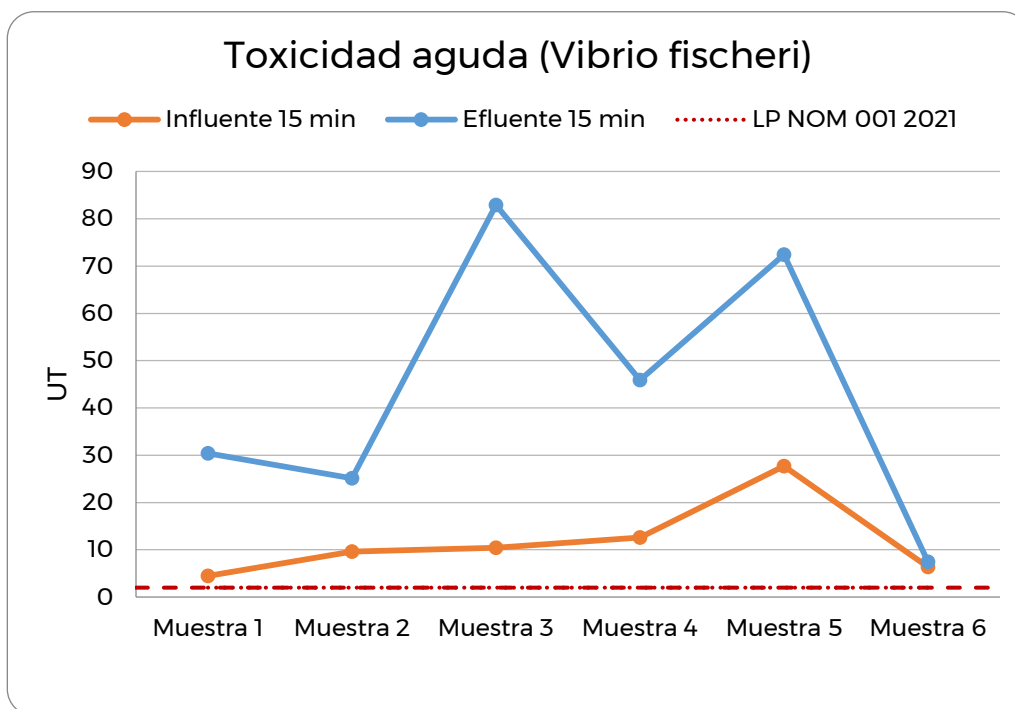
2018-2021. La concentración de fósforo total fue de 4.07 mg/L en el efluente, lo que representa una remoción del 36.30%.

La concentración de metales tanto en el influente como en el efluente se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

De acuerdo a los análisis realizados se encontró que la toxicidad medida con *Vibrio fischeri* en el influente se encuentra en un rango entre 4.498 a 27.677 UT en un lapso de tiempo de 5 a 30 min (Figura 214), mientras que en el efluente se encuentra en un rango entre 6.857 a 130.378 UT, lo que sugiere que en lo que respecta a la toxicidad, ésta se incrementa dentro de la PTAR, probablemente por los compuestos que se encuentran acumulados en el manto de lodos de las lagunas. Estas concentraciones indican que tanto el influente como el efluente son tóxicos.

Con relación a los valores obtenidos de  $CE_{50}$  se puede observar que los valores de toxicidad son variables con respecto al tiempo, sin embargo, tanto en el influente como en el efluente la mayor toxicidad se da en los primeros 5 min de la prueba.





**Figura 214 Toxicidad aguda de muestra compuesta**

### 11.2.2. Resultados de muestreo simple

En la Tabla 84 se presentan los resultados obtenidos de las muestras puntuales realizadas en los efluentes de las lagunas.

**Tabla 84 Resultados de laboratorio de muestras puntuales**

| Efluentes     | Temp (°C) | pH   | G y A (mg/L) | SST (mg/L) | DBO (mg/L) | NT (mg/L) | PT (mg/L) | CF (NMP/100 mL) | DQO (mg/L) | Clorofila (mg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|-----------|------|--------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------------|------------|--------------------------------|
| Anaerobia A   | 25        | 7.6  | 16.9         | 36.7       | 75         | 50.3      | 14.94     | <3              | 267        | <1                             |
| Anaerobia B   | 26        | 7.5  | 13.6         | 33.3       | 77         | 50.4      | 15.14     | 3               | 311        | <1                             |
| Anaerobia D   | 26        | 7.3  | 19.3         | 35.2       | 102        | 51.9      | 2.59      | 7               | 282        | <1                             |
| Anaerobia E   | 27        | 7.7  | 15.5         | 210        | 64         | 50.4      | 1.70      | 7.50E+03        | 296        | <1                             |
| Anaerobia F   | 27        | 7.6  | 14.2         | 31         | 75         | 52.7      | 2.26      | 3               | 328        | <1                             |
| Facultativa A | 25        | 10.4 | 12.4         | 64.0       | 36         | 46.6      | 3.24      | 4.60E+05        | 229        | <1                             |
| Facultativa B | 26        | 10.7 | 13.1         | 51.4       | 52         | 47.9      | 3.40      | 1.50E+04        | 219        | <1                             |
| Facultativa C | 24        | 3.2  | 11.8         | 33.3       | 35         | 42.6      | 2.88      | 1.10E+02        | 179        | <1                             |
| Facultativa D | 25        | 7.7  | <8.56        | 9.0        | 65         | 44.7      | 3.76      | 9.30E+02        | 276        | <1                             |
| Facultativa E | 24        | 8.0  | 112          | 48.6       | 21         | 46.3      | 2.15      | 4.60E+04        | 262        | <1                             |

| Efluentes     | Temp (°C) | pH   | G y A (mg/L) | SST (mg/L) | DBO (mg/L) | NT (mg/L) | PT (mg/L) | CF (NMP/100 mL) | DQO (mg/L) | Clorofila (mg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|-----------|------|--------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------------|------------|--------------------------------|
| Facultativa F | 25        | 10.4 | 23.9         | 91.7       | 73         | 47.6      | 6.41      | 4.30E+03        | 275        | <1                             |

La temperatura en el efluente de las lagunas tanto anaerobia como facultativa se mantuvo en un rango de valores entre 24 a 27°C. El pH en las lagunas anaerobias presentó un ligero aumento con respecto al del influente (7.4), a excepción de la laguna D que es de 7.3, lo cual no representa cambios significativos.

Por la naturaleza de operación de las lagunas facultativas, así como por su TRH y profundidad, en éstas es común que se tenga proliferación de algas en mayor o menor medida, hecho que propicia una elevación del pH, que puede ser mayor a 10 unidades de pH. Lo anterior se refleja en mayor o menor medida en el efluente de las lagunas; D con 7.7, E con 8.0, A y F con 10.4, y B con 10.7, sin embargo, en el efluente de la laguna C se encuentra en un pH ácido 3.2, este valor se verificó. En este sentido, las lagunas A, B, C y F, están fuera del rango establecido en las NOM-001-SEMARNAR-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021.

Con respecto a las grasas y aceites a la salida de las lagunas anaerobias, en promedio, se tiene una remoción del 90% (concentración promedio de 15.9 mg/L). En los efluentes de las facultativas A, B y C, las G y A disminuyen a 12.4 mg/L, sin embargo, E se obtuvo un valor de 112 mg/L (Figura 215) y en la F de 23.9 mg/L. La concentración de estas dos últimas lagunas tiene una influencia importante en el efluente general debido a que la concentración es de 22.8 mg/L, valor que está por arriba del LMP de 18 mg/L de la NOM-001-SEMARNAT-2021.

La concentración de sólidos suspendidos totales en las lagunas fue muy variable, encontrando los valores más elevados en la laguna anaerobia E y en la laguna facultativa F, con valores de 210 y 91.7 mg/L, respectivamente. No obstante, los efluentes de las lagunas facultativas no rebasan el LMP de 120 mg/L de la NOM-001-SEMARNAT-2021.

En relación con la DBO<sub>5</sub> se encontró en un rango de 64 a 102 mg/L para las lagunas anaerobias y retomando la memoria de cálculo, en ésta se plantea una DBO de salida de 143.55 mg/L, por lo que se cumple satisfactoriamente. Para las facultativas, en la memoria de cálculo se estableció una DBO de salida de 31 y 32 mg/L, concentración que solo se cumple en la E, y están muy cerca la A y la C, con 36 y 35 mg/L respectivamente, y la B, D y F no cumplen con este criterio de diseño. Sin embargo, este parámetro no está regulado en las normas.



**Figura 215 Grasa en laguna facultativa E**

Para el caso de la DQO se encontró que en las lagunas anaerobias se encuentra en un rango entre 267 a 328 mg/L, mientras que en las lagunas facultativas las concentraciones oscilan en un rango entre 179 y 276 mg/L. Es importante recalcar que las concentraciones de salida están por arriba del LMP marcado por la NOM-001-SEMARNAT-2021.

En las lagunas anaerobias el nitrógeno total disminuye alrededor de 5 mg/L, de 55 a 50 mg/L en promedio y posteriormente en la facultativa disminuye en un rango de 42 a 47 mg/L. Este parámetro no está regulado en las normas.

Con relación al fósforo total en el efluente de las lagunas anaerobias A y B, la concentración se incrementó de 6 a 15 mg/L y en las restantes disminuyó alrededor de los 2 mg/L. Para las lagunas facultativas la concentración de este parámetro disminuyó en la A y la B, sin embargo, en las restantes se incrementó ligeramente, aunque en la F la concentración de fósforo total es mayor a la de la entrada. Este parámetro no está regulado en las normas.

Se puede observar en los resultados que la concentración de coliformes fecales en los efluentes de las lagunas anaerobias se encuentra en valores menores a 7 NMP/100 mL, excepto en la laguna E, sin embargo, en la memoria de diseño se calculó que en este efluente la concentración debe ser de 111843 NMP/100 ml, por lo que se cumple ampliamente en todas las lagunas.



Por otra parte, al pasar el agua residual por las lagunas facultativas, la concentración de coliformes se incrementa a valores de 2 a 5 unidades logarítmicas, lo que indica que en las lagunas existe una recontaminación, por lo que es necesario un sistema de desinfección en el efluente. Sin embargo, las lagunas facultativas C y D (110 y 930 NMP/100 ml) si cumplen con el LMP establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996, que es de 2000 NMP/100 ml, y con relación a lo establecido en la memoria de cálculo que es de 772 NMP/100 ml, solo cumple la C y la D queda muy cerca, las lagunas restantes no cumplen.

No se encontró presencia de clorofila en ninguna de las lagunas (<1 mg/m<sup>3</sup>).

En la Tabla 85 se presentan las cargas orgánicas superficiales (COS) y volumétricas (COV) actuales de las lagunas. Se debe tomar en cuenta que se utilizaron datos actuales del caudal individual de cada laguna, y datos de DBO obtenidos por los muestreos que se realizaron para este estudio.

**Tabla 85 Cargas orgánicas superficiales y volumétricas actuales de las lagunas**

| Laguna              | Área (m <sup>2</sup> )    | Volumen útil (m <sup>3</sup> ) | Caudal operación (L/s) | TRH (días) | DBO <sub>5</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | COS (kg/ha d) |         | COV (kg/m <sup>3</sup> d) |        |
|---------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------|------------|---------------------------------------|---------------|---------|---------------------------|--------|
|                     |                           |                                |                        |            |                                       | Diseño        | Actual  | Diseño                    | Actual |
| <b>Anaerobias</b>   |                           |                                |                        |            |                                       |               |         |                           |        |
| A                   | 52,675                    | 134,321                        | 322                    | 3.31       | 0.297                                 | 1941          | 1568.63 | 0.065                     | 0.0615 |
| B                   | 52,675                    | 144,856                        | 322                    | 3.31       | 0.297                                 | 1941          | 1568.63 | 0.065                     | 0.0570 |
| C                   | <b>Fuera de operación</b> |                                |                        |            |                                       |               |         |                           |        |
| D                   | 52,675                    | 92,181                         | 322                    | 3.31       | 0.297                                 | 1941          | 1568.63 | 0.065                     | 0.0896 |
| E                   | 39,360                    | 68,880                         | 192                    | 4.15       | 0.297                                 | 1997          | 1251.75 | 0.067                     | 0.0715 |
| F                   | 39,360                    | 68,880                         | 192                    | 4.15       | 0.297                                 | 1997          | 1251.75 | 0.067                     | 0.0715 |
| <b>Facultativas</b> |                           |                                |                        |            |                                       |               |         |                           |        |
| A                   | 132,370                   | 259,445                        | 322                    | 10.13      | 0.075                                 | 333.63        | 157.63  | 0.017                     | 0.0080 |
| B                   | 132,370                   | 259,445                        | 322                    | 10.13      | 0.077                                 | 333.63        | 161.83  | 0.017                     | 0.0083 |
| C                   | 132,370                   | 259,445                        | 161                    | 20.26      | 0.102                                 | 333.63        | 107.19  | 0.017                     | 0.0055 |
| D                   | 132,370                   | 259,445                        | 161                    | 20.26      | 0.102                                 | 333.63        | 107.19  | 0.017                     | 0.0055 |
| E                   | 107,256                   | 210,222                        | 192                    | 12.85      | 0.064                                 | 320.6         | 98.99   | 0.012                     | 0.0051 |
| F                   | 107,256                   | 210,222                        | 192                    | 12.85      | 0.075                                 | 320.6         | 116.00  | 0.012                     | 0.0099 |

El hecho de que la PTAR esté operado a 1,350 L/s, por debajo del caudal de diseño (1,900 L/s), y a que la DBO del influente (297 mg/L) sea inferior a la

diseño (319 mg/L), ha favorecido que las COS en las lagunas anaerobias esté por debajo de la de diseño, lo que favorece su eficiencia, sin embargo, la COV de diseño se ha visto rebasada en un rango de 7 a 37%, esto debido a que el volumen se ha reducido por la acumulación de los lodos, pero esto no ha mostrado un efecto negativo en la remoción de los parámetros evaluados.

En relación a los valores de la COS y la COV de operación en las lagunas facultativas, están casi un 50% por debajo de las de diseño, lo que implica que pueden soportar más carga orgánica y deberían proporcionar una alta remoción, sin embargo, esto no ocurre, ya que las eficiencias son mínimas. Esto puede ser ocasionado por la presencia de cortos circuitos en las lagunas, lo que disminuye el TRH y por lo tanto de tratamiento. Esto es resultado del deterioro de las mamparas que propician un flujo pistón, para un mejor aprovechamiento del volumen de la laguna.

En general, la mayor remoción de los parámetros evaluados se lleva a cabo en las lagunas anaerobias como se muestra a continuación (Tabla 86).

**Tabla 86 Porcentajes de remoción por laguna**

| <b>Efluentes</b> | <b>G y A<br/>(mg/L)</b> | <b>SST<br/>(mg/L)</b> | <b>DBO<br/>(mg/L)</b> | <b>NT<br/>(mg/L)</b> | <b>PT<br/>(mg/L)</b> | <b>CF<br/>(NMP/100<br/>mL)</b> | <b>DQO<br/>(mg/L)</b> |
|------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Anaerobia A      | 90.34                   | 78.79                 | 74.75                 | 9.37                 | -133.80              | 100.00                         | 63.57                 |
| Anaerobia B      | 92.23                   | 80.75                 | 74.07                 | 9.19                 | -136.93              | 100.00                         | 57.57                 |
| Anaerobia D      | 88.97                   | 79.65                 | 65.66                 | 6.49                 | 59.47                | 100.00                         | 61.53                 |
| Anaerobia E      | 91.14                   | -21.39                | 78.45                 | 9.19                 | 73.40                | 99.95                          | 59.62                 |
| Anaerobia F      | 91.89                   | 82.08                 | 74.75                 | 5.05                 | 64.63                | 100.00                         | 55.25                 |
|                  |                         |                       |                       |                      |                      |                                |                       |
| Facultativa A    | 2.57                    | -15.78                | 13.13                 | 6.67                 | 49.30                | 96.93                          | 5.18                  |
| Facultativa B    | 0.29                    | -10.46                | 8.42                  | 4.50                 | 46.79                | 99.90                          | 12.55                 |
| Facultativa C    | 4.29                    | 1.10                  | 22.56                 | 16.76                | -4.54                | 100.00                         | 14.05                 |
| Facultativa D    | 11.03                   | 15.14                 | 12.46                 | 12.97                | -18.31               | 99.99                          | 0.82                  |
| Facultativa E    | -55.14                  | 71.91                 | 14.48                 | 7.39                 | -7.04                | 99.69                          | 4.64                  |

| <b>Efluentes</b> | <b>G y A<br/>(mg/L)</b> | <b>SST<br/>(mg/L)</b> | <b>DBO<br/>(mg/L)</b> | <b>NT<br/>(mg/L)</b> | <b>PT<br/>(mg/L)</b> | <b>CF<br/>(NMP/100<br/>mL)</b> | <b>DQO<br/>(mg/L)</b> |
|------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Facultativa<br>F | -5.54                   | 46.99                 | 0.67                  | 9.19                 | -0.31                | 99.97                          | 7.23                  |

### **11.2.3. Determinaciones de campo**

No se pudo realizar un perfil de pH y oxígeno disuelto en las lagunas debido a que la lancha con la que cuenta la PTAR, para el acceso a éstas estaba deshabilitada y no se tenía fecha para su reparación. Por lo anterior, las determinaciones se realizaron en las cajas de llegada y salida de cada una de las lagunas. Los resultados de estos parámetros se muestran en las Figura 216 y Figura 217.

El pH en el influente y en el efluente de las lagunas anaerobias se encuentra en valores cercanos a 8 en la laguna A, B y D. En la laguna E y F no se pudo tomar muestra debido a cuestiones de seguridad, para el caso de la laguna C no se reportan valores puesto que se encuentra fuera de operación.

La laguna facultativa A presenta valores de pH entre 6 y 10, excepto en un punto. La laguna facultativa B, E y F presentaron valores estables de pH entre 7 y 10.5 para la B, 7 y 8 para la E y 10 para la F. Para el caso de la laguna C los valores de pH son muy variables (2-10) probablemente por el cambio en las condiciones de alimentación, ya que el efluente de la laguna anaerobia D se distribuye tanto en la laguna C como en la D. En la laguna D se observa que los puntos extremos presentan valores de pH menores a 5.

Los valores de oxígeno disuelto encontrados tanto en las lagunas anaerobias como facultativas son menores a 1.5 mg/L, siendo los efluentes de las lagunas anaerobias los de menor concentración de oxígeno disuelto (cercano a cero).

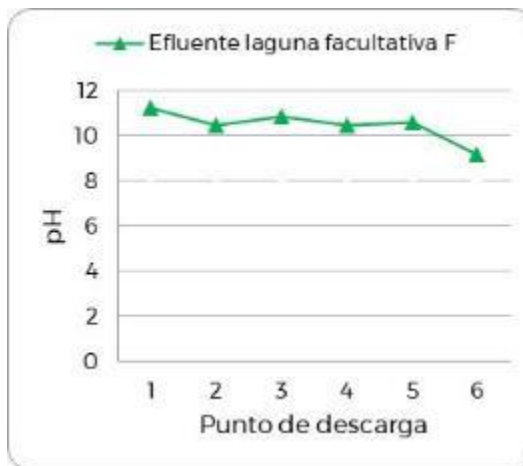
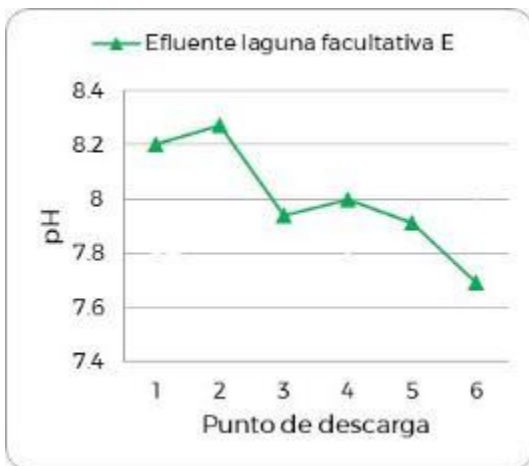
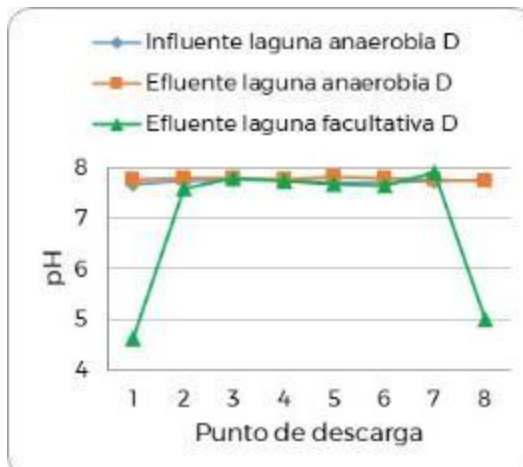
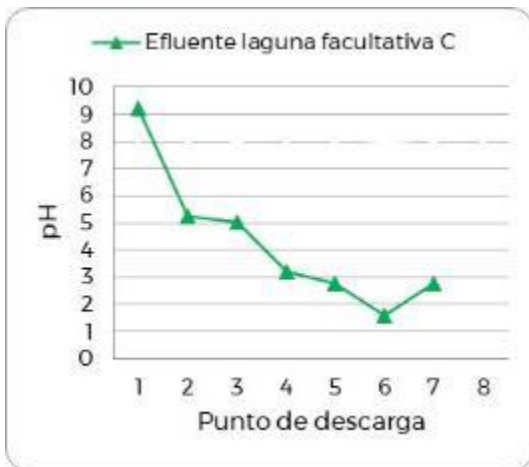
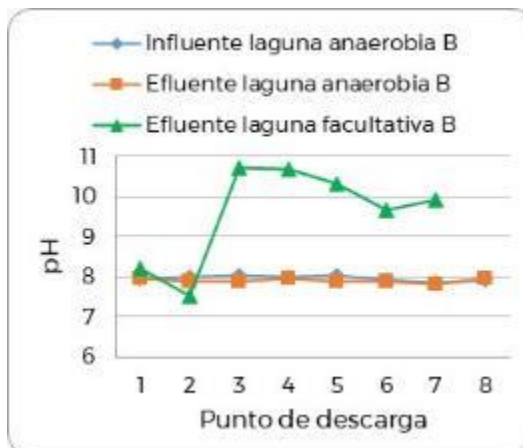
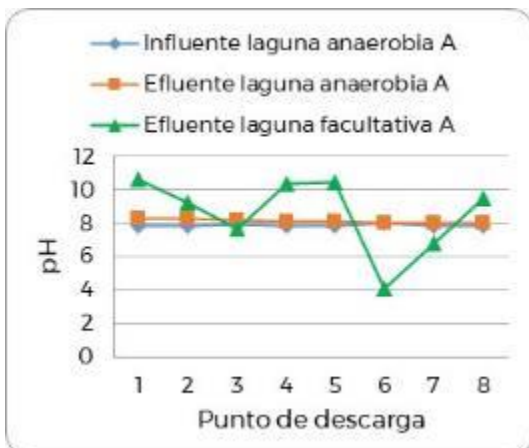


Figura 216 pH medido en campo

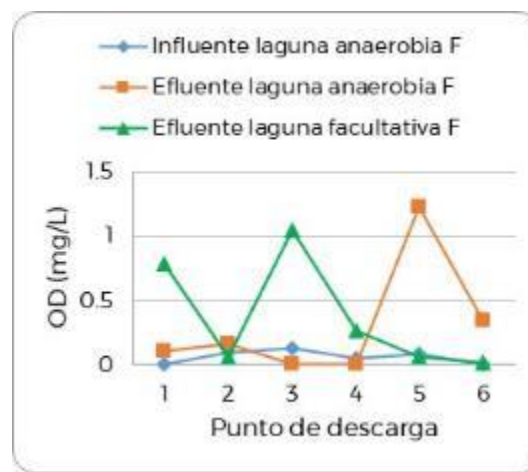
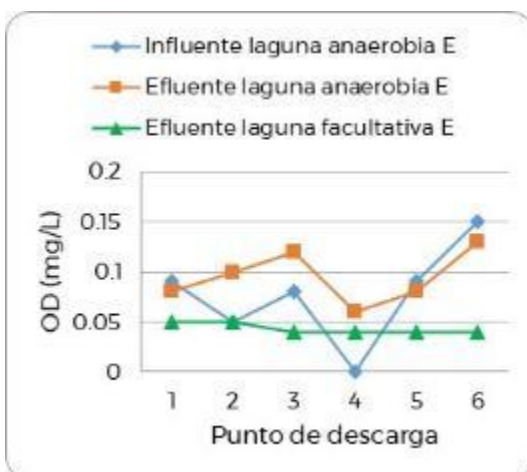
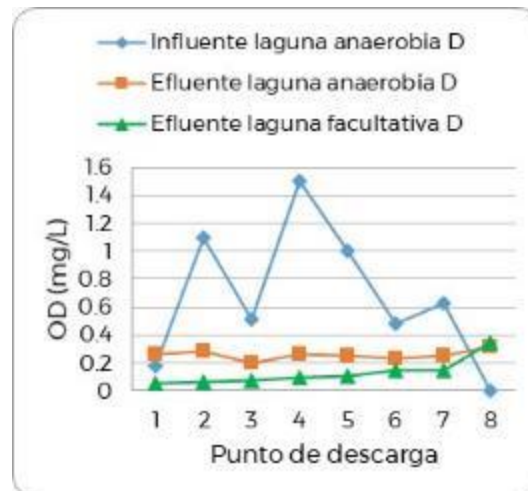
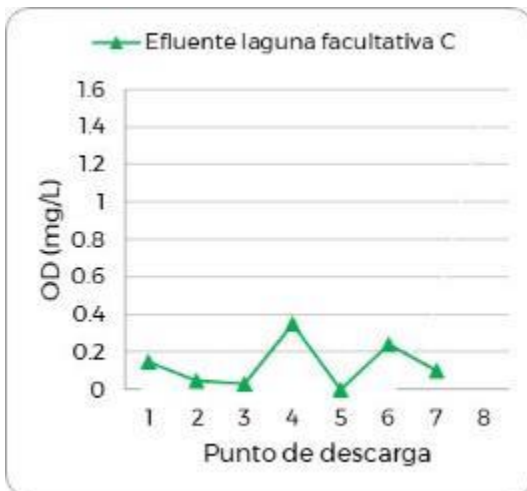
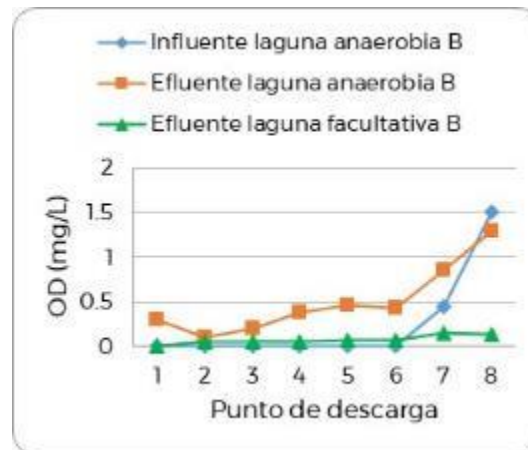
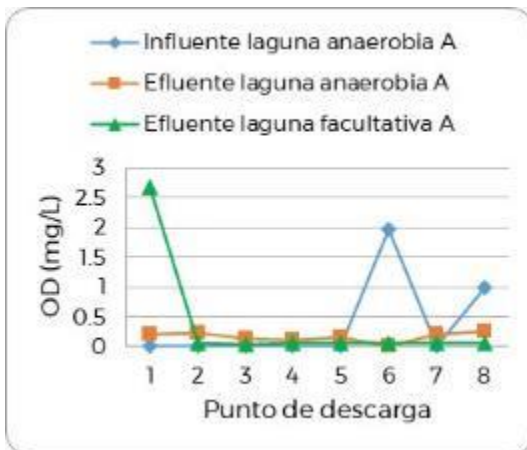


Figura 217 OD medido en campo

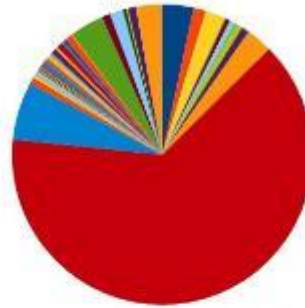
Las variaciones de pH y de oxígeno dentro de cada una de las lagunas sugieren que existen corrientes de agua dentro de las mismas o flujos predominantes (cortos circuitos) y por tanto existen zonas muertas, que generan pH bajos y variaciones de oxígeno disuelto a la salida. Esta puede ser la causa de que se tengan bajas eficiencias en las lagunas facultativas.

#### **11.2.4. Influencia industrial**

De acuerdo con la información proporcionada por el personal de SIMAS Torreón, la PTAR “Rancho Alegre” trata tanto aguas residuales municipales como industriales, correspondiendo éstas últimas aproximadamente al 3% de caudal tratado. De acuerdo con el padrón de industrias establecidas en el municipio de Torreón, el cual fue proporcionado por la Gerencia de Saneamiento del SIMAS, y de las cuales de acuerdo con el reglamento del municipio se deben monitorear las descargas activas por lo menos una vez al año, se tiene un padrón general de 6,051 descargas. Entre las descargas industriales destacan los comercios y prestadores de servicios en general con un 64% del total de las descargas, seguido de las industrias en general con un 6%, las purificadores de agua representan un 4% del total de las descargas y los bares, restaurantes y expendios de cerveza, así como las tortillerías y los colegios e instituciones de educación particular representan un 3%. En la Figura 218 se presenta un gráfico del padrón total de industrias.

De acuerdo con los resultados de los análisis de calidad del agua, se encontró una relación DBO/DQO en el influente de 0.4 y en el efluente de 0.2. Los datos históricos de calidad del agua (2018 - 2021) arrojan una relación promedio anual DBO/DQO que va de 0.40 a 0.47. Sin embargo, se presentan valores mínimos que van desde 0.02 hasta 0.40, lo que podría ser indicio de presencia de descargas industriales, ya que de acuerdo con lo mencionado por Metcalf & Eddy (2014) una relación DBO/DQO por debajo de 0.3 indica que el agua residual es poco biodegradable por lo que puede contener compuestos tóxicos o descargas industriales. Por otro lado, los valores de toxicidad en el influente y en el efluente a los 15 min de exposición fueron de 4.498 a 27.677 UT y de 25.125 a 82.918 UT en el influente y efluente, respectivamente.

**Tipos de descargas industriales**



- |   |   |
|---|---|
| ■ BARES REST. Y EXP. DE CERVEZA (3%)                    | ■ BODEGAS (1%)  |
| ■ CADENAS DE AUTOSERVICIO (OXXO, J.V. Viba, Etc.) (2%)  | ■ CARNICERÍAS Y PESCADERÍAS (<1%)                       |
| ■ CENTROS COMERCIALES (<1%)                             | ■ CERVECERÍAS (1%)                                      |
| ■ CINFS Y TATROS (<1%)                                  | ■ CLÍNICAS Y HOSPITALS (1%)                             |
| ■ CLUBES, CENTROS DEPORTIVOS Y DIVERSIÓN (1%)           | ■ COLEGIOS E INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN PARTICULAR (3%) |
| ■ COMERCIOS Y PRESTADORES DE SERVICIOS EN GENERAL (64%) | ■ INDUSTRIAS EN GENERAL (6%)                            |
| ■ LABORATORIOS (<1%)                                    | ■ LAVADO DE AUTOS (1%)                                  |
| ■ LAVANDERÍAS (<1%)                                     | ■ LAVANDERÍAS INDUSTRIALES (<1%)                        |
| ■ MADERERAS (<1%)                                       | ■ MAQUILADORAS EN GENERAL, NO TEXTILES (<1%)            |
| ■ MAQUILADORAS TEXTILES (<1%)                           | ■ MARMOLERÍAS (<1%)                                     |
| ■ MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN (<1%)                    | ■ PALETERÍAS, HELADOS (<1%)                             |
| ■ PANADERÍAS (<1%)                                      | ■ PANIFICADORAS (1%)                                    |
| ■ PASTEURIZADAS (<1%)                                   | ■ CONSULTORIOS MÉDICOS (<1%)                            |
| ■ DESPACHADORAS DE AGUA PURIFICADA (<1%)                | ■ DISTRIBUIDORAS, AGENCIAS Y LOTES DE AUTOS (<1%)       |
| ■ EMBOTELLADORAS DE REFRESCOS (<1%)                     | ■ FÁBRICA DE MUEBLES (<1%)                              |
| ■ FÁBRICAS DE BLOCK (<1%)                               | ■ FÁBRICAS DE HIELO (<1%)                               |
| ■ FARMACIAS, BÓTICAS Y DROGUERÍAS (1%)                  | ■ FERRERÍAS (<1%)                                       |
| ■ GASOLINERAS (1%)                                      | ■ GENERAL (<1%)   |
| ■ GUARDERÍAS O ESTANCIAS INFANTILES (<1%)               | ■ HOTELES Y MOTeles (1%)                                |
| ■ IMPRENTA, SERIGRAFÍA (<1%)                            | ■ PURIFICADORAS DE AGUA (4%)                            |
| ■ QUINTAS Y SALONES DE FLESTAS (1%)                     | ■ RESTAURANTES EN GENERAL (1%)                          |
| ■ SPAS, CLÍNICAS DE BELLEZA, ESTÉTICAS (<1%)            | ■ TALLERES ELÉCTRICOS (<1%)                             |
| ■ TALLERES MECÁNICOS (1%)                               | ■ TORTILLERÍAS (3%)                                     |
| ■ TRANSPORTES DE CARGA PESADA (<1%)                     | ■ YONKES, BAZARES, VENTA DE CHATARRA (<1%)              |

**Figura 218 Tipos de descargas industriales**

## 12. DIAGNÓSTICO DE PERSONAL

### 12.1. Recursos Humanos

En la Tabla 87 se muestra la plantilla del personal que labora en la PTAR de Torreón.

**Tabla 87 Plantilla de personal de PTAR Torreón**

| Nombre                            | Puesto                            | Escolaridad  | Antigüedad   |              |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                                   |                                   |              | En la planta | En el puesto |
| <b>Personal administrativo</b>    |                                   |              |              |              |
| Salvador López de Lara            | Coordinador Planta Tratadora      | Licenciatura | 6 años       | 6 años       |
| Juan Ramón Barraza Vega           | Jefe de operación y mantenimiento | Maestría     | 6 años       | 6 años       |
| Gustavo Armando Bernal García     | Auxiliar PTAR                     | Ingeniería   | 3 años       | 3 años       |
| Consuelo E. Balderas Inchaurregui | Secretaria PTAR                   | Técnico      | 3 años       | 3 años       |
| <b>Personal operativo</b>         |                                   |              |              |              |
| Guillermo Ayala González          | Operador tipo A                   | Primaria     | 6 años       | 6 años       |
| Javier Romero Zúñiga              | Operador tipo A                   | Primaria     | 6 años       | 6 años       |
| Jesús Guadalupe Ayala García      | Operador tipo A                   | Secundaria   | 6 años       | 6 años       |
| Hugo Cesar Macías Díaz            | Operador tipo A                   | Preparatoria | 6 años       | 6 años       |
| José Luis Carrera Pinedo          | Operador tipo A                   | Primaria     | 3 años       | 3 años       |
| Antonio Moreno Castellano         | Operador tipo A                   | Primaria     | 6 años       | 6 años       |
| <b>Personal de mantenimiento</b>  |                                   |              |              |              |
| Ángel Aldana Tenorio              | Mantenimiento de lagunas          | Primaria     | 6 años       | 6 años       |



| Nombre                         | Puesto   | Escolaridad  | Antigüedad   |              |
|--------------------------------|--|--------------|--------------|--------------|
|                                |  |              | En la planta | En el puesto |
| Martín Monsiváis De León       | Mantenimiento de lagunas                       | Primaria     | 6 años       | 6 años       |
| Jesús López Valles             | Mantenimiento de lagunas                       | Secundaria   | 6 años       | 6 años       |
| Juan José Carreón Meza         | Ayudante de mantenimiento                      | Primaria     | 6 años       | 6 años       |
| Sergio Antonio Cobos Galván    | Ayudante mantenimiento                         | Preparatoria | 4 años       | 4 años       |
| Sergio Ulises Carreón Almanza  | Mantenimiento macrófitas y auxiliar de lagunas | Primaria     | 4 años       | 4 años       |
| Roberto Vega Chairez           | Mantenimiento macrófitas y auxiliar de lagunas | Secundaria   | 5 años       | 5 años       |
| <b>Personal de laboratorio</b> |  |              |              |              |
| Oscar Alejandro Ávila Muñoz    | Responsable de laboratorio y gestión ambiental | Ingeniería   | 6 años       | 6 años       |
| César Iván Carreón Almanza     | Muestreador                                    | Primaria     | 6 años       | 6 años       |

La plantilla de la PTAR está conformada por 18 personas;

- 4 administrativas
- 6 operadores
- 7 mantenimiento
- 2 laboratorio

De éstas, 12 (66%) tienen la máxima antigüedad de 6 años. Las restantes seis, se encuentran entre un rango de 3 a 5 años. Lo que demuestra que desde que entró en operación la PTAR no se ha tenido continuidad en la plantilla, y aún más, es posible que hace 6 años se haya renovado en su totalidad.

En resumen, se puede establecer que el personal cuenta con la experiencia para poder trabajar en una planta de tratamiento de aguas residuales, sin

embargo, es necesario mantener al personal y capacitarlo para que opere de forma adecuada la PTAR.

## **12.2. Evaluación de conocimientos**

Este apartado es resultado de la aplicación del Formato 04. Evaluación de conocimientos. En dichos formatos se encontró lo que se menciona a continuación.

- Coordinador de la planta de tratamiento; debido a los años de experiencia presenta muy buenos conocimientos técnicos y conoce la PTAR.
- Jefe de operación y mantenimiento; presenta buenas bases en conocimientos básicos y generales, sus conocimientos técnicos son deficientes, pero conoce muy bien la PTAR.
- Responsable de laboratorio y gestión ambiental; presenta buenas bases en conocimientos básicos y generales, sus conocimientos técnicos son deficientes, pero conoce muy bien la PTAR.
- Auxiliar de PTAR; presenta conocimientos de buenos a regulares en básicos y generales, pero conoce bien la PTAR.
- Operadores; de los seis con los que cuenta la PTAR solo tres entregaron el formato, sin embargo, solo registraron sus datos personales. Lo anterior muestra que no tienen conocimientos sobre el tratamiento de aguas residuales.

Es importante mencionar que los responsables de la PTAR cuentan con la experiencia y conocimientos suficientes para su operación. Sin embargo, los operadores carecen de los conocimientos básicos, lo cual puede influir negativamente en las acciones de mantenimiento, ya que al desconocer el funcionamiento de la planta pudieran realizar acciones que no van acorde al tren de tratamiento.

## **12.3. Capacitación**

### **12.3.1. Cursos de capacitación recibidos**

A continuación, se citan los cursos que ha recibido el personal en los últimos tres años:

- Coordinador de la planta de tratamiento; Ninguno.
- Jefe de operación y mantenimiento; Ninguno.

- Responsable de laboratorio y gestión ambiental; Manejo de gas cloro y sobre la NOM-018-STPS-2015.
- Auxiliar de PTAR; Manejo de gas cloro.
- Operadores; Ninguno.

### **12.3.2. Temas de capacitación solicitados**

De acuerdo con la información recolectada el personal de la PTAR mencionó algunos cursos de capacitación de su interés, los cuales se desglosan a continuación:

- Coordinador de la planta de tratamiento; manejo de lodos de lagunas, Tecnologías de adecuación en lagunas y Procesos administrativos para la operación de una PTAR.
- Jefe de operación y mantenimiento; Ninguno.
- Responsable de laboratorio y gestión ambiental; ISO 14000, ISO 9001 e ISO45001.
- Auxiliar de PTAR; tratamiento, reúso y disposición de lodos.
- Operadores; Ninguno.

A pesar de que el jefe de operación y mantenimiento y los operadores no mencionaron algún curso de capacitación, es necesario implementar un programa de capacitación continua a todo el personal que labora en la PTAR, para tener un mejor entendimiento del funcionamiento de la planta y con ello programar acciones de mantenimiento y mejora de la PTAR.

### **12.3.3. Material didáctico entregado**

Para solventar un poco la problemática sobre material para la capacitación continua, se entregó el siguiente material didáctico en la PTAR

- d) Manuales: El contenido de cada uno de ellos se encuentra en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1m9GYeDsYFscSYAuUpRM5BV8VBsYqT-o8?usp=sharing>
- e) Infografías
- f) Manual de ejercicios prácticos

Los Manuales constan de 6 tomos cuyas temáticas son las siguientes (Figura 77).

- g) Indicadores sensoriales
- h) Indicadores analíticos
- i) Arranque y estabilización de una planta de lodos activados

- j) Calidad del agua
- k) Control del proceso
- l) Seguridad e higiene



**Figura 219 Portada de los manuales**

Se elaboraron 15 infografías con la información de los manuales, las cuales se mencionan a continuación (Figura 78):

- p) Arranque de una PTAR de lodos activados
- q) Higiene y seguridad
- r) Indicadores analíticos A
- s) Indicadores analíticos B
- t) Indicadores sensoriales A
- u) Indicadores sensoriales B
- v) Índice volumétrico de lodos

- w) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-001-SEMARNAT-1996
- x) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-002-SEMARNAT-1996
- y) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-003-SEMARNAT-1997
- z) Parámetros de calidad del agua
- aa) Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados
- bb) Problemas frecuentes en un sistema de lodos activados
- cc) Relación alimento/microorganismos
- dd) Sistema mecanizado de tratamiento de aguas residuales

**ARRANQUE DE UNA PTAR DE LODOS ACTIVADOS**

**Revisión del equipo electromecánico**

Realizar un listado de todos los equipos electromecánicos que conforman el sistema de lodos activados, verificando una granada de arranque y para el movimiento de equipos, así como la funcionalidad de los sensores de nivel.

**Revisión hidráulica de los tanques**

- Revisar el llenado de los tanques de aireación para verificar que no existan fugas o pérdidas de los gases.
- El agua será distribuida de manera uniforme en los tanques.
- Para verificar estos niveles de llenado, tomar como referencia el nivel que se estableció de llenado, como también el manual y especificar en el caso de faltar que se reemplacen por similares.

**ARRANQUE SIN INÓCULO**

**ARRANQUE CON INÓCULO**

**Medio Ambiente | IMTA**

**HIGIENE Y SEGURIDAD**

La higiene y seguridad están relacionadas por una misma y mantienen para prevenir enfermedades y accidentes en el lugar de trabajo.

**Comité de higiene y seguridad**

Las actividades del comité son:

- Elaborar el programa de higiene y seguridad.
- Elaborar el programa de capacitación de los trabajadores.
- Elaborar el programa de mantenimiento de los equipos.
- Elaborar el programa de inspección de los equipos.

**Programas**

Los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento:

- Programa de higiene y seguridad.
- Programa de capacitación.
- Programa de mantenimiento.
- Programa de inspección.

**Medidas de higiene**

**HIGIENE**

- Higiene personal
- Higiene ambiental
- Higiene de alimentos
- Higiene de agua
- Higiene de aire
- Higiene de superficies
- Higiene de objetos
- Higiene de animales
- Higiene de plantas
- Higiene de vehículos
- Higiene de ropa
- Higiene de calzado
- Higiene de manos
- Higiene de ojos
- Higiene de nariz
- Higiene de boca
- Higiene de piel
- Higiene de cabello
- Higiene de uñas
- Higiene de dientes
- Higiene de oídos
- Higiene de cuello
- Higiene de espalda
- Higiene de brazos
- Higiene de piernas
- Higiene de pies
- Higiene de todo el cuerpo

**Seguridad**

- Seguridad personal
- Seguridad ambiental
- Seguridad de alimentos
- Seguridad de agua
- Seguridad de aire
- Seguridad de superficies
- Seguridad de objetos
- Seguridad de animales
- Seguridad de plantas
- Seguridad de vehículos
- Seguridad de ropa
- Seguridad de calzado
- Seguridad de manos
- Seguridad de ojos
- Seguridad de nariz
- Seguridad de boca
- Seguridad de piel
- Seguridad de cabello
- Seguridad de uñas
- Seguridad de dientes
- Seguridad de oídos
- Seguridad de cuello
- Seguridad de espalda
- Seguridad de brazos
- Seguridad de piernas
- Seguridad de pies
- Seguridad de todo el cuerpo

**Medio Ambiente | IMTA**

## INDICADORES ANALÍTICOS

Explicación para: **Mejorar el funcionamiento de la PTAR** • **Calificar la eficiencia del proceso** • **Resolver problemas operacionales**

### SEMANA 1: Eficiencia de procesos

Una planta que funciona con regularidad es una planta que produce un agua potable para el hogar y para el negocio.

El funcionamiento regular de una planta de tratamiento de agua potable es el resultado de un proceso que se realiza de manera constante y eficiente.

Una planta que funciona con regularidad es una planta que produce un agua potable para el hogar y para el negocio.

### FLUJO DE AGUA

El flujo de agua en una planta de tratamiento de agua potable es el resultado de un proceso que se realiza de manera constante y eficiente.

El flujo de agua en una planta de tratamiento de agua potable es el resultado de un proceso que se realiza de manera constante y eficiente.

### OPERACIÓN QUÍMICA DE PROCESOS

El uso de productos químicos en una planta de tratamiento de agua potable es el resultado de un proceso que se realiza de manera constante y eficiente.

El uso de productos químicos en una planta de tratamiento de agua potable es el resultado de un proceso que se realiza de manera constante y eficiente.

### CRASAS Y ACEITES

Las crasas y aceites en una planta de tratamiento de agua potable son el resultado de un proceso que se realiza de manera constante y eficiente.

Las crasas y aceites en una planta de tratamiento de agua potable son el resultado de un proceso que se realiza de manera constante y eficiente.

### TIEMPO DE CONTACTO EN EL TANQUE

El tiempo de contacto en un tanque de una planta de tratamiento de agua potable es el resultado de un proceso que se realiza de manera constante y eficiente.

El tiempo de contacto en un tanque de una planta de tratamiento de agua potable es el resultado de un proceso que se realiza de manera constante y eficiente.

### ESTANTES

Los estantes en una planta de tratamiento de agua potable son el resultado de un proceso que se realiza de manera constante y eficiente.

Los estantes en una planta de tratamiento de agua potable son el resultado de un proceso que se realiza de manera constante y eficiente.

| Unidad             | Medida            | Unidad             | Medida            |
|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Flujo de agua      | m <sup>3</sup> /s | Operación química  | kg/m <sup>3</sup> |
| Operación química  | kg/m <sup>3</sup> | Crasas y aceites   | g/l               |
| Crasas y aceites   | g/l               | Tiempo de contacto | min               |
| Tiempo de contacto | min               | Estantes           | m <sup>2</sup>    |

**MEDIO AMBIENTE** | **IMTA**

## INDICADORES ANALÍTICOS

Explicación para: **Mejorar el funcionamiento de la PTAR** • **Calificar la eficiencia del proceso** • **Resolver problemas operacionales**

### TEMPERATURA

Temperatura ambiente en la planta de tratamiento de agua potable.

Temperatura ambiente en la planta de tratamiento de agua potable.

### pH

Temperatura ambiente en la planta de tratamiento de agua potable.

Temperatura ambiente en la planta de tratamiento de agua potable.

### CONDICIÓN DEL TUBO

Temperatura ambiente en la planta de tratamiento de agua potable.

Temperatura ambiente en la planta de tratamiento de agua potable.

### CONSUMO DE ENERGÍA

Temperatura ambiente en la planta de tratamiento de agua potable.

Temperatura ambiente en la planta de tratamiento de agua potable.

### SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y VOLÁTILES

Temperatura ambiente en la planta de tratamiento de agua potable.

Temperatura ambiente en la planta de tratamiento de agua potable.

**MEDIO AMBIENTE** | **IMTA**

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Material flotante

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

### Acumulación de sólidos

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

### Traectoria de flujos

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

### Mezcla y turbulencia

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

### Burbujeo

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

**MEDIO AMBIENTE** | **IMTA**

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Color

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

### Clor

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

### Tacto

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

### Algas

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

### Turbiedad del efluente

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

### Espuma

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

Indicador de flujo de agua en la planta de tratamiento de agua potable.

**MEDIO AMBIENTE** | **IMTA**

## ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)

• IVL: Índice Volumétrico de lodos medido (mL/L) por cantidad de SPM (g/L)  
 • El volumen de lodos sedimentados se determina en una prueba de 1 L, después de 20 minutos  
 • Los valores de IVL están comprendidos dentro del rango de 100 a 350 mL/L

**Demasiado joven**  
• Aumentar la retención  
• Eliminar la purga

**Edad adecuada**

**Demasiado viejo**  
• Reducir al mínimo la sedimentación  
• Aumentar la purga

Se registra el volumen del lodo cada 5 minutos.  
Los datos se grafican para obtener una curva de sedimentabilidad que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el reactor biológico.  
Durante la prueba se podrá apreciar la forma del flocúlo, así como ver el espeso final de la prueba da una idea de lo que se espera en el sedimentador secundario.  
La información de esta prueba ayudará a conocer el comportamiento del sistema y a detectar problemas operacionales.

MEDIO AMBIENTE | IMTA

### NORMATIVA MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

NOM-003-SEMA/NAT-1996

CATEGORÍA DE USO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

| CATEGORÍA DE USO                     | CATEGORÍA I (AGUA RESERVADA PARA USO DOMESTICO) |              | CATEGORÍA II (AGUA RESERVADA PARA USO INDUSTRIAL) |              | CATEGORÍA III (AGUA RESERVADA PARA USO AGROPECUARIO) |              | CATEGORÍA IV (AGUA RESERVADA PARA USO RECREATIVO) |              | CATEGORÍA V (AGUA RESERVADA PARA USO AMBIENTAL) |              |
|--------------------------------------|---|--------------|---|--------------|--|--------------|---|--------------|---|--------------|
|                                      | PH  | CONDUCIVIDAD | PH  | CONDUCIVIDAD | PH   | CONDUCIVIDAD | PH  | CONDUCIVIDAD | PH  | CONDUCIVIDAD |
| AGUA RESERVADA PARA USO DOMESTICO    | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5  | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         |
| AGUA RESERVADA PARA USO INDUSTRIAL   | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5  | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         |
| AGUA RESERVADA PARA USO AGROPECUARIO | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5  | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         |
| AGUA RESERVADA PARA USO RECREATIVO   | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5  | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         |
| AGUA RESERVADA PARA USO AMBIENTAL    | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5  | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         | 6.5-8.5   | 1000         |

MEDIO AMBIENTE | IMTA

### NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

NOM-002-SEMA/NAT-1996

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las effluents por día aguas residuales que deberán ser tratadas antes o después de ser vertidas al medio ambiente.  
 • Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y aguas subterráneas, así como proteger la contaminación de las aguas subterráneas y no de manera específica obligatoria para la emisión de aguas de efluente.

El límite máximo permisible de temperatura en el APC.  
 Los límites máximos permisibles para la conductividad (CM) y el pH de la efluente en la NOM-003-SEMA/NAT-1996.

El agua que tiene un pH de 6.5 a 8.5.  
 La efluente debe estar a temperatura ambiente.  
 No se permite el agua a temperatura ambiente que sea de origen industrial, agrícola, ganadero, doméstico, comercial, agrícola, ganadero, etc.

| Determinación por día, excepto cuando se especifica otro | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES |                 |             |
|--|-----------------------------|-----------------|-------------|
|  | Promedio mensual            | Promedio diario | Instantáneo |
| Oxígeno y anhídrido sulfúrico                            | 30                          | 10              | 100         |
| Sólidos sedimentables (miligramos por litro)             | 5                           | 10              | 10          |
| Anidrido sulfúrico                                       | 0.5                         | 0.25            | 1           |
| Conductividad  | 0.5                         | 0.75            | 1           |
| Cloruro total  | 1                           | 1.5             | 2           |
| Cálculo total  | 10                          | 10              | 20          |
| Conductividad  | 0.5                         | 0.75            | 1           |
| Aluminio total   | 0.01                        | 0.05            | 0.02        |
| Tricloruro total   | 4                           | 5               | 5           |
| Fluoruro total   | 1                           | 1.5             | 2           |
| Sílice total   | 6                           | 8               | 10          |

MEDIO AMBIENTE | IMTA

### NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

NOM-003-SEMA/NAT-1997

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en una hora de agua residual que se reúnen en cualquier tipo de cuerpo.  
 • Que el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.

MEDIO AMBIENTE PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO  
 En el caso de aguas residuales que se reúnen en cualquier tipo de cuerpo, se deberá considerar el contacto directo con el público.

AGUA RESERVADA PARA USO PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO  
 En el caso de aguas residuales que se reúnen en cualquier tipo de cuerpo, se deberá considerar el contacto indirecto con el público.

Límites de agua residual que se reúnen en cualquier tipo de cuerpo.  
 Límites de agua residual que se reúnen en cualquier tipo de cuerpo.

| TIPO DE EFUELO                              | PROMEDIO MENSUAL         |         |                |                |                  |
|---|--------------------------|---------|----------------|----------------|------------------|
|   | Conductividad (µmhos/cm) | PH      | Turbidez (NTU) | Sólidos (mg/L) | Temperatura (°C) |
| Reservado al público con contacto directo   | 2000                     | 6.5-8.5 | 10             | 30             | 30               |
| Reservado al público con contacto indirecto | 1000                     | 6.5-8.5 | 10             | 30             | 30               |

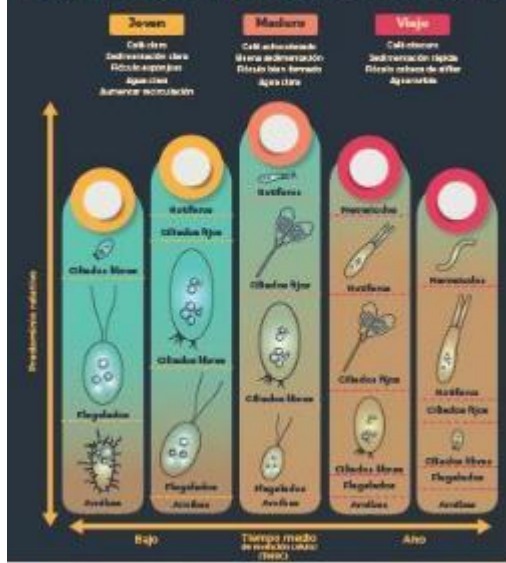
• La materia flotante debe estar presente en el agua residual tratada.  
 • El agua residual tratada reservada para uso público, no deberá contener concentraciones de materia suspendida y cloruro mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-003-SEMA/NAT-1996.

MEDIO AMBIENTE | IMTA

### PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

| PARÁMETRO                      | ABREVIACIÓN  | IMPORTANCIA  |
|--------------------------------|--|--|
| Color aparente                 | CO   | El color aparente es un indicador de la presencia de materia orgánica y de partículas en suspensión. Un color alto indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc. |
| Color verdadero                | CV   |  |
| Clorofila a                    | Chl a  |  |
| Clorofila b                    | Chl b  |  |
| Clorofila c                    | Chl c  |  |
| Clorofila total                | Chl total  |  |
| Clorofila total                | Chl total  |  |
| Clorofila total                | Chl total  |  |
| Clorofila total                | Chl total  |  |
| Clorofila total                | Chl total  |  |
| Turbiedad                      | TUR  | Indicador de la presencia de partículas en suspensión. Un aumento de la turbiedad indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.                                  |
| Color                          | CO   | Indicador de la presencia de materia orgánica y de partículas en suspensión. Un color alto indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.                         |
| Temperatura                    | TEMP   | Indicador de la presencia de materia orgánica y de partículas en suspensión. Una temperatura alta indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.                  |
| ODOR                           | OD   | Indicador de la presencia de materia orgánica y de partículas en suspensión. Un olor fuerte indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.                        |
| Amoniaco                       | NH <sub>4</sub>  | El amoniaco es un indicador de la presencia de materia orgánica y de partículas en suspensión. Un amoniaco alto indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.    |
| Nitrógeno orgánico             | NO <sub>3</sub>  |  |
| Nitrógeno total                | NT   |  |
| Nitrato                        | NO <sub>2</sub>  |  |
| Nitrato                        | NO <sub>3</sub>  |  |
| Nitrato                        | NO <sub>3</sub>  |  |
| Nitrato                        | NO <sub>3</sub>  |  |
| Nitrato                        | NO <sub>3</sub>  |  |
| Nitrato                        | NO <sub>3</sub>  |  |
| Nitrato                        | NO <sub>3</sub>  |  |
| pH                             | pH   | Indicador de la acidez o alcalinidad del agua. Un pH bajo indica un agua ácida y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.   |
| Alcalinidad                    | AL   | Indicador de la capacidad de amortiguamiento del agua en un proceso de neutralización.   |
| Oxígeno                        | DO   | Indicador de la presencia de materia orgánica y de partículas en suspensión. Un oxígeno bajo indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.                       |
| Metales                        | As, Hg, Cd, Pb, Ni, Mn, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni, Co, Ni, Cr, Ni, Cr | Indicador de la presencia de metales pesados en el agua. Un metal alto indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.   |
| Demanda biológica de oxígeno   | BOD  | Indicador de la presencia de materia orgánica y de partículas en suspensión. Un BOD alto indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.                           |
| Demanda química de oxígeno     | COD  | Indicador de la presencia de materia orgánica y de partículas en suspensión. Un COD alto indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.                           |
| Carbono orgánico total         | COT  | Indicador de la presencia de materia orgánica y de partículas en suspensión. Un COT alto indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.                           |
| Turbiedad                      | TUR  | Indicador de la presencia de materia orgánica y de partículas en suspensión. Una turbiedad alta indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.                    |
| Compuestos orgánicos volátiles | COV  | Indicador de la presencia de materia orgánica y de partículas en suspensión. Un COV alto indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.                           |
| Organismos coliformes          | TC, FC   | Indicador de la presencia de organismos coliformes en el agua. Un número alto indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.                                      |
| Microorganismos específicos    | Bacterias, protozoos, helmintos, etc.                          | Indicador de la presencia de organismos específicos en el agua. Un número alto indica un agua turbia y puede ser causado por la presencia de algas, bacterias, virus, hongos, etc.                                     |

### Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados



### PROBLEMAS FRECUENTES EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

| Problema   | Causas   | Observación  |
|--|--|--|
| El reactor turbio, no se ve el floculo sedimentable y desaparece en el medio o espesador | Alta APL, elevada temperatura de entrada, flujo excesivo de afluente, elevada DQO                    | Falta de floculos, floculos pequeños en el medio floculante, no ocurre sedimentación |
| Hay flocos pero no se sedimentan bien, se levantan y se desmenuzan                       | Falta de nutrientes, alta carga orgánica, mala aireación, alta DQO                                   | El floculo es muy pequeño, no floca, ocurre floculación débil                        |
| El reactor de lodos espesa en la superficie del sedimentador                             | Surgimiento de lodos desde el fondo del sedimentador por desfloculación, exceso de floculante, algas | El floculo tiene un tamaño pequeño, floca mal, se levanta y se desmenuza             |
| El agua de salida tiene un olor fuerte, turbia, amarillenta                              | Falta de oxígeno, exceso de nutrientes, alta DQO   | El agua tiene un olor fuerte, turbia, amarillenta                                    |
| El reactor espesa pero no se sedimenta bien, se levanta y se desmenuza                   | Falta de nutrientes, alta carga orgánica, mala aireación, alta DQO                                   | El floculo es muy pequeño, no floca, ocurre floculación débil                        |
| Lodos de sedimentación gelatinosa, no se sedimentan bien, se levantan y se desmenuzan    | Alta carga orgánica, alta DQO, exceso de nutrientes, mala aireación, alta DQO                        | El floculo es muy pequeño, no floca, ocurre floculación débil                        |
| El agua de salida tiene un olor fuerte, turbia, amarillenta                              | Falta de oxígeno, exceso de nutrientes, alta DQO   | El agua tiene un olor fuerte, turbia, amarillenta                                    |
| El reactor espesa pero no se sedimenta bien, se levanta y se desmenuza                   | Falta de nutrientes, alta carga orgánica, mala aireación, alta DQO                                   | El floculo es muy pequeño, no floca, ocurre floculación débil                        |

### RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS







**Figura 220 Infografías**

En el caso del Manual de ejercicios prácticos, en este manual (Figura 79) se presentan una serie de ejercicios prácticos que están clasificados por niveles, de tal manera que el operador podrá resolverlos inicialmente por el mismo y posteriormente la complejidad de los ejercicios le requerirá hacer uso de materiales de apoyo, o recurrir a sus colegas para dar una solución adecuada, y finalmente en un nivel más superior para poder resolver el ejercicio tendrá que recurrir a la ayuda del instructor.

Para la ejecución de estos ejercicios se hará uso de:

- Preguntas de opción múltiple
- Preguntas directas
- Presentación de problemas operacionales
- Preguntas de reflexión, con problemas que desde un punto de vista pueden presentar múltiples interacciones entre los procesos

Estos ejercicios están relacionados a su vez con conocimientos generales, teóricos y prácticos de la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por lo anterior, lo que pretende este manual es que el operador al final cuente con los conocimientos que le permita discernir los niveles de problemas operacionales que se pueden presentar en una PTAR y a su vez tener una herramienta que le permita jerarquizarlos para obtener la mejor y correcta solución.

Este manual va acompañado de un kit de imágenes (Figura 80) que representan todos los posibles procesos que pueden estar presentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.



**Figura 221 Manual de ejercicios prácticos**





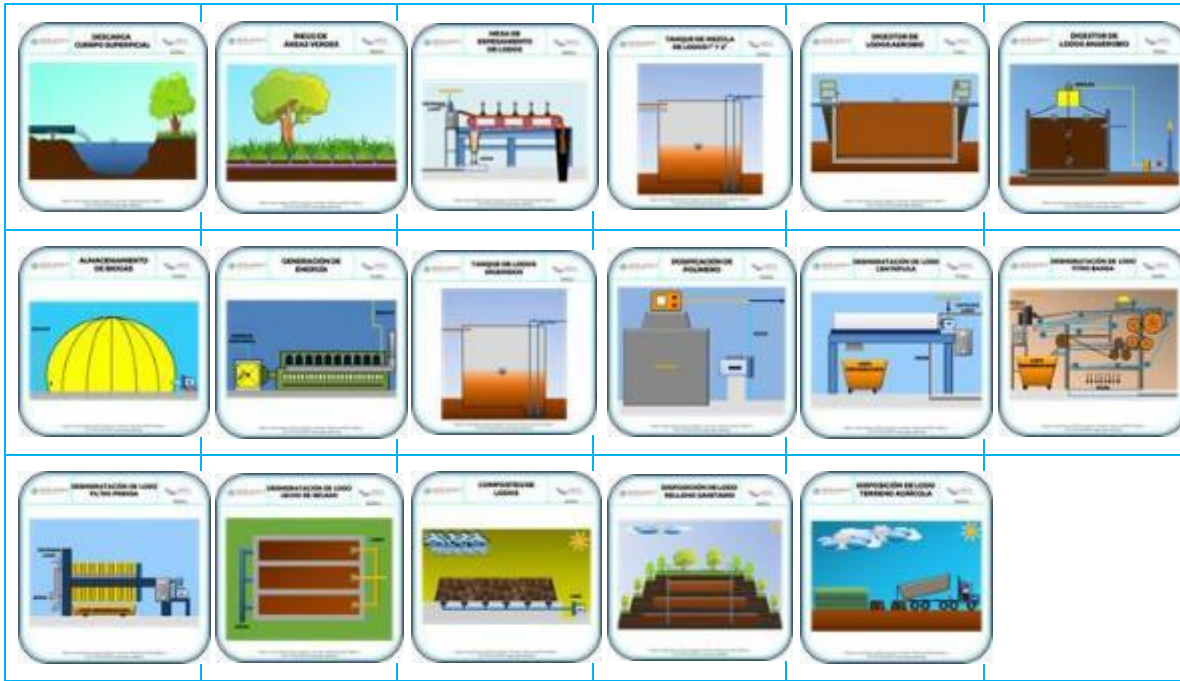


Figura 222 Kit de figuras

### 13. SEGURIDAD E HIGIENE

De acuerdo con la información recabada en campo, no se cuenta con un estudio de análisis de riesgos en la PTAR, sin embargo, las zonas están relacionadas con riesgos; sanitario, de caídas, eléctricos y con equipos pesados.

La planta cuenta con planes de contingencia para atención a incendios y derrames de combustibles, además se realizan simulacros, los cuales son impartidos por personal externo. Para el caso de contingencias técnicas, éstas están relacionadas generalmente con problemas de electricidad. No existe un coordinador para las emergencias en la planta, por lo que el jefe de mantenimiento es quien atiende las eventualidades que se presentan.

Existen dentro de la planta disposiciones de seguridad tales como, el uso de equipo de protección, disposiciones de seguridad para el personal que ingresa a la planta, sin embargo, debido a que no se cuenta con barda perimetral se han encontrado personas dentro del área de las lagunas ajenas y/o sin permiso de ingreso a la PTAR. Para el caso de las unidades de pretratamiento no se han presentado incidentes debido a que se tiene cercada el área.

Dentro de la organización de la planta se cuenta con brigadas de evacuación, de primeros auxilios y de prevención y combate de incendios.

En el área de oficinas se encuentran señalizaciones relacionadas a la seguridad e higiene (Figura 223), sin embargo, en el área de la planta (pretratamiento y lagunas) no hay señalizaciones adecuadas.



**Figura 223 Señalización en oficinas**

Para el laboratorio se cuenta con una infografía que muestra los requisitos de seguridad para laborar en estas instalaciones (Figura 224).



**Figura 224 Señalización en el laboratorio**

Como medidas preventivas para los riesgos generales asociados a la PTAR, se tiene control de las vacunas de los trabajadores de la planta y desparasitación. Debido a que en el tren de tratamiento de la planta no se utilizan reactivos químicos no existen medidas preventivas o correctivas relacionadas.

## 14. LABORATORIO

A pesar de que la PTAR cuenta con un laboratorio, éste no se encuentra en uso debido a la falta de recursos económicos para operarlo, sin embargo, se puede observar que cuenta con los equipos, materiales e instrumentos para realizar los análisis de seguimiento de la calidad del agua residual de la PTAR, como se muestra en la Figura 225.



Oxímetro



Refrigerador



Área de microbiológicos



Área de balanza



Estufa, Centrifuga, e Incubadora



Mesas de trabajo



Mesas de trabajo



Bomba de vacío



Digestor



Estufa

### Figura 225 Instalaciones y equipo de laboratorio

Como se puede observar las instalaciones, los equipos y el material se encuentran en excelentes condiciones operativas. Por lo que en el laboratorio se pueden analizar los siguientes parámetros:



- Demanda bioquímica de oxígeno
- Demanda química de oxígeno
- Coliformes fecales
- Sólidos sedimentables totales
- Sólidos sedimentables volátiles

Además, se podrían realizar análisis de:

- Nitrógeno total
- Nitrógeno amoniacal
- Nitratos
- Fósforo total

Sin embargo, hacen falta los reactivos correspondientes para efectuar las determinaciones analíticas de los parámetros antes mencionados.

## 15. CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR

### 15.1. Causas

Para poder ponderar las causas que influyen de manera negativa en el desempeño de la PTAR, se hace uso de una clasificación que consta de tres niveles de impacto, a saber:

#### Nivel I

Son los que presentan un mayor efecto y con problemas físicos difíciles de resolver de las unidades de proceso más importantes.

#### Nivel II

Son los que contribuyen rutinariamente al bajo desempeño o producen mayores efectos en una base periódica o estacional.

#### Nivel III

Son los que presentan mínimos efectos, fáciles y económicos de resolver, normalmente de operación y administración.

Así, tomando como base la información obtenida de los capítulos anteriores, y la clasificación de las causas que influyen en el desempeño de la PTAR, se elaboró la Tabla 88.

**Tabla 88 Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR**

| No | Nivel | Causa limitante del desempeño                 | Atención      |
|----|-------|---|---------------|
| 1  | I     | Acumulación de lodo en lagunas anaerobias     | Corto plazo   |
| 2  |       | Falta de mamparas en lagunas facultativas     | Corto plazo   |
| 3  |       | No hay desinfección del agua residual tratada | Corto plazo   |
| 1  | II    | Desarenadores fuera de operación              | Corto plazo   |
| 2  |       | Biofiltro fuera de operación                  | Largo plazo   |
| 3  |       | Bombas en mal estado                          | Mediano plazo |

| No | Nivel | Causa limitante del desempeño                               | Atención      |
|----|-------|---|---------------|
| 1  | III   | Formación de malezas en las lagunas                         | Mediano plazo |
| 2  |       | Falta de rejillas en cajas de salida de agua de las lagunas | Corto plazo   |
| 3  |       | Falta de laboratorio para el control y operación de la PTAR | Mediano plazo |
| 4  |       | Tuberías hacia cárcamo de distribución                      | Largo plazo   |
| 5  |       | Capacitación al personal de operación y de laboratorio      | Corto plazo   |

## 15.2. Descripción de la causa y recomendaciones

### 15.2.1. Nivel I

| Causa  | Recomendación   |
|--|---|
| <p><b>1. Acumulación de lodo en lagunas anaerobias</b></p> <p>Si bien, la mayor remoción de los parámetros evaluados se lleva a cabo en las lagunas anaerobias y en algunos casos con valores superiores a los de diseño, la acumulación de lodos reduce considerablemente el volumen de la laguna, hasta en un 41%, lo que reduce también el TRH.</p> | <p>Lo anterior, lleva a suponer que, si retira el lodo acumulado, el TRH de operación sería el de diseño y se mejoraría aún más la eficiencia de las lagunas.</p> <p>En la Tabla 81 en el punto 1, se contempla el costo del desazolve de las lagunas anaerobias.</p> |
| <p><b>2. Falta de mamparas en lagunas facultativas</b></p> <p>En el inicio de operación las lagunas facultativas contaban con mamparas para favorecer un flujo</p>   | <p>Colocar mamparas en las lagunas facultativas a una distancia de 100 m, para favorecer un flujo pistón y maximizar el uso del volumen de las mismas.</p>  |

|  |   |
|--|---|
| <p>pistón y así aprovechar correctamente todo su volumen. Actualmente, ya no se cuenta con mamparas en ninguna laguna, lo que ha originado cortos circuitos y zonas muertas, esto disminuye el TRH y por tanto se afecta la eficiencia de tratamiento. Este hecho se ve reflejado en el bajo porcentaje de remoción que presentan los parámetros evaluados y que en algunos casos aumenta, como es el caso de las G y A y los CF.</p>                      | <p>En la Tabla 81, en el punto 7, se contempla el costo e instalación de las mamparas.</p>  |
| <p><b>3. No hay desinfección del agua residual tratada</b></p> <p>El efluente que se descarga presenta una concentración de CF de <math>4.30 \times 10^5</math> NMP/100 ml, lo que representa un riesgo a la salud para las personas que ocupan el agua para el riego agrícola. Esto es debido a que no existe una laguna de maduración que complemente el sistema de tratamiento lagunar, en la cual se realizaría la desinfección de manera natural.</p> | <p>Debido a que el área que se requiere para una laguna de maduración podría ser de una extensión considerable y los costos de construcción altos, puede considerarse la propuesta de SIMAS de instalar la frecuencia electromagnética para el control de coliformes fecales (se realizaron pruebas piloto con muy buenos resultados, en la Tabla 81, en el punto 10, se contempla el costo e instalación). Otra opción, sería considerar, por la falta de espacio, luz ultravioleta, que actualmente es muy efectiva y su costo no es elevado, además de no presentar riesgos tóxicos, sin embargo, habría que realizar el desazolve de las lagunas antes de instalar este tipo de tecnología para disminuir la concentración de sólidos en el efluente.</p> |

|  |   |
|--|---|
|  | Tomando como base las dimensiones bajo las cuales fueron diseñadas las lagunas aerobias y facultativas, así como el caudal de operación de 1,350 L/s, y si se toman en cuenta las recomendaciones anteriores, la PTAR está en condiciones de cumplir con lo estipulado en la NOM-001-SEMARNAT-2021. |
|--|---|

### 15.2.2. Nivel II

| <b>Causa</b>  | <b>Recomendación</b>  |
|---|---|
| <p><b>1. Desarenadores fuera de operación</b></p> <p>Actualmente no se cuenta con la tubería que conduce las arenas del desarenador a la tolva, por lo que la arena es conducida al cárcamo Cereso II y muy probablemente bombeada a las lagunas anaerobias. Esto también puede generar desgaste en los impulsores de las bombas, debidos a la fricción con las arenas. Además, posiblemente esto contribuya al azolve de las lagunas anaerobias.</p> | <p>Realizar la petición de compra de la tubería y su pronta instalación. En la Tabla 81 , en el punto 7, se contempla el costo e instalación de la misma.</p>   |
| <p><b>2. Biofiltro fuera de operación</b></p> <p>El agua residual que es bombeada de los cárcamos La Joya y Cereso I, es recibida en un pequeño cárcamo de llegada, en donde también se encuentran las rejillas gruesas. En</p>   | <p>Realizar la petición de reparación del soplador y su pronta instalación. Es conveniente contar con otra unidad para que se alterne su operación y contar con la posibilidad de dar mantenimiento</p> |

|  |   |
|--|---|
| <p>este lugar el agua residual presenta condiciones anaerobias importantes, ya que se percibe un fuerte olor a ácido sulfhídrico, por lo que se cuenta con un biofiltro para su control, sin embargo, el soplador que es el encargado extraer el aire del cárcamo y conducirlo hacia el biofiltro está descompuesto. Por lo que, en esta área del pretratamiento el olor a huevo podrido es intenso.</p> | <p>preventivo a las unidades, y así evitar futuras fallas.</p>  |
| <p><b>3. Bombas en mal estado</b></p> <p>Las bombas que conducen el agua a la caja de distribución se encuentran en mal estado, observándose fugas de agua en las juntas, de hecho, la bomba número cuatro se encontraba en reparación al momento de la evaluación. Aunque, no se encontró fecha de instalación, todo parece indicar que ya cumplieron con su tiempo de vida útil.</p>                   | <p>Realizar la petición de compra de las bombas y su pronta instalación. En la Tabla 81, en el punto 2, se contempla el costo por su adquisición.</p> |

### 15.2.3. Nivel III

| Causa  | Recomendación   |
|--|---|
| <p><b>1. Formación de malezas en las lagunas</b></p> <p>El hecho de que se genere maleza acuática en las lagunas facultativas es indicativo de la presencia de cortos circuitos y zonas muertas.</p> | <p>Retiro de las malezas y colocación de las mamparas para propiciar un flujo pistón.</p> |

|  |  |
|--|--|
| <p><b>2. Falta de rejillas en cajas de salida de agua de las lagunas</b></p> <p>Se observó que inicialmente todas las cajas de salida de las lagunas, tanto anaerobias como facultativas, contaban con rejillas para evitar el paso de la basura. Sin embargo, son muy pocas las que cuentan con éstas y en su lugar se tienen tablas, que probablemente estén propiciando corrientes favorables de salida de agua hacia las que no tiene tablas o rejillas, y esto a su vez genera cortos circuitos en las lagunas.</p>                   | <p>Realizar la petición de compra de las rejillas, de preferencia de acero inoxidable para contar con una larga duración, y su pronta instalación. En la Tabla 81 en el punto 7, se contempla el costo e instalación de las mismas.</p>  |
| <p><b>3. Falta de laboratorio para el control y operación de la PTAR</b></p> <p>Se tiene un laboratorio en las instalaciones de la PTAR, el cual cuenta con material y equipos, sin embargo, no hay reactivos ni personal. Es importante tomar en cuenta que con la aprobación de la NOM-001-SEMARNAT-2021, se hace indispensable controlar el sistema de tratamiento, para lo cual se deberá conocer la calidad del agua de entrada y salida de la PTAR, con el fin de realizar las acciones pertinentes para evitar entrar en falta.</p> | <p>Considerar la contratación de personal para el laboratorio y la compra de reactivos. Así como, implementar las técnicas analíticas de los principales parámetros de control, como DQO, SST, NT, PT, G y A, E. Coli, Color, Toxicidad, entre otros y plantear un programa rutinario de monitoreo. En la Tabla 81, en el punto 9, se contempla una parte del costo para esta recomendación.</p> |
| <p><b>4. Tuberías hacia cárcamo de distribución</b></p> <p>Debido a que el agua residual llega con cierto grado anaerobio, la tubería que va hacia el cárcamo de</p>   | <p>Realizar la petición de compra de la tubería y su pronta instalación. En la Tabla 81, en los puntos 3 y 4, se contempla el costo por su adquisición.</p>  |

|  |  |
|--|--|
| <p>distribución y la que va a las lagunas presenta cierta corrosión, además considerar que ésta data del inicio de operación de la PTAR.</p>   |  |
| <p><b>5. Capacitación al personal de operación y de laboratorio</b></p> <p>Con la aprobación de la NOM-001-SEMARNAT-2021, se hace indispensable contar con personal calificado en el tratamiento de aguas residuales, así como en la determinación analítica de los principales parámetros de control.</p> | <p>Elaborar programas de capacitación:</p> <p>Personal de operación:<br/>Normatividad, teoría y operación de sistemas lagunares, seguridad e higiene.</p> <p>Analistas: Sistema de aseguramiento de calidad, implementación de procedimientos analíticos, seguridad e higiene.</p> |



## **16. CONCLUSIONES**

### **16) Título de concesión de descarga**

- a) Se cuenta con un permiso para descargar aguas residuales con un volumen total de 37 843,200.00 m<sup>3</sup>/año (103,680 m<sup>3</sup>/d), con descarga a suelo agrícola.
- b) Las condiciones particulares de descarga solo contemplan grasas y aceites y metales.

### **17) Memoria de cálculo**

- a) No presenta como requerimiento de diseño una calidad de agua de entrada ni de salida.
- b) Se establece un TRH en las lagunas que no tiene referencia y con éste se dimensionan las mismas.
- c) El diseño solo se basa en la demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales.
- d) Los cálculos que se presentan son correctos.
- e) No se contempló el diseño de una laguna de maduración para realizar la desinfección.

### **18) Información histórica de calidad del agua**

- a) Se proporcionó información que se reportó a la Comisión Nacional del Agua entre los años 2019 y 2021 al mes de julio.
- b) La PTAR en este periodo ha operado entre un 50 a 60% del caudal de diseño, que es de 1,900 L/s.
- c) El pH, los huevos de Helminthos, grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, metales y cianuros en el efluente de la PTAR cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- d) El pH, nitrógeno total, fósforo total, metales y cianuros en el efluente de la PTAR cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- e) Los coliformes fecales se reportaron como mayores o iguales a 2,400 NMP/100 ml, durante el periodo de análisis. Por lo que no se cumple con lo estipulado en la NOM-001-SEMARNAT-1996, que no deben rebasar los 1,000 NMP/100 ml.
- f) Los sólidos suspendidos totales no cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-2021 en los años 2018 y 2020, en donde solo se rebasó en un mes.

- g) La demanda química de oxígeno no se cumple con el LMP de 150 mg/L que establece la NOM-001-SEMARNAT-2021 en el periodo de estudio.
- h) En el último año, en el efluente de la PTAR, se aprecia un incremento en la concentración de los siguientes parámetros; demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total y fósforo total.
- i) Al ser descarga a suelo, para uso en riego agrícola, y de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1966, algunos parámetros no presentan límites máximos permisibles y los que si los tienen cumplen con la normatividad.
- j) Se tendrá que poner atención en el parámetro de DQO, ya que éste no ha cumplido en ningún año con la NOM-001-SEMARNAT-2021.

### **19) Información del Proceso**

- a) No se cuenta con información de análisis rutinarios.
- b) Las bitácoras solo describen actividades de mantenimiento rutinario o de reparación.
- c) No se proporcionó el programa de mantenimiento anual.
- d) Se comentó que se cuenta con un archivo de las órdenes de mantenimiento pero que no era posible proporcionarlo, por lo que se desconoce el alcance del mantenimiento de la PTAR.

### **20) Funcionamiento de la PTAR**

- a) Los desarenadores se encuentran fuera de operación.
- b) Las lagunas anaerobias se encuentran en operación, excepto la laguna anaerobia C, que se encuentra en fase de secado de lodos.
- c) Las lagunas facultativas se encuentran en operación.
- d) La laguna facultativa C a través de una conexión recibe agua residual de la laguna D, por lo que el caudal que recibe la laguna anaerobia D se divide entre estas dos lagunas.
- e) Desde el arranque de la PTAR se ha realizado solamente la limpieza de las lagunas anaerobias A y B en el año 2016 y 2019, respectivamente.
- f) Se estima que las lagunas anaerobias D, E y F deben tener un manto de lodos en promedio superior a 1.5 m.
- g) La acumulación de lodo en las lagunas anaerobias implica una disminución del volumen y por tanto del tiempo de residencia hidráulico, lo que al final afecta negativamente la eficiencia del proceso anaerobio.

- h) Las lagunas contaban con mamparas para evitar cortos circuitos, sin embargo, éstas tuvieron un tiempo de vida de aproximadamente tres años.
- i) La falta de mamparas en las lagunas ha propiciado cortos circuitos y zonas muertas, lo cual afecta la eficiencia de las mismas.
- j) Las dimensiones de las lagunas que se citan en la memoria de cálculo y las de los planos no son iguales. Aún más, ninguna de las dos coincide con las que se obtuvieron en campo, aunque éstas son muy próximas a las citadas en los planos.
- k) La acumulación de lodos en las lagunas anaerobias tiene un impacto en el volumen útil y por tanto en el tiempo de residencia hidráulica, impactando negativamente en la calidad del agua.
- l) El estado de la obra civil del pretratamiento es bueno, se da mantenimiento y pintura una vez al año.
- m) El estado de las instalaciones metálicas es regular, ya que se observó en ciertas zonas corrosión de tuberías, barandales, tapas y piso metálico.
- n) En el área de pretratamiento los equipos electromecánicos se encuentran en un estado regular.
- o) De las cinco bombas que envían el agua a la caja de distribución, cuatro se encuentran en mal estado, ya que presentan fugas de agua, y una está en reparación.

## **21) Muestreo compuesto**

- a) Se realizó un muestreo compuesto de 24 h al influente y efluente general de la PTAR, considerando los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y de la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- b) El caudal de operación se encuentra entre 1,027 a 1,422 L/s.
- c) El pH en el efluente cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- d) El pH y el color en el efluente cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- e) El efluente no cumple con el requerimiento en coliformes fecales para la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- f) El efluente no cumple con el requerimiento en E. Coli, demanda química de oxígeno y toxicidad para la NOM-001-SEMARNAT-2021.

## **22) Muestreo simple**

- a) Se tomaron muestras simples a la salida de cada laguna para la determinación de los siguientes parámetros; pH, temperatura, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de

oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, coliformes fecales y clorofila.

- b) Las lagunas facultativas A, B, C y F, están fuera del rango establecido de pH en la NOM-001-SEMARNAR-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- c) Las lagunas facultativas E y F, están fuera del rango establecido en grasas y aceites para la NOM-001-SEMARNAR-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- d) Los efluentes de las lagunas facultativas no rebasan el LMP de 120 mg/L de la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- e) Las concentraciones de demanda química de oxígeno a la salida de las lagunas facultativas están por arriba del LMP marcado por la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- f) El efluente de las lagunas anaerobias cumple con los LMP establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, con relación a los coliformes fecales.
- g) En las lagunas facultativas existe recontaminación de coliformes fecales, por lo que solo cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 la C y D.
- h) Las lagunas anaerobias y facultativas están por debajo de las cargas orgánicas superficiales y volumétricas de diseño, por lo que se puede aumentar la capacidad de operación.
- i) La mayor remoción de los parámetros evaluados se lleva a cabo en las lagunas anaerobias.

### **23) Determinaciones de campo**

- a) La determinación de pH y de oxígeno disuelto en cada una de las cajas de salida de las lagunas facultativas indican que existen cortos circuitos y zonas muertas, en unas más que en otras, lo que afecta su operación y por tanto la calidad del efluente. Esto puede ser un efecto de la poca eficiencia que presentan. Y esto es consecuencia de la falta de las mamparas.

### **24) Influencia industrial**

- a) El agua residual que recibe la PTAR "Rancho Alegre" o "Torreón" tiene un componente industrial de aproximadamente el 3%. Destacando los comercios y prestadores de servicios en general con un 64% del total de las descargas industriales.
- b) La relación DBO/DQO en el influente y efluente es 0.4 y 0.2, respectivamente, con promedios anuales en el efluente que van

desde 0.40 a 0.47, con mínimos desde 0.02 y hasta 0.40 lo que indica que el agua residual es poco biodegradable y podría ser indicio de la presencia de compuestos tóxicos o descargas industriales en el influente de la planta.

## **25) Evaluación de conocimientos**

- a) El personal directivo de la PTAR presenta buenas bases en conocimiento básico y generales, sin embargo, los conocimientos técnicos son deficientes.
- b) Los operadores solo conocen bien la PTAR y en general no tienen conocimientos técnicos sobre el proceso de tratamiento.
- c) Se entregó material didáctico para solventar un poco la problemática.

## **26) Seguridad**

- a) La planta cuenta con planes de contingencia para atención a incendios y derrames de combustibles, así como en la realización de simulacros.
- b) Existen dentro de la planta disposiciones de seguridad tales como, el uso de equipo de protección, y por contingencia de COVID-19 es obligatorio el uso de cubrebocas y el empleo de gel antibacterial.
- c) Se cuenta con brigadas de evacuación, de primeros auxilios y de prevención y combate de incendios.
- d) Se tiene control de las vacunas de los trabajadores de la planta y desparasitación.

## **27) Laboratorio**

- a) Esta fuera de operación por falta de recursos económicos y de personal.
- b) Los equipos y materiales se encuentran en excelentes condiciones.
- c) Se pueden realizar los siguientes parámetros:
  - i) Demanda bioquímica de oxígeno
  - ii) Demanda química de oxígeno
  - iii) Coliformes fecales
  - iv) Sólidos sedimentables totales
  - v) Sólidos sedimentables volátiles
- d) Además, se podrían analizar:
  - i) Nitrógeno total
  - ii) Nitrógeno amoniacal

- iii) Nitratos
- iv) Fósforo total

## **28) Causas que limitan el desempeño de la PTAR**

- a) La acumulación de lodos en las lagunas anaerobias disminuye la eficiencia de operación de las lagunas.
- b) La falta de mamparas en las lagunas genera cortos circuitos y zonas muertas, lo que repercute en su eficiencia de operación.
- c) No se cuenta con lagunas de maduración o algún sistema de desinfección, por lo que el efluente no cumple con el LMP fijado NOM-001-SEMARNAT-1996 en coliformes fecales y de E. coli para la NOM-001-SEMARNAT-2021.

**29) Condiciones para el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021.** Tomando como base las dimensiones bajo las cuales fueron diseñadas las lagunas aerobias y facultativas, así como el caudal de operación de 1,350 L/s, y si se toman en cuenta las recomendaciones propuestas, la PTAR está en condiciones de cumplir con lo estipulado en la NOM-001-SEMARNAT-2021.

# **ANEXO I. Calidad del agua del efluente 2018-2021**

### Calidad del agua del efluente de la PTAR Torreón 2018 A

| Parámetro                     | Siglas | Unidades   | Límite   | 22/01/18 | 30/01/18 | 12/02/18 | 22/02/18 | 06/03/18 | 20/03/18 | 10/04/18 | 30/04/18 |
|-------------------------------|--------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo                         | Q      | L/s        |          | 2125,67  | 1379,17  | 577,18   | 1176,77  | 1101     | 1169,52  | 1118,97  | 1069,4   |
| pH                            | pH     |            | 5. - 10. | 8,1      | 8        | 8,4      | 8,2      | 8,3      | 8,2      | 8,3      | 7,8      |
| Huevos de Helminetos          | HH     | H/L        | 5        | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       |
| Coliformes fecales            | CF     | NMP/100 ml | 2000     | >=24000  | >=2400   | 2107     | >=2400   | >=2400   | >=2400   | 2107     | >=2400   |
| Temperatura                   | Temp   | °C         | N.A.     | 15       | 16       | 19       | 22       | 23       | 22       | 24       | 26       |
| Grasas y aceites              | GyA    | mg/L       | 25       | 11,68    | 12,78    | 5,45     | 11,07    | 14,31    | 14,11    | 14,92    | 7,52     |
| Materia flotante              | MF     |            | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  |          |
| Conductividad eléctrica       | CE     | mS/m       | N.E.     | 161,4    | 162,89   | 147,9    | 157,2    | 157,5    | 158,35   | 152,86   | 149,98   |
| Sólidos sedimentables         | S Sed. | ml/L       | 2        | <0.5     | <0.5     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     |
| Sólidos suspendidos totales   | SST    | mg/L       | 200      | 47,14    | 57,96    | 90,03    | 60,01    | 88,04    | 62,03    | 74,01    | 68,02    |
| Demanda bioquímica de oxígeno | DBO    | mg/L       | 200      | 89       | 174,67   | 108,75   | 68,33    | 131      | 87,5     | 74       | 102,75   |
| Nitrógeno total Kjeldahl      | NTK    | mg/L       | N.E.     | 46,96    | 25,18    | 51,57    | 47,2     | 42,9     | 47,26    | 4,83     | 46,73    |
| Nitritos                      | NO2    | mg/L       | N.E.     | 0,0131   | 0,011    | 0,0235   | 0,019    | <0.01    | 0,0118   | 0,0104   | 0,0209   |
| Nitratos                      | NO3    | mg/L       | N.E.     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.01    | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.01    |
| Nitrógeno total               | NT     | mg/L       | 60       | 46,968   | 25,19    | 51,597   | 47,214   | 42,905   | 47,273   | 42,089   | 46,75    |
| Fósforo total                 | PT     | mg/L       | 30       | 8,304    | 7,619    | 7,886    | 7,696    | 6,747    | 10,078   | 9,325    | 13,665   |
| Arsénico                      | As     | mg/L       |          | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.075   | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Cadmio                        | Cd     | mg/L       | 0,1      | <0.0005  | <0.0005  | <0.002   | <0.002   | <0.002   | <0.002   | <0.002   | <0.002   |
| Cianuros                      | CN     | mg/L       | 3        | <0.024   | <0.025   | <0.026   | <0.025   | <0.026   | <0.025   | <0.025   | <0.026   |
| Cobre                         | Cu     | mg/L       | 6        | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Cromo                         | Cr     | mg/L       | 1        | <0.05    | <0.05    | <0.05    | 0,0625   | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Mercurio                      | Hg     | mg/L       | 0,01     | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   |



| Parámetro                  | Siglas | Unidades | Límite | 22/01/18 | 30/01/18 | 12/02/18 | 22/02/18 | 06/03/18 | 20/03/18 | 10/04/18 | 30/04/18 |
|----------------------------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Niquel                     | Ni     | mg/L     | 4      | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Plomo                      | Pb     | mg/L     | 10     | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Zinc                       | Zn     | mg/L     | 20     | 0,0644   | <0.05    | 0,0583   | 0,1788   | 1,5121   | 0,0974   | 0,0684   | 0,1159   |
| Demanda química de oxígeno | DQO    | mg/L     | N.E.   | 254,39   | 255,85   | 233,29   | 195,46   | 218,7    | 216,64   | 232,92   | 258,59   |

### Calidad del agua del efluente de la PTAR Torreón 2018 B

| Parámetro                     | Siglas | Unidades   | Límite   | 14/05/18 | 22/05/18 | 04/06/18 | 19/06/18 | 10/07/18 | 26/07/18 | 21/08/18 | 22/08/18 |
|-------------------------------|--------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo                         | Q      | L/s        |          | 1126,18  | 1000,29  | 942,92   | 1466,57  | 1467,22  | 1268,17  | 671,33   | 609,87   |
| pH                            | pH     |            | 5. - 10. | 7,7      | 8,1      | 8        | 8,2      | 8,2      | 8,2      | 8,1      | 8,1      |
| Huevos de Helmitos            | HH     | H/L        | 5        | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       |
| Coliformes fecales            | CF     | NMP/100 ml | 2000     | >=2400   | >=2400   | >=2400   | 1328     | >=2400   | 2107     | >=2400   | >=2400   |
| Temperatura                   | Temp   | °C         | N.A.     | 28       | 28       | 27       | 29       | 27       | 28       | 27       | 27       |
| Grasas y aceites              | GyA    | mg/L       | 25       | 11,45    | 10,57    | <3       | 6,91     | 11,59    | 13,35    | 11,47    | 11,62    |
| Materia flotante              | MF     |            | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  |
| Conductividad eléctrica       | CE     | mS/m       | N.E.     | 151,64   | 148,78   | 148,12   | 148,84   | 150,05   | 129,18   | 140,02   | 141,6    |
| Sólidos sedimentables         | S Sed. | ml/L       | 2        | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     |
| Sólidos suspendidos totales   | SST    | mg/L       | 200      | 49,97    | 57,98    | 64,01    | 82,02    | 84       | 103,99   | 105,69   | 108,29   |
| Demanda bioquímica de oxígeno | DBO    | mg/L       | 200      | 44,33    | 107,7    | 54,2     | 51       | 100,6    | 81       | 97       | 70,97    |
| Nitrógeno total Kjeldahl      | NTK    | mg/L       | N.E.     | 28,6     | 31,25    | 33,58    | 31,18    | 32,37    | 35,09    | 35,14    | 36,95    |
| Nitritos                      | NO2    | mg/L       | N.E.     | 0,0259   | 0,4609   | 0,0637   | 0,131    | <0.01    | <0.01    | 0,0109   | <0.01    |
| Nitratos                      | NO3    | mg/L       | N.E.     | <0.1     | 0,115    | <0.1     | <0.1     | <0.1     | 0,162    | <0.1     | <0.1     |
| Nitrógeno total               | NT     | mg/L       | 60       | 28,63    | 31,83    | 33,64    | 31,31    | 32,37    | 35,25    | 35,15    | 36,95    |

| Parámetro                  | Siglas | Unidades | Límite | 14/05/18 | 22/05/18 | 04/06/18 | 19/06/18 | 10/07/18 | 26/07/18 | 21/08/18 | 22/08/18 |
|----------------------------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Fósforo total              | PT     | mg/L     | 30     | 5,489    | 6,742    | 5,214    | 8,346    | 6,504    | 6,816    | 7,795    | 8,124    |
| Arsénico                   | As     | mg/L     |        | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Cadmio                     | Cd     | mg/L     | 0,1    | <0.002   | <0.002   | <0.002   | <0.002   | <0.002   | <0.002   | <0.002   | <0.002   |
| Cianuros                   | CN     | mg/L     | 3      | <0.025   | <0.025   | <0.025   | <0.025   | <0.025   | <0.025   | <0.025   | <0.025   |
| Cobre                      | Cu     | mg/L     | 6      | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Cromo                      | Cr     | mg/L     | 1      | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Mercurio                   | Hg     | mg/L     | 0,01   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   |
| Niquel                     | Ni     | mg/L     | 4      | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Plomo                      | Pb     | mg/L     | 10     | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Zinc                       | Zn     | mg/L     | 20     | 0,578    | 0,3838   | 0,2592   | 0,1634   | 0,185    | <0.05    | 0,0619   | 0,1985   |
| Demanda química de oxígeno | DQO    | mg/L     | N.E.   | 164,03   | 193,85   | 221,55   | 170,62   | 156,38   | 193,18   | 207,89   | 225,5    |

### Calidad del agua del efluente de la PTAR Torreón 2018 C

| Parámetro               | Siglas | Unidades   | Límite   | 04/09/18 | 18/09/18 | 09/10/18 | 24/10/18 | 06/11/18 | 20/11/18 | 04/12/18 | 18/12/18 |
|-------------------------|--------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo                   | Q      | L/s        |          | 1358,99  | 1804,5   | 892,33   | 689,33   | 764,33   | 894,5    | 764,83   | 848,67   |
| pH                      | pH     |            | 5. - 10. | 8,2      | 7,9      | 8        | 8,4      | 8,3      | 8,3      | 8,3      | 8,3      |
| Huevos de Helmitos      | HH     | H/L        | 5        | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       |
| Coliformes fecales      | CF     | NMP/100 ml | 2000     | >=2400   | >=2400   | 666      | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   |
| Temperatura             | Temp   | °C         | N.A.     | 28       | 27       | 25       | 20       | 22       | 17       | 18       | 17       |
| Grasas y aceites        | GyA    | mg/L       | 25       | 11,2     | 7,56     | 9,61     | 12,3     | 11,03    | 13,72    | 15       | 14,29    |
| Materia flotante        | MF     |            | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  |
| Conductividad eléctrica | CE     | mS/m       | N.E.     | 143,12   | 120,59   | 135,2    | 143,44   | 1580,05  | 1440,18  | 1466,54  | 1453,15  |
| Sólidos sedimentables   | S Sed. | ml/L       | 2        | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     |

| Parámetro                     | Siglas | Unidades | Límite | 04/09/18 | 18/09/18 | 09/10/18 | 24/10/18 | 06/11/18 | 20/11/18 | 04/12/18 | 18/12/18 |
|-------------------------------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Sólidos suspendidos totales   | SST    | mg/L     | 200    | 92,3     | 54,02    | 49,96    | 46,01    | 63,98    | 53,3     | 58,05    | 48,01    |
| Demanda bioquímica de oxígeno | DBO    | mg/L     | 200    | <10      | 85,67    | 36,2     | 52,17    | 51,43    | 42,2     | 47,8     | 78,33    |
| Nitrógeno total Kjeldahl      | NTK    | mg/L     | N.E.   | 33,51    | 19,11    | 19,41    | 19,84    | 22,4     | 24,45    | 26,66    | 30,08    |
| Nitritos                      | NO2    | mg/L     | N.E.   | <0.01    | 0,0803   | 0,1296   | 0,1395   | 0,0886   | 0,2878   | 0,2873   | 0,0193   |
| Nitratos                      | NO3    | mg/L     | N.E.   | <0.1     | <0.1     | 0,566    | <0.1     | 0,288    | 0,447    | 0,391    | 0,105    |
| Nitrógeno total               | NT     | mg/L     | 60     | 33,51    | 19,19    | 20,11    | 19,98    | 22,78    | 25,18    | 27,34    | 30,2     |
| Fósforo total                 | PT     | mg/L     | 30     | 8,795    | 2,952    | 4,345    | 3,149    | 4,295    | 5,112    | 6,951    | 7,174    |
| Arsénico                      | As     | mg/L     |        | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Cadmio                        | Cd     | mg/L     | 0,1    | <0.002   | <0.002   | <0.002   | <0.002   | <0.002   | <0.002   | <0.002   | <0.002   |
| Cianuros                      | CN     | mg/L     | 3      | <0.026   | <0.026   | <0.025   | <0.025   | <0.024   | <0.025   | <0.025   | <0.025   |
| Cobre                         | Cu     | mg/L     | 6      | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Cromo                         | Cr     | mg/L     | 1      | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Mercurio                      | Hg     | mg/L     | 0,01   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   |
| Niquel                        | Ni     | mg/L     | 4      | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Plomo                         | Pb     | mg/L     | 10     | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    | <0.05    |
| Zinc                          | Zn     | mg/L     | 20     | 0,2231   | 0,1867   | 0,0916   | 0,056    | 0,3322   | 0,1901   | 0,0923   | 0,1132   |
| Demanda química de oxígeno    | DQO    | mg/L     | N.E.   | 210,09   | 137,99   | 101,93   | 121,62   | 109,89   | 158,82   | 132,69   | 219,04   |

### Calidad del agua del efluente de la PTAR Torreón 2019 A

| Parámetro            | Siglas | Unidades | Límite   | 23/01/19 | 24/01/19 | 12/02/19 | 13/02/19 | 05/03/19 | 06/03/19 | 02/04/19 | 03/04/19 |
|----------------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo                | Q      | L/s      |          | 1073,85  | 1000,42  | 1240,9   | 1284,5   | 956,93   | 1082,33  | 1159,92  | 1113,93  |
| pH                   | pH     |          | 5. - 10. | 8,1      | 8,3      | 8,2      | 8,3      | 7,8      | 7,4      | 7,8      | 7,8      |
| Huevos de Helminetos | HH     | H/L      | 5        | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       |

| Parámetro                     | Siglas | Unidades   | Límite  | 23/01/19 | 24/01/19 | 12/02/19 | 13/02/19 | 05/03/19 | 06/03/19 | 02/04/19 | 03/04/19 |
|-------------------------------|--------|------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Coliformes fecales            | CF     | NMP/100 ml | 2000    | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   |
| Temperatura                   | Temp   | °C         | N.A.    | 22       | 15       | 22       | 19       | 23       | 23       | 22       | 23       |
| Grasas y aceites              | GyA    | mg/L       | 25      | 9,58     | 10,89    | 4,96     | 3,69     | 15,66    | 12,04    | 12,12    | 10,33    |
| Materia flotante              | MF     |            | Ausente | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  |
| Conductividad eléctrica       | CE     | µS / cm    | N.E.    | 1585,4   | 1397,7   | 1601,06  | 1324,92  | 1630,83  | 1657,7   | 1559,22  | 1453,98  |
| Sólidos sedimentables         | S Sed. | ml/L       | 2       | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     |
| Sólidos suspendidos totales   | SST    | mg/L       | 200     | 52       | 58       | 58       | 48       | 68       | 60       | 62       | 64       |
| Demanda bioquímica de oxígeno | DBO    | mg/L       | 200     | 49       | 58,2     | 52       | 70       | 73       | 51,8     | 66,67    | 75,5     |
| Nitrógeno total Kjeldahl      | NTK    | mg/L       | N.E.    | 28,54    | 14,39    | 28,85    | 28,85    | 30,28    | 30,03    | 29,24    | 27,74    |
| Nitritos                      | NO2    | mg/L       | N.E.    | <0,01    | 0,388    | 0,049    | 0,043    | 0,545    | 0,372    | 0,173    | 0,1457   |
| Nitratos                      | NO3    | mg/L       | N.E.    | 0,309    | 0,187    | 0,458    | 0,269    | 0,104    | 0,499    | 0,597    | 0,302    |
| Nitrógeno total               | NT     | mg/L       | 60      | 28,85    | 14,62    | 29,36    | 29,16    | 30,93    | 30,90    | 30,01    | 28,19    |
| Fósforo total                 | PT     | mg/L       | 30      | 12,581   | 12,660   | 15,451   | 9,736    | 6,962    | 7,112    | 7,874    | 8,395    |
| Arsénico                      | As     | mg/L       |         | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Cadmio                        | Cd     | mg/L       | 0,1     | <0,002   | <0,002   | 0,0028   | <0,0020  | <0,002   | <0,002   | <0,0020  | <0,002   |
| Cianuros                      | CN     | mg/L       | 3       | <0,025   | <0,025   | <0,026   | <0,026   | <0,025   | <0,025   | <0,025   | <0,025   |
| Cobre                         | Cu     | mg/L       | 6       | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | 0,2446   |
| Cromo                         | Cr     | mg/L       | 1       | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Mercurio                      | Hg     | mg/L       | 0,01    | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   |
| Niquel                        | Ni     | mg/L       | 4       | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Plomo                         | Pb     | mg/L       | 10      | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Zinc                          | Zn     | mg/L       | 20      | 0,0596   | 0,1047   | 0,0598   | <0,05    | 0,0535   | 0,0625   | 0,4836   | 0,0947   |
| Demanda química de oxígeno    | DQO    | mg/L       | N.E.    | 138,1    | 265,02   | 210,63   | 190,48   | 177,53   | 154,52   | 206,32   | 250,41   |

### Calidad del agua del efluente de la PTAR Torreón 2019 B

| Parámetro                     | Siglas | Unidades   | Límite   | 14/05/19 | 15/05/19 | 04/06/19 | 05/06/19 | 02/07/19 | 03/07/19 | 06/08/19 | 07/08/19 |
|-------------------------------|--------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo                         | Q      | L/s        |          | 976,97   | 897,02   | 1344     | 1138,67  | 847      | 977,4    | 738,58   | 697,38   |
| pH                            | pH     |            | 5. - 10. | 7,5      | 8,2      | 8,1      | 8,2      | 7,5      | 8,1      | 7,4      | 8,2      |
| Huevos de Helminetos          | HH     | H/L        | 5        | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       |
| Coliformes fecales            | CF     | NMP/100 ml | 2000     | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | 1215     | >=2400   |
| Temperatura                   | Temp   | °C         | N.A.     | 27       | 26       | 23       | 23       | 26       | 25       | 25       | 24       |
| Grasas y aceites              | GyA    | mg/L       | 25       | 6,89     | 4,66     | 10,04    | 5,93     | 8,08     | 7,12     | 8,89     | 8,57     |
| Materia flotante              | MF     |            | Ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  |
| Conductividad eléctrica       | CE     | µS / cm    | N.E.     | 1546,17  | 1367     | 1394     | 1266,75  | 1537,57  | 1246,73  | 1507,65  | 1250,15  |
| Sólidos sedimentables         | S Sed. | ml/L       | 2        | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     |
| Sólidos suspendidos totales   | SST    | mg/L       | 200      | 72       | 74       | 56       | 70       | 68       | 80       | 82       | 76       |
| Demanda bioquímica de oxígeno | DBO    | mg/L       | 200      | 70,26    | 69       | 77,67    | 76       | 62,4     | 72,67    | 51,9     | 59,2     |
| Nitrógeno total Kjeldahl      | NTK    | mg/L       | N.E.     | 33,88    | 28,99    | 26,61    | 18,68    | 18,33    | 30,12    | 28,17    | 28,75    |
| Nitritos                      | NO2    | mg/L       | N.E.     | 0,0347   | 0,291    | 0,3672   | 0,2891   | 0,0921   | 0,238    | 0,0155   | 0,2426   |
| Nitratos                      | NO3    | mg/L       | N.E.     | 0,515    | 0,135    | 0,782    | 0,758    | 0,669    | 0,529    | 0,21     | 0,53     |
| Nitrógeno total               | NT     | mg/L       | 60       | 34,43    | 29,42    | 27,76    | 19,73    | 19,09    | 30,89    | 28,4     | 29,52    |
| Fósforo total                 | PT     | mg/L       | 30       | 6,338    | 5,141    | 6,035    | 5,979    | 2,732    | 2,865    | 5,112    | 4,726    |

| Parámetro                  | Siglas | Unidades | Límite | 14/05/19 | 15/05/19 | 04/06/19 | 05/06/19 | 02/07/19 | 03/07/19 | 06/08/19 | 07/08/19 |
|----------------------------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Arsénico                   | As     | mg/L     |        | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Cadmio                     | Cd     | mg/L     | 0,1    | <0,002   | <0,002   | <0,002   | <0,002   | <0,002   | <0,002   | <0,002   | <0,002   |
| Cianuros                   | CN     | mg/L     | 3      | <0,026   | <0,026   | <0,025   | <0,025   | <0,026   | <0,026   | <0,025   | <0,025   |
| Cobre                      | Cu     | mg/L     | 6      | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Cromo                      | Cr     | mg/L     | 1      | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Mercurio                   | Hg     | mg/L     | 0,01   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   |
| Niquel                     | Ni     | mg/L     | 4      | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Plomo                      | Pb     | mg/L     | 10     | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Zinc                       | Zn     | mg/L     | 20     | <0,05    | <0,05    | 0,3331   | <0,05    | 0,1114   | 0,0687   | <0,05    | <0,05    |
| Demanda química de oxígeno | DQO    | mg/L     | N.E.   | 149,59   | 167,7    | 194,04   | 215,78   | 134,76   | 176,26   | 114,57   | 122,84   |

### Calidad del agua del efluente de la PTAR Torreón 2019 C

| Parámetro                     | Siglas | Unidades   | Límite   | 03/09/19 | 04/09/19 | 08/10/19 | 09/10/19 | 05/11/19 | 06/11/19 | 03/12/19 | 04/12/09 |
|-------------------------------|--------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo                         | Q      | L/s        |          | 858,15   | 869,72   | 688,53   | 585,43   | 864,1    | 895,58   | 849,53   | 855,27   |
| pH                            | pH     |            | 5. - 10. | 7,5      | 7,8      | 7,5      | 7,9      | 7,8      | 8        | 7,8      | 8        |
| Huevos de Helminetos          | HH     | H/L        | 5        | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       |
| Coliformes fecales            | CF     | NMP/100 ml | 2000     | >=2400   | >=2400   | 2107     | 2107     | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   |
| Temperatura                   | Temp   | °C         | N.A.     | 24       | 24       | 25       | 25       | 25       | 25       | 23       | 22       |
| Grasas y aceites              | GyA    | mg/L       | 25       | 12,71    | 14,72    | 9,17     | 8,8      | 13,63    | 11,45    | 10,99    | 12,16    |
| Materia flotante              | MF     |            | Ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  | ausente  |
| Conductividad eléctrica       | CE     | µS / cm    | N.E.     | 1479,69  | 1363,77  | 1382,67  | 1174,95  | 1470,33  | 1302,08  | 1533,5   | 1414,08  |
| Sólidos sedimentables         | S Sed. | ml/L       | 2        | <0,1     | <0,1     | 0,3      | <0,1     | 0,3      | <0,1     | <0,1     | <0,1     |
| Sólidos suspendidos totales   | SST    | mg/L       | 200      | 100      | 90       | 94       | 74,36    | 108      | 76       | 80       | 68       |
| Demanda bioquímica de oxígeno | DBO    | mg/L       | 200      | 92,67    | 81       | 90,33    | 64,4     | 113      | 63,2     | 58       | 58,6     |
| Nitrógeno total Kjeldahl      | NTK    | mg/L       | N.E.     | 30,51    | 35,56    | 29,03    | 31,45    | 31,34    | 32,89    | 29,29    | 33,66    |
| Nitritos                      | NO2    | mg/L       | N.E.     | 0,0272   | 0,1572   | 0,0865   | 0,1609   | 0,2731   | 0,3471   | 0,2539   | 0,093    |
| Nitratos                      | NO3    | mg/L       | N.E.     | <0,1     | 0,128    | 0,475    | 0,261    | <0,1     | 0,129    | 0,444    | 0,175    |
| Nitrógeno total               | NT     | mg/L       | 60       | 30,54    | 35,85    | 29,59    | 31,87    | 31,61    | 33,37    | 29,99    | 33,93    |
| Fósforo total                 | PT     | mg/L       | 30       | 7,132    | 7,979    | 8,143    | 8,625    | 8,886    | 5,989    | 7,074    | 7,554    |
| Arsénico                      | As     | mg/L       |          | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Cadmio                        | Cd     | mg/L       | 0,1      | <0,002   | <0,002   | <0,002   | <0,002   | <0,002   | <0,002   | <0,002   | <0,002   |
| Cianuros                      | CN     | mg/L       | 3        | <0,025   | <0,025   | <0,023   | <0,023   | <0,026   | <0,026   | <0,027   | <0,027   |
| Cobre                         | Cu     | mg/L       | 6        | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |

| Parámetro                  | Siglas | Unidades | Límite | 03/09/19 | 04/09/19 | 08/10/19 | 09/10/19 | 05/11/19 | 06/11/19 | 03/12/19 | 04/12/09 |
|----------------------------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Cromo                      | Cr     | mg/L     | 1      | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Mercurio                   | Hg     | mg/L     | 0,01   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   |
| Niquel                     | Ni     | mg/L     | 4      | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Plomo                      | Pb     | mg/L     | 10     | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Zinc                       | Zn     | mg/L     | 20     | <0,05    | <0,05    | <0,05    | <0,05    | 0,0885   | <0,05    | <0,05    | <0,05    |
| Demanda química de oxígeno | DQO    | mg/L     | N.E.   | 221,52   | 178,02   | 199,98   | 131,76   | 230,79   | 121,73   | 107,37   | 127,07   |

### Calidad del agua del efluente de la PTAR Torreón 2020 A

| Parámetro               | Siglas | Unidades   | Límite   | 14/01/20 | 15/01/20 | 11/02/20 | 12/02/20 | 10/03/00 | 11/03/20 | 14/04/20 | 15/04/20 |
|-------------------------|--------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo                   | Q      | L/s        |          | 688,72   | 667,97   | 927,63   | 851,82   | 802,53   | 781      | 884,12   | 1034,67  |
| pH                      | pH     |            | 5. - 10. | 7,7      | 8,1      | 7,8      | 7,9      | 7,9      | 8        | 7,6      | 8        |
| Huevos de Helmintos     | HH     | H/L        | 5        | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       |
| Coliformes fecales      | CF     | NMP/100 ml | 2000     | 1436     | 428      | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   |
| Temperatura             | Temp   | °C         | N.A.     | 23       | 23       | 23       | 23       | 23       | 23       | 23       | 23       |
| Grasas y aceites        | GyA    | mg/L       | 25       | 12,85    | 12,86    | 14,33    | 14,19    | 15,46    | 13,78    | 11,13    | 12,07    |
| Materia flotante        | MF     |            | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  |
| Conductividad eléctrica | CE     | µS / cm    | N.E.     | 1545,1   | 138,32   | 1624,76  | 1529,45  | 1514,8   | 1435,9   | 1611,66  | 1424,45  |
| Sólidos sedimentables   | S Sed. | ml/L       | 2        | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     |



| Parámetro                     | Siglas | Unidades | Límite | 14/01/20 | 15/01/20 | 11/02/20 | 12/02/20 | 10/03/00 | 11/03/20 | 14/04/20 | 15/04/20 |
|-------------------------------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Sólidos suspendidos totales   | SST    | mg/L     | 200    | 84       | 76       | 87,5     | 92       | 64       | 62       | 92       | 84       |
| Demanda bioquímica de oxígeno | DBO    | mg/L     | 200    | 53,6     | 49,8     | 51,6     | 55       | 62       | 61,6     | 70,2     | 67,4     |
| Nitrógeno total Kjeldahl      | NTK    | mg/L     | N.E.   | 31,32    | 38,53    | 35,06    | 42,51    | 32,16    | 38,34    | 24,75    | 22,99    |
| Nitritos                      | NO2    | mg/L     | N.E.   | 0,715    | 0,0729   | 0,4751   | 0,2306   | 0,2315   | 0,1595   | 0,3323   | 0,3408   |
| Nitratos                      | NO3    | mg/L     | N.E.   | 0,137    | 0,281    | 0,126    | 0,121    | <0,1     | 0,209    | <0,1     | 0,18     |
| Nitrógeno total               | NT     | mg/L     | 60     | 32,17    | 38,88    | 35,76    | 42,86    | 32,39    | 38,71    | 25,08    | 23,51    |
| Fósforo total                 | PT     | mg/L     | 30     | 7,992    | 8,885    | 6,332    | 7,51     | 5,855    | 6,071    | 7,735    | 8,428    |
| Arsénico                      | As     | mg/L     |        | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Cadmio                        | Cd     | mg/L     | 0,1    | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  |
| Cianuros                      | CN     | mg/L     | 3      | <0,027   | <0,027   | <0,027   | <0,027   | <0,027   | <0,027   | <0,027   | <0,027   |
| Cobre                         | Cu     | mg/L     | 6      | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Cromo                         | Cr     | mg/L     | 1      | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Mercurio                      | Hg     | mg/L     | 0,01   | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  |
| Níquel                        | Ni     | mg/L     | 4      | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Plomo                         | Pb     | mg/L     | 10     | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Zinc                          | Zn     | mg/L     | 20     | 0,0638   | <0,0500  | <0,0500  | 0,168    | 0,0678   | 0,0647   | 0,0591   | <0,0500  |
| Demanda química de oxígeno    | DQO    | mg/L     | N.E.   | 105,01   | 138,17   | 108,82   | 130,03   | 149,14   | 181,68   | 162,61   | 145,07   |

### Calidad del agua del efluente de la PTAR Torreón 2020 B

| Parámetro                     | Siglas | Unidades   | Límite   | 12/05/20 | 13/05/20 | 09/06/20 | 10/06/20 | 14/07/20 | 15/07/20 | 11/08/20 | 12/08/20 |
|-------------------------------|--------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo                         | Q      | L/s        |          | 905,47   | 957,23   | 993,27   | 975,85   | 1077,63  | 1122,08  | 1201,57  | 1199,37  |
| pH                            | pH     |            | 5. - 10. | 7,9      | 7,6      | 7,8      | 7,9      | 7,7      | 7,8      | 7,6      | 7,6      |
| Huevos de Helminthos          | HH     | H/L        | 5        | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       |
| Coliformes fecales            | CF     | NMP/100 ml | 2000     | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   |
| Temperatura                   | Temp   | °C         | N.A.     | 25       | 25       | 25       | 25       | 23       | 23       | 23       | 23       |
| Grasas y aceites              | GyA    | mg/L       | 25       | 7,81     | 8,05     | 9,58     | 13,55    | 13,38    | 9,63     | 10,34    | 5,39     |
| Materia flotante              | MF     |            | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  |
| Conductividad eléctrica       | CE     | µS / cm    | N.E.     | 1361,89  | 1397,69  | 1553,65  | 1368,8   | 1502,2   | 1360,7   | 1442,2   | 1332,8   |
| Sólidos sedimentables         | S Sed. | ml/L       | 2        | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     |
| Sólidos suspendidos totales   | SST    | mg/L       | 200      | 76       | 88       | 64       | 69       | 76       | 112      | 92       | 84       |
| Demanda bioquímica de oxígeno | DBO    | mg/L       | 200      | 66,4     | 63       | 56       | 66,8     | 58,6     | 65,6     | 54,45    | 51,6     |
| Nitrógeno total Kjeldahl      | NTK    | mg/L       | N.E.     | 22,11    | 36,81    | 32,48    | 36,4     | 29,91    | 32,92    | 28,48    | 32,67    |
| Nitritos                      | NO2    | mg/L       | N.E.     | 0,2212   | 0,1713   | 0,0318   | 0,1601   | <0,01    | 0,022    | 0,1783   | 0,0253   |
| Nitratos                      | NO3    | mg/L       | N.E.     | 0,107    | 0,147    | <0,1     | 0,346    | <0,1     | <0,1     | 0,492    | <0,1     |
| Nitrógeno total               | NT     | mg/L       | 60       | 22,44    | 37,13    | 35,51    | 8117     | 29,91    | 32,98    | 29,15    | 32,7     |
| Fósforo total                 | PT     | mg/L       | 30       | 11,793   | 12,078   | 7,754    |          | 17,162   | 25,74    | 8,591    | 5,954    |

| Parámetro                  | Siglas | Unidades | Límite | 12/05/20 | 13/05/20 | 09/06/20 | 10/06/20 | 14/07/20 | 15/07/20 | 11/08/20 | 12/08/20 |
|----------------------------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Arsénico                   | As     | mg/L     |        | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Cadmio                     | Cd     | mg/L     | 0,1    | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  |
| Cianuros                   | CN     | mg/L     | 3      | <0,027   | <0,027   | <0,027   | <0,027   | <0,027   | <0,027   | <0,027   | <0,027   |
| Cobre                      | Cu     | mg/L     | 6      | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Cromo                      | Cr     | mg/L     | 1      | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Mercurio                   | Hg     | mg/L     | 0,01   | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  |
| Niquel                     | Ni     | mg/L     | 4      | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Plomo                      | Pb     | mg/L     | 10     | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Zinc                       | Zn     | mg/L     | 20     | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | 0,0565   | 0,0601   | <0,0500  |
| Demanda química de oxígeno | DQO    | mg/L     | N.E.   | 147,17   | 121,68   | 109,59   | 148,61   | 103,72   | 146,83   | 116,42   | 130,13   |

### Calidad del agua del efluente de la PTAR Torreón 2020 C

| Parámetro           | Siglas | Unidades   | Límite   | 01/09/20 | 02/09/20 | 13/10/20 | 14/10/20 | 17/11/20 | 18/11/20 | 01/12/20 | 03/12/20 |
|---------------------|--------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo               | Q      | L/s        |          | 2024,58  | 1084,55  | 1235,57  | 1280,57  | 1314,27  | 1368,65  | 1235,27  | 1274,12  |
| pH                  | pH     |            | 5. - 10. | 7,61     | 7,6      | 7,8      | 7,6      | 7,8      | 7,8      | 7,9      | 7,8      |
| Huevos de Helmintos | HH     | H/L        | 5        | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       |
| Coliformes fecales  | CF     | NMP/100 ml | 2000     | 1264     | 1323     | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   |
| Temperatura         | Temp   | °C         | N.A.     | 25       | 25       | 23       | 23       | 22       | 22       | 21       | 21       |
| Grasas y aceites    | GyA    | mg/L       | 25       | 12,57    | 11,28    | 11,96    | 10,45    | 10,65    | 13,693   | 10,22    | 13,22    |
| Materia flotante    | MF     |            | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  |

| Parámetro                     | Siglas | Unidades | Límite | 01/09/20 | 02/09/20 | 13/10/20 | 14/10/20 | 17/11/20 | 18/11/20 | 01/12/20 | 03/12/20 |
|-------------------------------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Conductividad eléctrica       | CE     | µS / cm  | N.E.   | 1486,19  | 1362,9   | 1524,65  | 1282,61  | 1535,2   | 1368,9   | 1540,6   | 1430,2   |
| Sólidos sedimentables         | S Sed. | ml/L     | 2      | <0,10    | 0,2      | <0,10    | <0,10    | <0,10    | <0,10    | <0,10    | <0,10    |
| Sólidos suspendidos totales   | SST    | mg/L     | 200    | 88       | 116      | 112      | 60       | 68       | 68       | 44       | 50       |
| Demanda bioquímica de oxígeno | DBO    | mg/L     | 200    | 47,4     | 58,4     | 58,6     | 43,6     | 53,1     | 56,85    | 55,95    | 76,8     |
| Nitrógeno total Kjeldahl      | NTK    | mg/L     | N.E.   | 30,52    | 35,41    | 32,46    | 35,99    | 32,01    | 36,05    | 28,65    | 42,63    |
| Nitritos                      | NO2    | mg/L     | N.E.   | 0,4582   | 0,0322   | <0,0100  | <0,0100  | 0,5294   | 0,2466   | 0,3481   | 0,184    |
| Nitratos                      | NO3    | mg/L     | N.E.   |          | <0,0100  | <0,0100  | 0,119    | <0,10    | <0,1     | 0,541    | <0,1     |
| Nitrógeno total               | NT     | mg/L     | 60     | 30,98    | 35,44    | 32,46    | 36,11    | 32,54    | 36,3     | 29,54    | 42,81    |
| Fósforo total                 | PT     | mg/L     | 30     | 14,677   | 10,35    | 6,94     | 6,427    | 6,385    | 6,897    | 80,63    | 8,921    |
| Arsénico                      | As     | mg/L     |        | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Cadmio                        | Cd     | mg/L     | 0,1    | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  | <0,0020  |
| Cianuros                      | CN     | mg/L     | 3      | <0,025   | <0,025   | <0,025   | <0,025   | <0,025   | <0,025   | <0,025   | <0,025   |
| Cobre                         | Cu     | mg/L     | 6      | 0,0573   | 0,0573   | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Cromo                         | Cr     | mg/L     | 1      | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Mercurio                      | Hg     | mg/L     | 0,01   | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  | <0,0030  |
| Niquel                        | Ni     | mg/L     | 4      | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Plomo                         | Pb     | mg/L     | 10     | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  |
| Zinc                          | Zn     | mg/L     | 20     | 0,2462   | 0,108    | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | <0,0500  | 0,1473   | <0,0500  |

| Parámetro                  | Siglas | Unidades | Límite | 01/09/20 | 02/09/20 | 13/10/20 | 14/10/20 | 17/11/20 | 18/11/20 | 01/12/20 | 03/12/20 |
|----------------------------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Demanda química de oxígeno | DQO    | mg/L     | N.E.   | 81,84    | 144,82   | 132,83   | 97,26    | 130,83   | 142,54   | 124,37   | 174,46   |

### Calidad del agua del efluente de la PTAR Torreón 2021 A

| Parámetro                     | Siglas | Unidades   | Límite   | 25/01/21 | 26/01/21 | 23/02/21 | 24/02/21 | 22/03/21 | 23/03/21 | 20/04/21 | 21/04/21 |
|-------------------------------|--------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo                         | Q      | L/s        |          | 1060.27  | 994.63   | 1307.85  | 1261.3   | 1271.26  | 1172.92  | 1109.08  | 1232.95  |
| pH                            | pH     |            | 5. - 10. | 7.9      | 8.1      | 7.7      | 8.1      | 8.2      | 7.7      | 7.7      | 7.6      |
| Huevos de Helmintos           | HH     | H/L        | 5        | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       |
| Coliformes fecales            | CF     | NMP/100 ml | 2000     | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   |
| Temperatura                   | Temp   | °C         | N.A.     | 21       | 21       | 23       | 23       | 24       | 23       | 35       | 25       |
| Grasas y aceites              | GyA    | mg/L       | 25       | 11.69    | 14.78    | 13.49    | 13.05    | 11.19    | 9.31     | 4.86     | 13.37    |
| Materia flotante              | MF     |            | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  |
| Conductividad eléctrica       | CE     | µS / cm    | N.E.     | 1586.3   | 1425.3   | 1640.9   | 1556.2   | 1576.53  | 1462.49  | 1656.8   | 1505.3   |
| Sólidos sedimentables         | S Sed. | ml/L       | 2        | <0.10    | <0.10    | <0.10    | <0.10    | <0.10    | <0.10    | <0.10    | <0.1     |
| Sólidos suspendidos totales   | SST    | mg/L       | 200      | 44.00    | 72       | 64       | 76       | 52       | 66       | 76       | 72       |
| Demanda bioquímica de oxígeno | DBO    | mg/L       | 200      | 81.60    | 84       | 78.6     | 117.67   | 80.8     | 83.4     | 83.8     | 81       |
| Nitrógeno total Kjeldahl      | NTK    | mg/L       | N.E.     | 36.61    | 43.47    | 40.95    | 37.56    | 38.02    | 40.82    | 39.1     | 44.98    |

| Parámetro                  | Siglas | Unidades | Límite | 25/01/21 | 26/01/21 | 23/02/21 | 24/02/21 | 22/03/21 | 23/03/21 | 20/04/21 | 21/04/21 |
|----------------------------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Nitritos                   | NO2    | mg/L     | N.E.   | <0.0100  | 351      | <0.0100  | 0.22     | 17       | 134      | <0.0100  | <0.0100  |
| Nitratos                   | NO3    | mg/L     | N.E.   | <0.100   | <0.100   | <0.100   | 1.033    | <0.100   | <0.100   | <0.100   | <0.100   |
| Nitrógeno total            | NT     | mg/L     | 60     | 36.610   | 43.51    | 40.95    | 38.81    | 38.04    | 40.83    | 39.1     | 44.98    |
| Fósforo total              | PT     | mg/L     | 30     | 8.146    | 10.573   | 8.456    | 08.01    | 11.776   | 11.305   | 9.169    | 10.58    |
| Arsénico                   | As     | mg/L     |        | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  |
| Cadmio                     | Cd     | mg/L     | 0,1    | <0.0020  | <0.0020  | <0.0020  | <0.0020  | <0.0020  | <0.0020  | <0.0020  | <0.0020  |
| Cianuros                   | CN     | mg/L     | 3      | <0.025   | <0.025   | <0.026   | <0.026   | <0.026   | <0.026   | <0.026   | <0.026   |
| Cobre                      | Cu     | mg/L     | 6      | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  |
| Cromo                      | Cr     | mg/L     | 1      | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  |
| Mercurio                   | Hg     | mg/L     | 0,01   | <0.0030  | <0.0030  | <0.0030  | <0.0030  | <0.0030  | <0.0030  | <0.0030  | <0.0030  |
| Niquel                     | Ni     | mg/L     | 4      | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  |
| Plomo                      | Pb     | mg/L     | 10     | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  |
| Zinc                       | Zn     | mg/L     | 20     | <0.0500  | <0.0501  | <0.0500  | <0.0500  | 1.757    | <0.0500  | 525      | 647      |
| Demanda química de oxígeno | DQO    | mg/L     | N.E.   | 169.2    | 175.08   | 178.3    | 260.12   | 176.79   | 178.73   | 187.51   | 201.06   |

### Calidad del agua del efluente de la PTAR Torreón 2021 B

| Parámetro            | Siglas | Unidades   | Límite   | 17/05/21 | 18/05/21 | 22/06/21 | 23/06/21 | 19/07/21 | 20/07/21 |
|----------------------|--------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo                | Q      | L/s        |          | 983.41   | 1011.03  | 1196.37  | 1268.94  | 1273.92  | 1397.25  |
| pH                   | pH     |            | 5. - 10. | 8.1      | 7.8      | 7.8      | 8        | 7.9      | 7.9      |
| Huevos de Helminetos | HH     | H/L        | 5        | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       | <1       |
| Coliformes fecales   | CF     | NMP/100 ml | 2000     | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   | >=2400   |

| Parámetro                     | Siglas | Unidades | Límite  | 17/05/21 | 18/05/21 | 22/06/21 | 23/06/21 | 19/07/21 | 20/07/21 |
|-------------------------------|--------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Temperatura                   | Temp   | °C       | N.A.    | 23       | 24       | 26       | 26       | 24       | 24       |
| Grasas y aceites              | GyA    | mg/L     | 25      | 7.52     | 08.09    | 9.39     | 9.98     | 14.6     | 8.69     |
| Materia flotante              | MF     |          | Ausente | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  | Ausente  |
| Conductividad eléctrica       | CE     | µS / cm  | N.E.    | 1581.2   | 1467.5   | 1570     | 1403.9   | 1391.2   | 1311.5   |
| Sólidos sedimentables         | S Sed. | ml/L     | 2       | <0.10    | <0.10    | <0.10    | <0.1     | <0.10    | <0.10    |
| Sólidos suspendidos totales   | SST    | mg/L     | 200     | 92       | 72       | 50       | 88       | 83.33    | 112      |
| Demanda bioquímica de oxígeno | DBO    | mg/L     | 200     | 81.8     | 111      | 157.67   | 112.67   | 84.4     | 90       |
| Nitrógeno total Kjeldahl      | NTK    | mg/L     | N.E.    | 34.48    | 44.38    | 35.64    | 40.88    | 36.57    | 37.72    |
| Nitritos                      | NO2    | mg/L     | N.E.    | 306      | 505      | <0.0100  | 138      | 1.793    | 441      |
| Nitratos                      | NO3    | mg/L     | N.E.    | 422      | <0.100   | <0.1     | <0.1     | 0.21     | 0.13     |
| Nitrógeno total               | NT     | mg/L     | 60      | 35.21    | 44.43    | 35.64    | 40.89    | 36.96    | 37.89    |
| Fósforo total                 | PT     | mg/L     | 30      | 12.415   | 14.279   | 13.475   | 9.545    | 15.251   | 18.261   |
| Arsénico                      | As     | mg/L     |         | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  |
| Cadmio                        | Cd     | mg/L     | 0,1     | <0.0020  | <0.0020  | <0.002   | <0.002   | <0.0020  | <0.0020  |
| Cianuros                      | CN     | mg/L     | 3       | <0.026   | <0.026   | <0.026   | <0.026   | <0.026   | <0.026   |
| Cobre                         | Cu     | mg/L     | 6       | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  |
| Cromo                         | Cr     | mg/L     | 1       | <0.0500  | 79       | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  |
| Mercurio                      | Hg     | mg/L     | 0,01    | <0.00300 | <0.00300 | <0.003   | <0.003   | <0.0030  | <0.0030  |
| Niquel                        | Ni     | mg/L     | 4       | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  |
| Plomo                         | Pb     | mg/L     | 10      | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  | <0.0500  |
| Zinc                          | Zn     | mg/L     | 20      | 683      | <0.0500  | 756      | 509      | <0.0500  | <0.0500  |
| Demanda química de oxígeno    | DQO    | mg/L     | N.E.    | 176.52   | 225.66   | 313.04   | 230.75   | 171.03   | 180.64   |





**PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

**PROYECTO No.309621**

**“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE  
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
(PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL  
CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y  
CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA”**

**DIAGNÓSTICO DE LA PTAR**

**“EL TENORIO”**

**SAN LUIS POTOSÍ, SLP**

## ÍNDICE

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 1     | INFORMACIÓN DE LA PTAR .....                             | 423 |
| 1.1   | Datos generales  | 423 |
| 1.2   | Ubicación  | 423 |
| 1.3   | Descripción del proceso                                  | 424 |
| 2     | REVISIÓN DOCUMENTAL .....                                | 429 |
| 2.1   | Planos   | 429 |
| 2.2   | Permiso de descarga                                      | 429 |
| 2.3   | Análisis de la memoria de cálculo                        | 431 |
| 2.3.1 | Datos de diseño .....                                    | 436 |
| 2.4   | Análisis de la información histórica de calidad del agua | 436 |
| 2.4.1 | pH.....  | 438 |
| 2.4.2 | Grasas y Aceites .....                                   | 439 |
| 2.4.3 | Sólidos suspendidos totales (SST).....                   | 439 |
| 2.4.4 | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....                 | 440 |
| 2.4.5 | Nitrógeno Total (NT) .....                               | 441 |
| 2.4.6 | Fósforo Total (PT) .....                                 | 442 |
| 2.4.7 | Demanda Química de Oxígeno (DQO).....                    | 444 |
| 2.5   | Análisis de la información del Proceso                   | 445 |
| 2.5.1 | Análisis rutinarios .....                                | 445 |
| 2.5.2 | Manual de operación.....                                 | 445 |
| 2.5.3 | Reportes de operación (bitácoras) .....                  | 445 |
| 2.5.4 | Mantenimiento.....                                       | 445 |
| 3     | ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR.....         | 449 |
| 3.1   | Descripción de las unidades de proceso                   | 449 |
| 3.1.1 | Pretratamiento.....                                      | 449 |
| 3.1.2 | Tratamiento primario avanzado .....                      | 452 |
| 3.1.3 | Tratamiento biológico.....                               | 454 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.1.4 | Postratamiento.....                                | 456 |
| 3.1.5 | Desinfección.....                                  | 458 |
| 3.1.6 | Estado físico de las instalaciones de la PTAR..... | 459 |
| 3.1.7 | Equipos electromecánicos.....                      | 460 |
| 3.2   | Muestreo y calidad del agua residual               | 461 |
| 3.2.1 | Resultados del muestreo compuesto.....             | 463 |
| 3.2.2 | Resultados de muestreo simple.....                 | 470 |
| 3.2.3 | Influencia industrial.....                         | 470 |
| 4     | DIAGNÓSTICO DE PERSONAL.....                       | 471 |
| 4.1   | Recursos Humanos                                   | 471 |
| 4.2   | Evaluación de conocimientos                        | 472 |
| 4.3   | Capacitación                                       | 472 |
| 4.3.1 | Cursos de capacitación recibidos.....              | 472 |
| 4.3.2 | Temas de capacitación solicitados.....             | 473 |
| 4.3.3 | Material didáctico entregado.....                  | 473 |
| 5     | SEGURIDAD E HIGIENE.....                           | 487 |
| 6     | LABORATORIO.....                                   | 500 |
| 7     | CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR.....    | 504 |
| 7.1   | Causas   | 504 |
| 7.2   | Descripción de la causa y recomendaciones          | 504 |
| 7.2.1 | Nivel I.....                                       | 505 |
| 8     | RESUMEN.....                                       | 508 |
| 9     | CONCLUSIONES.....                                  | 511 |
|       | Anexo A. Formato 3. Recursos Humanos.....          | 513 |
|       | Anexo B. Formato 15. Seguridad e Higiene.....      | 516 |

## TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1. Datos generales.....  | 423 |
| Tabla 2. Ubicación y contacto.....   | 424 |
| Tabla 3. Caudal tratado en cada etapa del proceso.....   | 428 |
| Tabla 4. Condiciones particulares de descarga (CPD) de aguas residuales tratadas para PTAR El Tenorio..... | 430 |
| Tabla 5. Límites establecidos en el contrato entre CEA y la empresa para el efluente.....                  | 432 |
| Tabla 6. Calidad del agua de entrada de diseño.....  | 436 |
| Tabla 7. Histórico de calidad del agua del efluente del primario avanzado.....                             | 437 |
| Tabla 8. pH por mes.....   | 438 |
| Tabla 9. Eficiencia de remoción de fósforo total en el tratamiento primario avanzado.....                  | 443 |
| Tabla 10. Concentraciones de DBO5/DQO y cociente de ambos parámetros.....                                  | 445 |
| Tabla 11. Parámetros evaluados.....  | 462 |
| Tabla 12. Resultados de laboratorio de muestra compuesta.....  | 467 |
| Tabla 13. Resultados de los parámetros medidos en puntos intermedios.....                                  | 470 |
| Tabla 14. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR.....                              | 504 |

## FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1. Tren de tratamiento de la PTAR “El Tenorio” (tomado de la presentación “El reúso y la sustentabilidad Proyecto Tenorio, SLP”). | 426 |
| Figura 2. Punto de descarga registrado en REPDA.   | 429 |
| Figura 3. Datos de entrada en el documento “Memoria de Cálculo”.   | 434 |
| Figura 4. Datos de diseño del tratamiento primario avanzado.   | 435 |
| Figura 5. Tendencia de Grasas y Aceites (2021).  | 439 |
| Figura 6. Tendencia de Sólidos Suspendidos Totales (2021).   | 440 |
| Figura 7. Tendencia de DBO <sub>5</sub> (2021).  | 441 |
| Figura 8. Tendencia de Nitrógeno Total (2021).   | 442 |
| Figura 9. Tendencia de Fósforo Total (2021).   | 443 |
| Figura 10. Tendencia de DQO (2021).  | 444 |
| Figura 11. Vista del programa anual de mantenimiento.  | 447 |
| Figura 12. Ejemplo de una orden de trabajo.  | 448 |
| Figura 13. Rejillas gruesas.   | 449 |
| Figura 14. Cárcamo de bombeo.  | 450 |
| Figura 15. Rejillas finas.   | 450 |
| Figura 16. Desarenadores aireados.   | 451 |
| Figura 17. Punto de aplicación de cloruro férrico y polímero para el primario avanzado.  | 451 |
| Figura 18. Vistas de los “Densadeg” y las canaletas de recolección.  | 453 |
| Figura 19. Vista aérea del conjunto PTAR-Humedal “El Tenorio-Tanque Tenorio”.  | 453 |
| Figura 20. Canal con el efluente del tratamiento primario avanzado.  | 454 |
| Figura 21. Vista de los reactores anóxicos, aerobios y de la planta en su conjunto.  | 456 |
| Figura 22. Cartel explicativo de los filtros Aquazur V.  | 457 |
| Figura 23. Descarbonatación del agua residual tratada.   | 458 |
| Figura 24. Aspectos de la zona de cloración en la PTAR.  | 459 |
| Figura 25. Vistas de la infraestructura de la PTAR.  | 460 |
| Figura 26. Equipos, tableros CCM y placas de equipos.  | 461 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 27. Comportamiento del caudal durante los muestreos.....   | 464 |
| Figura 28. Comportamiento del pH durante los muestreos. ....  | 465 |
| Figura 29. Comportamiento de las grasas y aceites durante los muestreos.<br>.....                                     | 466 |
| Figura 30. Comportamiento de los coliformes fecales en los muestreos.   | 466 |
| Figura 31. Comportamiento de la toxicidad aguda con <i>Vibrio fischeri</i> en los<br>dos muestreos. ....              | 469 |
| Figura 32. Portada de los manuales.....   | 474 |
| Figura 33. Infografías. ....  | 479 |
| Figura 34. Manual de ejercicios prácticos. ....   | 480 |
| Figura 35. Kit de figuras.....  | 485 |
| Figura 36. Entrega de material didáctico.....   | 486 |
| Figura 37. Señalización en oficinas.....  | 487 |
| Figura 38 Constancia de participación en el Día nacional de la preparación<br>y respuesta a emergencias químicas..... | 498 |
| Figura 39. Equipo personal.....   | 499 |
| Figura 40. Diferentes vistas del laboratorio de la PTAR El Tenorio. ....  | 500 |
| Figura 41. Acreditación del laboratorio ante la EMA.....  | 501 |
| Figura 42. Equipos del laboratorio.....   | 502 |

## 1 INFORMACIÓN DE LA PTAR

### 1.1 Datos generales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Tenorio”, mejor conocida como “Tanque Tenorio”, fue construida el año 2004 e inicio sus operaciones en 2006. La PTAR recibe las aguas residuales que se generan en la zona metropolitana de San Luis Potosí (ZMSLP) y está diseñada para un caudal de 1,050 L/s. Actualmente la PTAR opera con un gasto muy cercano al de diseño, sirviendo a una población aproximada de 500,000 habitantes, aproximadamente el 40 % de la población asentada en la ZMSLP. En la Tabla 1 se presentan algunos datos generales de la planta.

**Tabla 89. Datos generales**

| <b>Datos generales</b>                    |   |                     |   |
|---|---|---------------------|---|
| Año de construcción                       | <b>2004</b>   | Inicio de operación | <b>2006</b>   |
| Municipios de los cuales recibe descargas | <b>San Luis Potosí. Soledad de Graciano Sánchez</b> | Población servida   | <b>500,000</b>  |
| Actualización más reciente                | <b>Ninguna</b>                                      | Tipo de tratamiento | <b>Primario avanzado (para riego); biológico-filtración-ablandamiento (para reúso en la generación de energía eléctrica).</b> |
| Gasto de diseño                           | <b>1,050 L/s</b>                                    | Gasto de operación  | <b>1,050 L/s</b>  |

### 1.2 Ubicación

Tanque Tenorio era una depresión natural donde se formaba un cuerpo de agua intermitente, durante la década de los 70's se comenzó a usar para descargar aguas residuales de forma continua. Posteriormente se construyó la PTAR que recibe el mismo nombre.

La PTAR “El Tenorio” se encuentra ubicada en la delegación Villa de Pozos, en la zona este de la ZMSLP en el municipio de San Luis Potosí, SLP. La planta es operada por el consorcio Aguas de Reúso del Tenorio (ARTE)

integrada por Suez Water Technologies & Solutions, SUMITOMO y PRODIN. El Gerente de Planta es el Ing. Maximino Parra López de Lara. En la Tabla 2 se muestran los datos de ubicación y contacto de la PTAR.

**Tabla 90. Ubicación y contacto.**

| <b>Ubicación</b>   |  |   |                          |
|--------------------|--|---|--------------------------|
| Nombre de la PTAR  | <b>El Tenorio</b>                        | Mapa de ubicación<br> |                          |
| Calle y número     | <b>Prolongación Galeana</b>              |   |                          |
| Colonia y C.P.     | <b>Delegación Villa de Pozos, 78421</b>  |   |                          |
| Municipio y estado | <b>San Luis Potosí, S.L.P.</b>           |   |                          |
| Coordenadas        | <b>Lat 22.122877<br/>Long-100.876984</b> |   |                          |
| <b>Contacto</b>    |  |   |                          |
| Nombre             | <b>Ing. Maximino Parra</b>               | Puesto  | <b>Gerente de planta</b> |
| Correo electrónico | <b>maximino.parra@suez.com</b>           | Teléfono  | <b>5525104680</b>        |

### 1.3 Descripción del proceso

Las aguas residuales generadas en la ZMSLP son conducidas mediante seis colectores: Española, La Libertad, Cactus, Industrias I, Industrias II y Los Gómez.

La PTAR “El Tenorio” es una planta sustentable, de la cual el agua tratada tiene dos diferentes reúsos: para el suministro de agua a las Torres de enfriamiento de la central termoeléctrica Villa de Reyes y para el riego de diferentes cultivos, lo cual ha permitido destinar agua de primer uso para la población. Cabe aclarar que el reúso en la central termoeléctrica ocurre durante unos cuatro meses al año, coincidente con el periodo de estiaje.

El agua llega a un tanque de aproximadamente 7 m debajo de nivel piso, se encuentra la estación de bombeo y posteriormente pasa por tres rejillas gruesas y tres rejillas finas automatizadas, las rejillas se encuentran colocadas a 90°, de estas unidades se recolectan de 14 a 20 m<sup>3</sup>/mes de desechos, los cuales posteriormente van a disposición a un relleno sanitario.



El efluente de las rejillas converge en dos desarenadores aireados, que a su vez convergen en un canal, donde se recogen natas y grasas (Desarenador/Desnatador). En la entrada a los desarenadores-desengrasadores se lleva a cabo un proceso de coagulación asegurando la mezcla de agua con el coagulante (sulfato de aluminio).

A continuación, pasa al primario avanzado conformado por tres Densadeg (patente de DEGREMONT). En estas unidades dosifican el floculante (polímero aniónico) aprovechando la turbulencia de las canaletas, posteriormente el agua pasa a la zona de floculación lenta con un flujo ascendente facilitando el crecimiento del flóculo. El efluente pasa al decantador, donde se disminuye la velocidad y se separan los flóculos del agua clarificada. En estos tres sistemas primarios avanzados se tiene una eficiencia global aproximada del 60%. Estos tres equipos en paralelo convergen a un canal y el 60% de la descarga sale al tanque Tenorio (humedal), aproximadamente 600 L/s y el 40% restante (aproximadamente 400 L/s) es enviado al tratamiento biológico. Esto último solo opera durante el periodo en que CFE compra agua tratada, unos cuatro meses durante el estiaje.

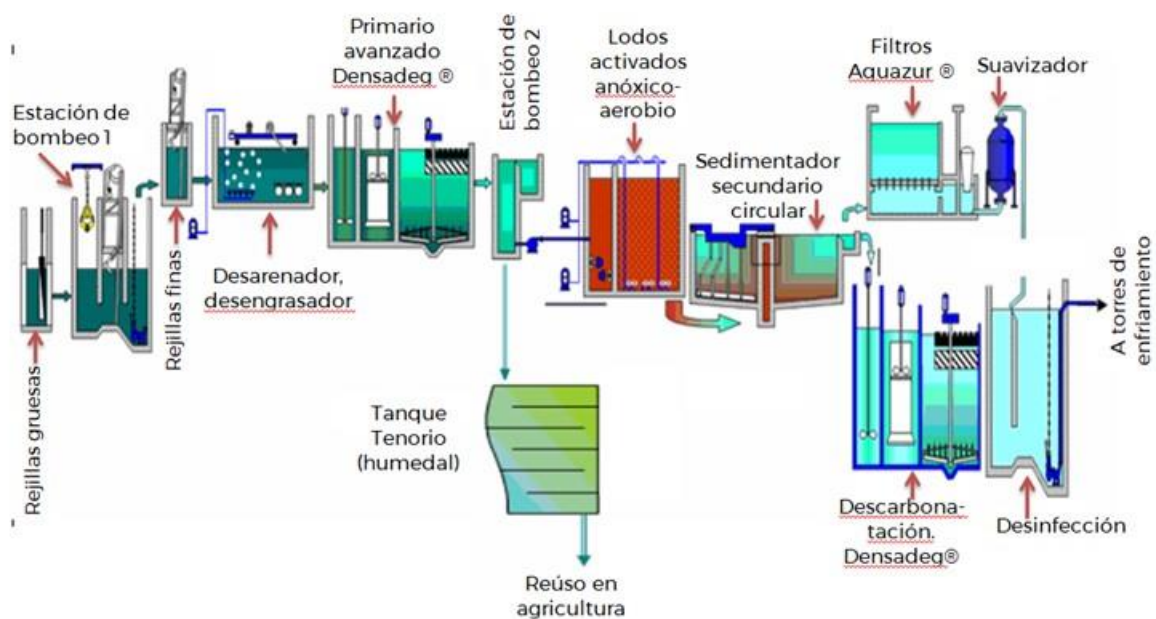
El humedal Tanque Tenorio es un cuerpo de agua construido que recibe el efluente del sistema primario avanzado. No fue diseñado como un sistema de tratamiento, sino que se aprovechó un cuerpo de agua ya existente y que recibía descargas de aguas residuales. El humedal no cuenta realmente con un diseño sistemático, solo se instalaron unas mamparas para dirigir el flujo dentro del cuerpo de agua. Su función principal es pulir el efluente del tratamiento primario avanzado.

El tratamiento biológico está conformado por tres módulos de lodos activados, cada uno con un selector anóxico, seguido de la sección aerobia del reactor. Después del tratamiento biológico el agua pasa por los sedimentadores secundarios circulares donde el 60% del efluente de esta unidad va hacia los filtros de arenas Aquazur (tres filtros abiertos de 38.5 m<sup>3</sup>), donde se remueven los flóculos ligeros y el 40% de agua restante entra a descarbonatación para remover dureza, alcalinidad y sílice. En este proceso se adicionan Aluminato de Sodio, Hidróxido de calcio, Cloruro férrico, Hidróxido de sodio y polímero.

Posteriormente, los efluentes entran a desinfección con cloro gas, el efluente desinfectado presenta una concentración de cloro residual de 0.3 mg/L. Cabe aclarar que el efluente del tratamiento primario avanzado que se envía al humedal "Tanque Tenorio" no es desinfectado.

El efluente del tratamiento biológico y del tratamiento terciario es para uso industrial y se envía a las instalaciones de la Central Termoeléctrica de CFE, ubicada en Villa de Reyes.

En la Figura 2 se muestra el tren de tratamiento de la PTAR El Tenorio, que como se mencionó anteriormente consta de tratamiento primario avanzado y un humedal. Una fracción del flujo, aproximadamente 40%, se trata biológicamente en una secuencia anóxica-aerobia y postratamiento para acondicionar el agua para su venta.



**Figura 226. Tren de tratamiento de la PTAR “El Tenorio” (tomado de la presentación “El reúso y la sustentabilidad Proyecto Tenorio, SLP”).**

En la Tabla 91 se indican los caudales en cada etapa de proceso.

Los lodos procedentes del tratamiento primario avanzado y del tratamiento biológico secundario son enviados a dos digestores anaerobios, cada uno de 4,000 m<sup>3</sup> de capacidad en donde son mineralizados y se obtiene biogás. Debido a que la cantidad de metano producida no permitiría el funcionamiento continuo de generadores de energía se optó por quemar el biogás producido.

El lodo digerido, es espesado por gravedad y después desaguado mediante filtros banda. Los biosólidos generados se envían a disposición final en un relleno sanitario.



**Tabla 91. Caudal tratado en cada etapa del proceso.**

| <b>Unidad de proceso</b>                  | <b>Caudal tratado en la unidad de proceso (L/s)</b> | <b>Número de equipos o unidades en el proceso</b> | <b>Caudal unitario (L/s)</b> |
|---|---|---|------------------------------|
| Rejillas gruesas                          | 1,050   | 3   | 350                          |
| Rejillas finas                            | 1,050   | 3   | 350                          |
| Desarenador aireado                       | 1,050   | 2   | 525                          |
| Tratamiento primario avanzado (Densadeg®) | 1,050   | 3   | 350                          |
| Humedal                                   | 600<br>(1,050) <sup>1</sup>                         | 1   | 600<br>(1050)                |
| Reactor biológico anóxico-aerobio         | 450<br>(0)  | 3   | 150<br>(0)                   |
| Sedimentadores secundarios                | 450<br>(0)  | 3   | 150<br>(0)                   |
| Filtros Aquazur                           | 270<br>(0)  | 3   | 90<br>(0)                    |
| Suavizador                                | 256<br>(0)  | 4   | 64<br>(0)                    |
| Descarbonatación (Densadeg)               | 180<br>(0)  | 2   | 90<br>(0)                    |
| Desinfección                              | 436<br>(0)  | 1   | 436<br>(0)                   |

<sup>1</sup> Hay una época del año, generalmente después del periodo de lluvias, en que la central termoeléctrica no compra agua, por lo que todo el caudal se envía al humedal "Tanque Tenorio"

## 2 REVISIÓN DOCUMENTAL

### 2.1 Planos

Se recopiló un archivo correspondiente al plano general de la PTAR El Tenorio. Además, durante las visitas se tomaron evidencias fotográficas de las carátulas de los planos funcionales, arquitectónicos e hidráulicos. Los cuales se pueden consultar en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1lws6vwfnif9FCHKQC6qii3vUzXZWRWp-?usp=sharing> y serán entregados en memoria extraíble al término del proyecto.

### 2.2 Permiso de descarga

El consorcio ARTE, quien opera la PTAR, no cuenta con el título de la descarga ya que el concesionario es el INTERAPAS (Organismo Intermunicipal de Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento y servicios conexos de los municipios de Cerro de San Pedro, San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez), quien detenta el Título 07SLP155774/37HMDL16. El volumen de descarga es de 61,900 m<sup>3</sup>/d (716.43 L/s) y la ubicación del punto de descarga es en las coordenadas 22°07'28.0" Norte y 100°52'48.0" Oeste. En la Figura 227 se muestra la ubicación de la descarga, la cual no coincide con el sitio de muestreo de la descarga del sistema. Las condiciones particulares de descarga señaladas en el título se presentan en la Tabla 3.



**Figura 227. Punto de descarga registrado en REPDA.**

Se solicitó al INTERAPAS la copia del título de descarga, la cual se obtuvo el 28 de marzo de 2022. Las características de calidad de agua que fija el permiso son para riego agrícola (NOM-001-SEMARNAT-1996), y se muestran en la Tabla 3.

Los parámetros materia orgánica, nitrógeno total y fósforo total no tienen límite máximo establecido. Los parámetros aplicables son metales pesados, cianuros, pH, coliformes fecales y huevos de helminto.

El volumen de descarga es de 61,900 m<sup>3</sup>/d (22,593,500 m<sup>3</sup>/año, 716.43 L/s), volumen equivalente al caudal de la descarga menos el gasto que se entrega a la central de ciclo combinado Villa de Reyes.

**Tabla 92. Condiciones particulares de descarga (CPD) de aguas residuales tratadas para PTAR El Tenorio.**

| Parámetro         | Unidades | CPD<br>SUELO (RIEGO<br>AGRÍCOLA) |         | NOM-001-<br>SEMARNAT-1996<br>Uso en riego<br>agrícola (A) |         | NOM-001-<br>SEMARNAT-2021<br>Suelo<br>Infiltración y<br>otros riegos |       |
|-------------------|----------|----------------------------------|---------|---|---------|--|-------|
|                   |          | PM                               | PD      | PM  | PD      | PM   | PD    |
| pH                | UpH      |                                  |         | 5-10  | 5-10    | 6-9  | 6-9   |
| Temp.             | °C       |                                  |         | NA  | NA      | 35   | 35    |
| G y A             | mg/L     | 15                               | 25      | 15  | 25      | 15   | 18    |
| Material Flotante |          | Ausente                          | Ausente | Ausente   | Ausente |  |       |
| S. Sed.           | ml/L     | NA                               | NA      | NA  | NA      |  |       |
| SST               | mg/L     | NA                               | NA      | NA  | NA      | 100  | 120   |
| DBO               | mg/L     | NA                               | NA      | NA  | NA      |  |       |
| NT                | mg/L     | MA                               | NA      | NA  | NA      | NA   | NA    |
| PT                | mg/L     | NA                               | NA      | NA  | NA      | NA   | NA    |
| As                | mg/L     | 0.2                              | 0.4     | 0.2   | 0.4     | 0.1  | 0.15  |
| Cd                | mg/L     | 0.05                             | 0.1     | 0.05  | 0.1     | 0.1  | 0.15  |
| CN                | mg/L     | 2.0                              | 3.0     | 2.0   | 3.0     | 1.0  | 1.50  |
| Cu                | mg/L     | 4.0                              | 6.0     | 4.0   | 6.0     | 4.0  | 5     |
| Cr                | mg/L     | 0.5                              | 1.0     | 0.5   | 1.0     | 0.5  | 0.75  |
| Hg                | mg/L     | 0.005                            | 0.01    | 0.005   | 0.01    | 0.005  | 0.008 |
| Ni                | mg/L     | 2.0                              | 4.0     | 2.0   | 4.0     | 2.0  | 3.0   |
| Pb                | mg/L     | 5.0                              | 10.0    | 5.0   | 10.0    | 0.2  | 0.3   |

| Parámetro           | Unidades         | CPD<br>SUELO (RIEGO<br>AGRÍCOLA) |       | NOM-001-<br>SEMARNAT-1996<br>Uso en riego<br>agrícola (A) |       | NOM-001-<br>SEMARNAT-2021<br>Suelo<br>Infiltración y<br>otros riegos |      |
|---------------------|------------------|----------------------------------|-------|---|-------|--|------|
|                     |                  | PM                               | PD    | PM  | PD    | PM   | PD   |
| Zn                  | mg/L             | 10.0                             | 20.0  | 10.0  | 20.0  | 10.0   | 15.0 |
| CF                  | NMP/100<br>ml    | 1,000                            | 2,000 | 1,000   | 2,000 | NA   | NA   |
| HH                  | H/L              | 1.0                              | 1.0   | 1-5   | 1-5   | 1  | 1    |
| DQO                 | mg/L             | NA                               | NA    | NA  | NA    | 150  | 180  |
| COT                 | mg/L             | NA                               | NA    | NA  | NA    | 38   | 45   |
| Escherichia<br>coli | NMP/100<br>ml    | NA                               | NA    | NA  | NA    | 250  | 500  |
| Color               | Long. de<br>onda | NA                               | NA    | NA  | NA    | Coeficiente<br>absorción<br>espectral<br>máximo                      |      |
|                     | 436 nm           |                                  |       |   |       | 7.0 m-1  |      |
|                     | 525 nm           |                                  |       |   |       | 5.0 m-1  |      |
|                     | 620 nm           |                                  |       |   |       | 3.0 m-1  |      |
| Toxicidad           | UT               | NA                               | NA    | NA  | NA    | 2 a los 15<br>minutos  |      |

PM: Promedio mensual

PD: Promedio diario

NA: No aplica

### 2.3 Análisis de la memoria de cálculo

La memoria de cálculo es un compendio de los valores iniciales de calidad del agua, las capacidades de los equipos y unidades de proceso. Se indican caudales, volúmenes y concentraciones de los contaminantes, pero no muestra un solo cálculo. Solo se expresan los valores de cada concepto y sus unidades, no hay plasmada una sola ecuación ni se detalla la forma en que se hacen los cálculos.

Está dividida en las secciones:

1. Datos de entrada.

2. Resumen de tren de tratamiento.

3. Línea de agua (I Pretratamiento. II Desarenado/desengrasado III. Tratamiento Primario Avanzado Densadeg. IV Tratamiento Secundario. V. Filtración terciaria. VI. Descarbonatación terciaria. V. Desinfección).

4. Línea de lodos (VI. Espesamiento de lodo biológico. VII. Digestión de lodos. VIII Deshidratación de lodos. IX. Producción de lodo y disposición).

Los valores que presenta son razonables. Por ejemplo, la velocidad media para la zona de lamelas es de 20 m/h. Según se reporta en la literatura<sup>2</sup>, en la clarificación de alta tasa utilizando floculación de tres etapas, se pueden aplicar tasas de hasta 36 m/h.

Por otra parte, en principio, los efluentes cumplen con casi todos los requisitos de calidad del agua comprometidos contractualmente (Tabla 93). El único parámetro en que no hay cabal cumplimiento de los límites es en el nitrógeno total, ya que en el histórico de los análisis se rebasa el valor de 40 mg/L. Es importante señalar que para efectos normativos dicho parámetro no tiene un límite máximo permisible señalado en el permiso de descarga.

**Tabla 93. Límites establecidos en el contrato entre CEA y la empresa para el efluente.**


| <b>Parámetro</b>  | <b>Unidades</b> | <b>PM</b> | <b>PD</b> |
|-------------------|-----------------|-----------|-----------|
| pH                | UpH             |           |           |
| Temperatura       | °C              |           |           |
| G y A             | mg/L            | 15.00     | 25.00     |
| Material Flotante |                 | Ausente   | Ausente   |
| S. Sed.           | ml/L            | 1.00      | 2.00      |
| SST               | mg/L            | 150.00    | 200.00    |
| DBO               | mg/L            | 150.00    | 200.00    |
| NT                | mg/L            | 40.00     | 60.00     |
| PT                | mg/L            | 20.00     | 30.00     |
| As                | mg/L            | 0.20      | 0.40      |

<sup>2</sup> Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery. Tabla 5-23 Ranges of overflow rates and BOD and TSS removals from high-rate clarification processes treating wet waterher flows. Metcalf and Eddy AECOM, 2014.




| <b>Parámetro</b>   | <b>Unidades</b> | <b>PM</b> | <b>PD</b> |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|
| Cd                 | mg/L            | 0.05      | 0.10      |
| CN                 | mg/L            | 1.00      | 3.00      |
| Cu                 | mg/L            | 4.00      | 6.00      |
| Cr                 | mg/L            | 1.00      | 1.500     |
| Hg                 | mg/L            | 0.01      | 0.02      |
| Ni                 | mg/L            | 2.00      | 4.00      |
| Pb                 | mg/L            | 0.50      | 1.00      |
| Zn                 | mg/L            | 10.0      | 20.00     |
| Coliformes Fecales | NMP/100 ml      | 1,000.00  | 2,000.00  |
| Huevos de Helminto | H/L             | 5.00      | 5.00      |

En la Figura 228 y Figura 229 se muestra la forma en que está presentada la información del documento denominado memoria de cálculo, comprenden los datos de diseño y los relativos al primario avanzado (reactores Densadeg). Cabe señalar que en este documento el coagulante utilizado es sulfato de aluminio y el que utilizan en la actualidad es cloruro férrico.

|  |                 | MEMORIA DE CÁLCULO PROCESO       |                         |
|---|-----------------|----------------------------------|-------------------------|
|   |                 | Proyecto: TENORIO-VILLA DE REYES | No. Del Documento: 0003 |
| Referencia: EL.02.007   |                 | Elaboró: ZMA                     | 2                       |
|   |                 | Rev.: 2                          | 21/06/2004              |
|   |                 | Fecha:                           |                         |
| <b>1. DATOS DE ENTRADA</b>  |                 |                                  |                         |
| <b>POBLACIÓN ESTIMADA</b>   | 60 g DBO/eq hab | 397,913                          | eq.hab                  |
| <b>CAUDAL</b>   |                 |                                  |                         |
| Medio diario (Qm)   |                 | 90,720                           | m <sup>3</sup> /d       |
|   |                 | 3,780                            | m <sup>3</sup> /h       |
|   |                 | 1,060                            | lps                     |
| Punta en tiempos de secas (Qp)  |                 | 6,804                            | m <sup>3</sup> /h       |
|   |                 | 1,890                            | lps                     |
| Máximo en tiempos de lluvias (Qmax)   |                 | 6,804                            | m <sup>3</sup> /h       |
|   |                 | 1,890                            | lps                     |
| Mínimo (Qmin)   |                 | 1,890                            | m <sup>3</sup> /h       |
|   |                 | 626                              | lps                     |
| <b>CARGA CONTAMINANTE</b>   |                 |                                  |                         |
| DBO   |                 | 23,875                           | kg/d                    |
|   |                 | 283                              | mg/l                    |
| SST   |                 | 15,778                           | kg/d                    |
|   |                 | 174                              | mg/l                    |
| SSV/SST   |                 | 76                               | %                       |
| NTK   |                 | 3,084                            | kg/d                    |
|   |                 | 34                               | mg/l                    |
| PT  |                 | 809                              | kg/d                    |
|   |                 | 8                                | mg/l                    |
| G y A   |                 | 3,625                            | kg/d                    |
|   |                 | 40                               | mg/l                    |
| <b>CARGA TOTAL</b>  |                 |                                  |                         |
| DBO   |                 | 23,875                           | Kg/d                    |
| SST   |                 | 15,778                           | Kg/d                    |
| NTK   |                 | 3,084                            | Kg/d                    |
| PT  |                 | 809                              | Kg/d                    |
| G y A   |                 | 3625                             | Kg/d                    |
| <b>CALIDAD DEL EFLUENTE PRIMARIO</b>  |                 |                                  |                         |
| DBO   |                 | 160                              | mg/l                    |
| SST   |                 | 160                              | mg/l                    |
| NTK   |                 | 40                               | mg/l                    |
| PT  |                 | 16                               | mg/l                    |
| G y A   |                 | 16                               | mg/l                    |
| <b>CALIDAD DEL EFLUENTE SECUNDARIO AVANZADO</b>                                   |                 |                                  |                         |
| DBO   |                 | 20                               | mg/l                    |
| SST   |                 | 10                               | mg/l                    |
| NT  |                 | 16                               | mg/l                    |
| PT  |                 | 2                                | mg/l                    |
| G y A   |                 | 2                                | mg/l                    |

**Figura 228. Datos de entrada en el documento “Memoria de Cálculo”.**

|    |                              | MEMORIA DE CÁLCULO PROCESO |                            |
|---|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|   |                              | Proyecto:                  | TENORIO-VILLA DE REYES     |
|   |                              | Referencia:                | EL.02.007                  |
|   |                              | No. Del Documento:         | 0003                       |
|   |                              | Elaboró:                   | ZMA                        |
|   |                              | Rev.:                      | 2                          |
|   |                              | Fecha:                     | 21/06/2004                 |
| <b>Separación de arenas</b>   |                              |                            |                            |
| . Caudal total de aguas con un 5% de arenas a transferir  |                              | 120                        | m <sup>3</sup> /h          |
| . Cantidad de clasificadores de arena   |                              | 1                          | u                          |
| . Caudal de entrada al clasificador   |                              | 120                        | m <sup>3</sup> /h          |
| . Tiempo de funcionamiento del clasificador de arena  |                              | 24                         | h/d                        |
| <b>Recolección de arenas</b>  |                              |                            |                            |
| . Factor de diseño para colección de arenas   |                              | 28                         | 1/1000 m <sup>3</sup> /día |
| . Volumen medio de arenas a recolectar  |                              | 2.54                       | m <sup>3</sup> /d          |
| . Volumen máximo de arenas a recolectar   |                              | 6.00                       | m <sup>3</sup> /d          |
| El agua restante se retorna a la planta   |                              |                            |                            |
| <b>Recolección grasas</b>   |                              |                            |                            |
| . Factor de diseño para colección de flotantes  |                              | 4                          | 1/1000 m <sup>3</sup> /día |
| . Volumen medio de flotantes a recolectar   |                              | 0.36                       | m <sup>3</sup> /d          |
| . Volumen máximo de flotantes a recolectar  |                              | 0.65                       | m <sup>3</sup> /d          |
| El agua restante se retorna a la planta   |                              |                            |                            |
| <b>III - TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO - DENSADEG</b>   |                              |                            |                            |
| Consiste en un equipo denominado DENSADEG, sus principales funciones son afinar la etapa de coagulación, previamente iniciada en el mezclador rápido y unificar y optimizar en un solo equipo las operaciones de floculación y clarificación laminar, así como promover el espesamiento de los lodos. |                              |                            |                            |
| <b>REMOCIÓN TOTAL DEL PRETRATAMIENTO</b>  |                              |                            |                            |
| Eliminación DBO por Pretratamiento  |                              | 2%                         | 477                        |
| Eliminación SST por Pretratamiento  |                              | 5%                         | 789                        |
|   |                              |                            | Kg DBO/día                 |
|   |                              |                            | Kg SST/día                 |
| <b>CARACTERÍSTICAS DEL AGUA PRETRATADA</b>  |                              |                            |                            |
| Caudal  | medio                        | 3,780                      | m <sup>3</sup> /h          |
|   | punta                        | 6,804                      | m <sup>3</sup> /h          |
| Carga   | DBO                          | 23,397                     | Kg/día                     |
|   | SST                          | 14,989                     | Kg/día                     |
| <b>Retornos al cárcamo de bombeo:</b>   |                              |                            |                            |
|   | Deshidratación               | 123                        | m <sup>3</sup> /h          |
|   | Espesamiento lodos           | 136                        | m <sup>3</sup> /h          |
|   | Filtración Terciaria         | 64                         | m <sup>3</sup> /h          |
|   | TOTAL                        | 312                        | m <sup>3</sup> /h          |
|   | VALIDACIÓN =>                | 312                        | m <sup>3</sup> /h          |
|   | retorno deshidratación       | 841                        | Kg DBO/día                 |
|   | retorno deshidratación       | 267                        | Kg SST/día                 |
|   | retorno espesamiento         | 26                         | Kg DBO/día                 |
|   | retorno espesamiento         | 183                        | Kg SST/día                 |
|   | retorno filtración terciaria | 213                        | Kg DBO/día                 |
|   | retorno filtración terciaria | 668                        | Kg SST/día                 |
|   | Total                        | 879                        | Kg DBO/día                 |
|   | Total                        | 898                        | Kg SST/día                 |
| <b>CARACTERÍSTICAS AGUA A TRATAR EN TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO</b>   |                              |                            |                            |
| Caudal  | Medio                        | 4,092                      | m <sup>3</sup> /h          |
|   | Punta (máximo de bombeo)     | 93,401                     | m <sup>3</sup> /d          |
|   |                              | 6,930                      | m <sup>3</sup> /h          |
| Carga   | DBO                          | 24,276                     | Kg/día                     |
|   | SST                          | 15,985                     | Kg/día                     |
|   | NTK                          | 3,084                      | Kg/día                     |
|   | PT                           | 809                        | Kg/día                     |
| <b>Base de cálculo</b>  |                              |                            |                            |
| Velocidad sobre láminas - medio - VLm   |                              | 20                         | m/h                        |
| Velocidad sobre láminas - punta - VLp   |                              | 40                         | m/h                        |
| <b>Resultados</b>   |                              |                            |                            |
| Superficie laminar necesaria  |                              | 205                        | m <sup>2</sup>             |
| Número de DENSADEG  |                              | 3                          | U                          |
| Superficie laminar unitaria requerida   |                              | 68                         | m <sup>2</sup>             |

**Figura 229. Datos de diseño del tratamiento primario avanzado.**

## 2.3.1 Datos de diseño

### 2.3.1.1 Caudal

Los caudales utilizados para el diseño de la PTAR fueron:

- Medio de 1 050 L/s
- Máximo de 1 890 L/s
- Mínimo de 525 L/s

### 2.3.1.2 Características de influente

En la Tabla 4 se muestra la calidad del agua del influente a la PTAR (datos de diseño).

**Tabla 94. Calidad del agua de entrada de diseño.**

| Parámetro                            | Concentración |
|--------------------------------------|---------------|
| Grasas y aceites (mg/L)              | 40.00         |
| Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) | 263.00        |
| Demanda química de oxígeno (mg/L)    | -             |
| Nitrógeno total Kjeldhal (mg/L)      | 34.00         |
| Fósforo total (mg/L)                 | 9.00          |
| Sólidos suspendidos totales (mg/L)   | 174.00        |

## 2.4 Análisis de la información histórica de calidad del agua

Los resultados de los análisis de calidad del agua que la PTAR El Tenorio reportó a la Comisión Nacional del Agua entre enero y agosto 2021 se encuentran en la información documental entregada por la planta y la cual se encuentra en la liga <https://drive.google.com/drive/folders/1lws6vwfnif9FCHKQC6qii3vUzXZWRWp-?usp=sharing> y que será entregada al final del proyecto.

Es importante mencionar que los parámetros que se reportaron son los que contempla la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Para facilitar la interpretación de los resultados de los análisis, solo se graficaron parámetros de interés para el riego agrícola, como DBO, DQO, SST, pH, grasas y aceites (G y A), y nutrientes.

**Tabla 95. Histórico de calidad del agua del efluente del primario avanzado.**

| Parámetro           | Unidades    | 2021   |        |        |        |       |        |        |       | NOM-001-SEMARNAT                           |  |
|---------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--|--|
|                     |             | Ene.   | Feb.   | Mar.   | Abr.   | Mayo  | Jun.   | Jul.   | Ago.  | 1996<br>Uso en<br>riego<br>agrícola<br>(A) | 2021<br>Suelo<br>Infiltración<br>y otros<br>riegos |
| pH                  | -           | 7.55   | 7.64   | 7.8    | 7.8    | 8.09  | 8.1    | 8      | 8.1   | 5 - 10                                     | 6.5 - 9.0  |
| Grasas y aceites    | mg/L        | 1.44   | 1.48   | 1.28   | 1.46   | 1.57  | 1.45   | 1.29   | 1.77  | 15   | 15   |
| Materia Flotante    | -           | Aus.   | Aus.   | Aus.   | Aus.   | Aus.  | Aus.   | Aus.   | Aus.  | Aus.*                                      | N.A.   |
| Sólidos Sed.        | ml/L        | 0.48   | 0.1    | 0.1    | 0.1    | <0.1  | <0.1   | <0.1   | <0.1  | 1  | N.A.   |
| SST                 | mg/L        | 32.92  | 29.67  | 36     | 33.92  | 45.69 | 48.55  | 41     | 52.3  | N.A.                                       | 100  |
| DBO <sub>5</sub>    | mg/L        | 65.16  | 68.62  | 61.57  | 51.36  | 49.11 | 36.91  | 40.89  | 45.1  | N.A.                                       | N.A.   |
| DQO                 | mg/L        | 107.77 | 106.66 | 117.45 | 86.92  | 88.85 | 62.84  | 73.86  | 78.08 | N.A.                                       | 150  |
| NT                  | mg/L        | 60.7   | 58.34  | 47.9   | 47.47  | 38.76 | 36.47  | 36.11  | 41.24 | N.A.                                       | N.A.   |
| PT                  | mg/L        | 8.63   | 9.07   | 10.58  | 9.34   | 6.63  | 3.95   | 4.77   | 6.5   | N.A.                                       | N.A.   |
| Arsénico            | mg/L        | ND     | ND     | ND     | ND     | ND    | ND     | ND     | ND    | 0.2  | 0.1  |
| Cadmio              | mg/L        | ND     | ND     | ND     | ND     | ND    | ND     | ND     | ND    | 0.05                                       | 0.1  |
| Cianuros            | mg/L        | 0.003  | 0.0061 | 0.011  | 0.018  | 0.009 | 0.002  | 0.004  | 0.003 | 2  | 1  |
| Cobre               | mg/L        | 0.16   | 0.007  | 0.0037 | 0.0041 | 0.003 | 0.0035 | 0.01   | ND    | 4  | 4  |
| Cromo               | mg/L        | 0.01   | 0.0024 | 0.0048 | 0.0032 | 0.005 | 0.0048 | 0.0034 | ND    | 0.5  | 0.5  |
| Mercurio            | mg/L        | ND     | ND     | ND     | ND     | ND    | ND     | ND     | ND    | 0.005                                      | 0.005  |
| Níquel              | mg/L        | 0.01   | 0.008  | 0.009  | 0.0071 | 0.01  | 0.01   | 0.01   | 0.01  | 2  | 2  |
| Plomo               | mg/L        | ND     | ND     | ND     | ND     | ND    | ND     | ND     | ND    | 5  | 0.5  |
| Zinc                | mg/L        | 0.07   | 0.0438 | 0.0497 | 0.06   | 0.04  | 0.04   | 0.02   | 0.3   | 10   | 10   |
| Huevos de Helmintos | org/l       | -      | -      | -      | -      | -     | -      | -      | -     | 5  | 1  |
| Coliformes fecales  | NMP /100 ml | 139    | 233    | 480    | 391    | 508   | 460    | 74     | 238   | 1000                                       | N.A.   |
| E. Coli             | NMP /100 ml | S.D    | S.D    | S.D    | S.D    | S.D   | S.D    | S.D    | S.D   | N.A.                                       | 250  |

\*Aus. = Ausente

SD = Sin dato

N.A. = No aplica

### 2.4.1 pH

Al ser un proceso de tratamiento híbrido, es decir que conjuga un sistema primario avanzado y postratamientos biológicos (humedal y lodos activados), en todos ellos el pH del agua juega un papel fundamental, ya sea para que las reacciones químicas (primario avanzado) ocurran en el intervalo óptimo de funcionamiento del sistema, o bien para que los microorganismos se desarrollen adecuadamente. El intervalo adecuado es de 6.0 a 8.5 unidades de pH. En los datos reportados se observa que el comportamiento de este parámetro es estable y sus variaciones son menores a una unidad, lo que permite que los procesos puedan operar adecuadamente.

En la Tabla 96 se muestra el comportamiento de enero a agosto de 2021 en las tres corrientes de la PTAR: influente, efluente primario avanzado y efluente secundario.

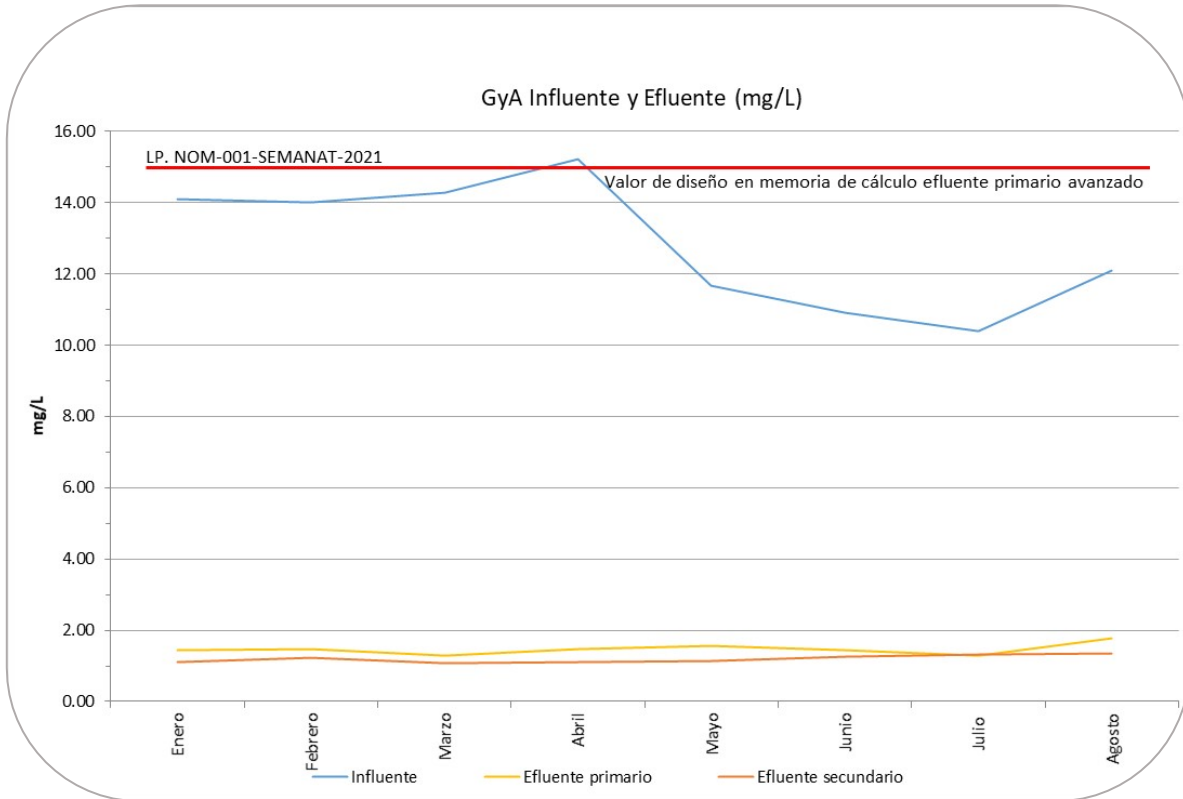
**Tabla 96. pH por mes.**

| Mes     | pH        |                   |            |
|---------|-----------|-------------------|------------|
|         | Influente | Primario Avanzado | Secundario |
| Enero   | 7.1       | 7.55              | 7.32       |
| Febrero | 7.3       | 7.64              | 7.40       |
| Marzo   | 7.3       | 7.80              | 7.50       |
| Abril   | 7.3       | 7.80              | 7.30       |
| Mayo    | 7.3       | 8.09              | 7.40       |
| Junio   | 7.4       | 8.10              | 7.40       |
| Julio   | 7.5       | 8.00              | 7.40       |
| Agosto  | 7.5       | 8.10              | 7.40       |

Por otra parte, en la NOM-001-SEMARNAT-1996, se estipula un rango óptimo de descarga de 5 a 10 unidades, por lo que se cumple este parámetro en la PTAR.

## 2.4.2 Grasas y Aceites

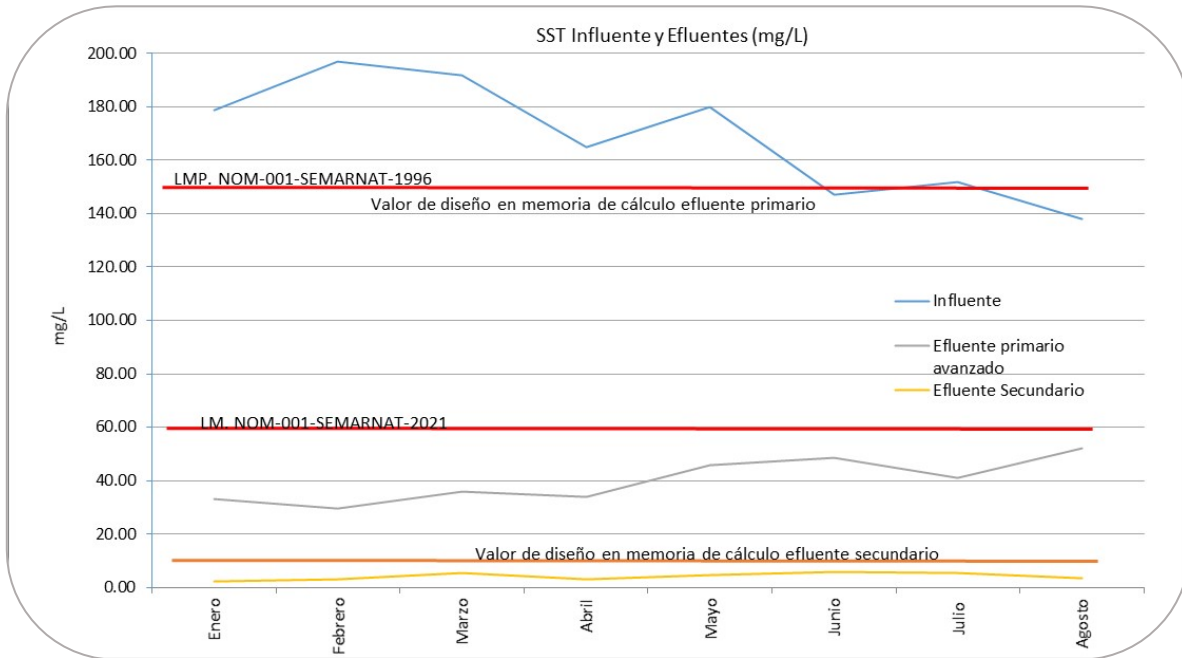
En la NOM-001-SEMARNAT-1996 se establece como límite máximo permisible para promedio mensual de grasas y aceites un valor de 15 mg/L y como se observa en la Figura 230 este valor no es rebasado, ya que la concentración en los efluentes es menor que 2 mg/L, e incluso en el influente, solo en el mes de abril se rebasa la concentración de 15 mg/L.



**Figura 230. Tendencia de Grasas y Aceites (2021).**

## 2.4.3 Sólidos suspendidos totales (SST)

En la Figura 231 se observa que los valores del efluente primario avanzado son menores a 60 mg/L, teniendo un máximo en el mes de agosto con 52.3 mg/L. En cuanto al efluente secundario, que no se descarga a cuerpo receptor, las concentraciones son menores a 10 mg/L, por lo que satisfacen los requisitos de la NOM-001-SEMARNAT-1996.



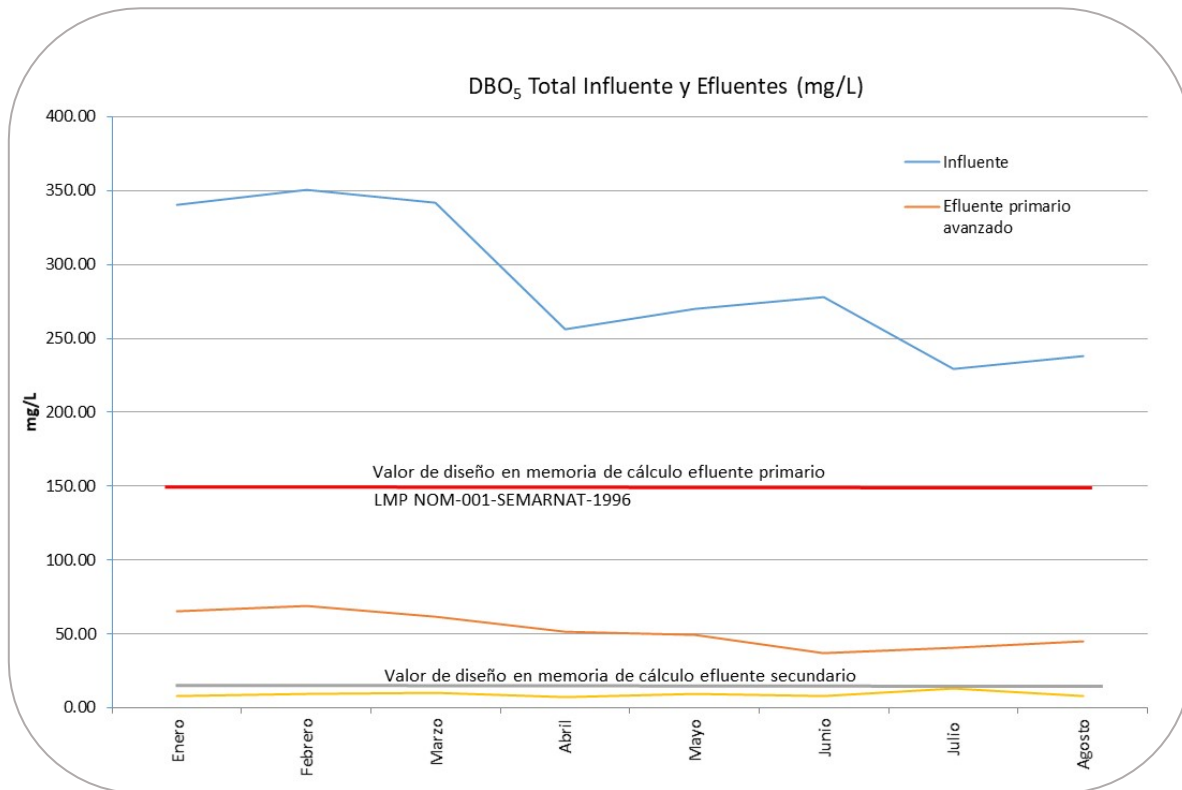
**Figura 231. Tendencia de Sólidos Suspendedos Totales (2021).**

#### 2.4.4 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

En la Figura 232 se muestra el comportamiento de este parámetro tanto en el influente como en los efluentes de la PTAR. El límite contractual de 150 mg/L se satisface en todo momento, el valor máximo se alcanzó en el mes de febrero de 2021 y fue de 68.62 mg/L. En principio satisface el requisito de la NOM-001-SEMARNAT-1996. Pero hay que tener en mente que la PTAR, como tal, no cuenta con un título de descarga, sino que este corresponde al conjunto de la PTAR con el humedal.

En cuanto al efluente secundario se refiere este satisface los requisitos de la NOM-003-SEMARNAT-1997.





**Figura 232. Tendencia de DBO<sub>5</sub> (2021).**

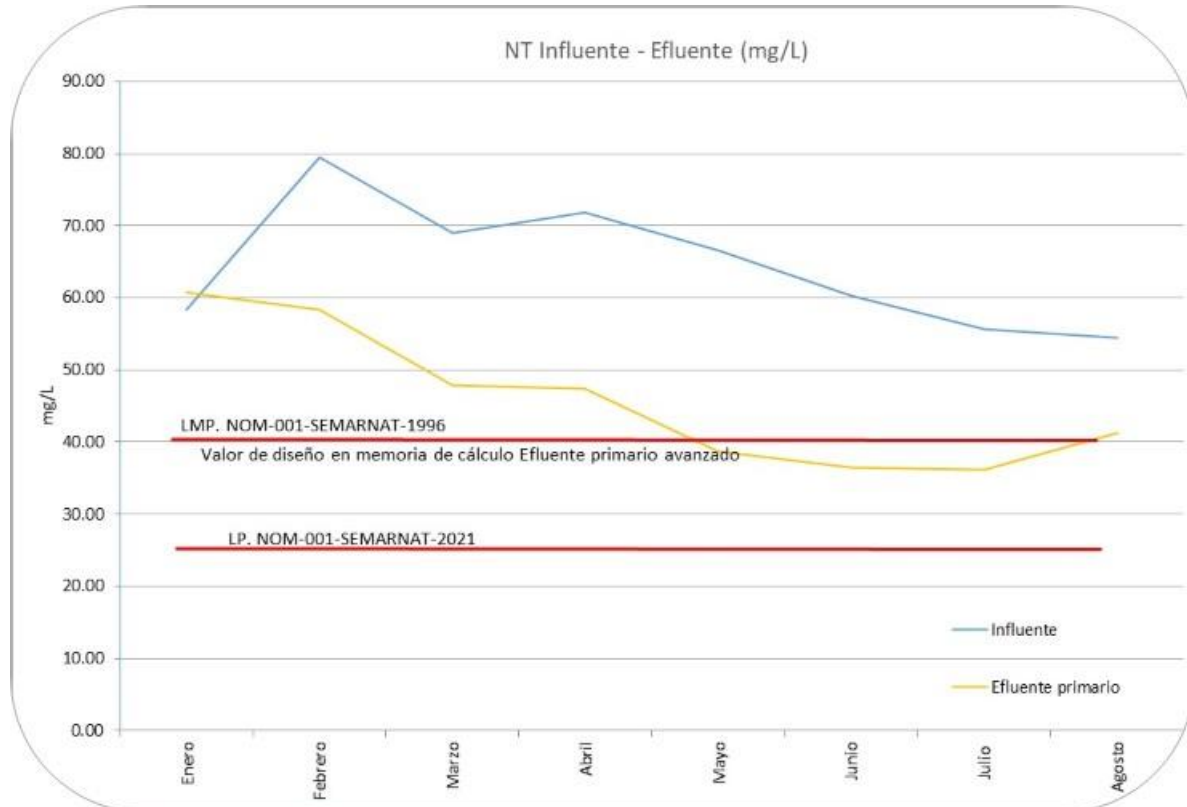
#### 2.4.5 Nitrógeno Total (NT)

A este parámetro están asociados el nitrógeno total Kjeldahl (NTK), nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal, y el reporte de calidad del agua presenta concentraciones de los tres primeros. Sin embargo, solo el NT es de importancia para efectos de normatividad. Es importante señalar que, en el reporte de análisis, prácticamente las concentraciones del NTK y las del NT son muy similares, la diferencia entre ellos es la suma de los nitritos y nitratos.

En la Figura 233 se observa que este parámetro está fuera de los límites comprometidos en la memoria de cálculo. Solo en los meses de mayo, junio y julio se alcanza una concentración menor a 40 mg/L. El proceso primario avanzado no es eficaz para la remoción de los compuestos nitrogenados. Nuevamente, no hay que perder de vista que el título de descarga está asociado con el efluente del humedal, no el de la PTAR.

En cuanto al incumplimiento de los valores contractuales, que parece ser el caso, no fue proporcionada información que permita emitir una opinión.

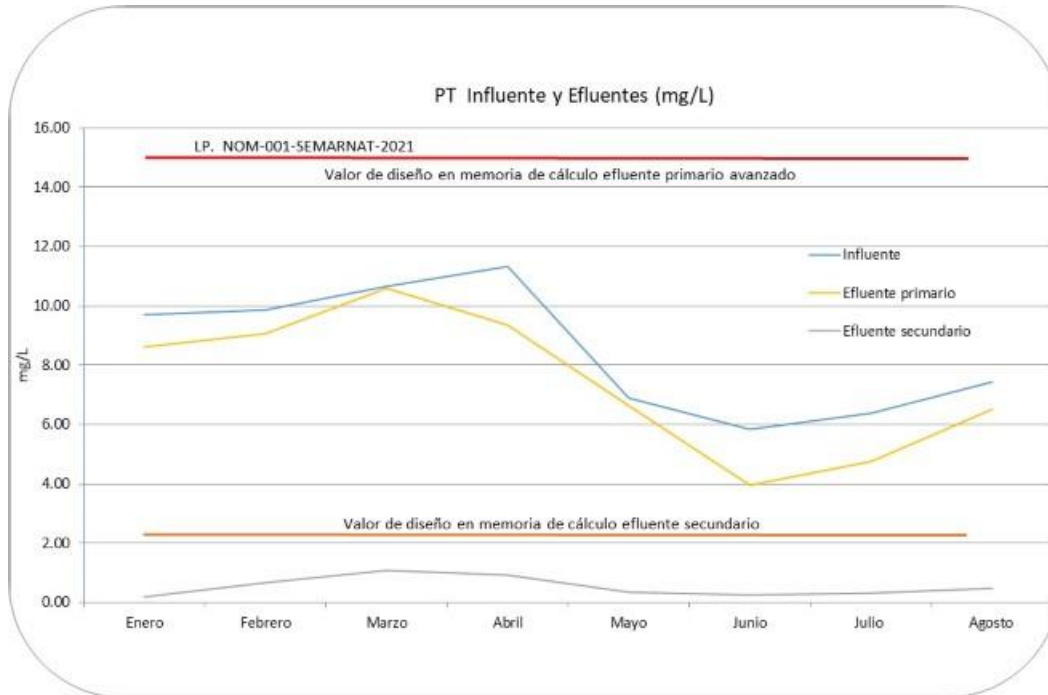
El efluente secundario al parecer no tiene comprometido este parámetro ya que no se analiza y, dado que es dicho efluente no se descarga a cuerpo receptor, no aplica la NOM-001-SEMARNAT-1996.



**Figura 233. Tendencia de Nitrógeno Total (2021).**

#### 2.4.6 Fósforo Total (PT)

La Figura 234 muestra que el efluente del primario avanzado es menor a 15 mg/L, valor de referencia en la memoria de cálculo. En el permiso de descarga de esta planta de tratamiento no hay un límite máximo permisible establecido ya que es descarga en suelo (para riego agrícola).



**Figura 234. Tendencia de Fósforo Total (2021).**

Se observa que hay remoción del fósforo total. La eficiencia de proceso para la remoción de este parámetro se muestra en la Tabla 97. Si bien no son grandes eficiencias de remoción, en todos los casos ocurre la disminución del contenido de fósforo en el agua. En este caso se debe a la propiedad de las sales de hierro para formar precipitados insolubles al combinarse con los fosfatos.

**Tabla 97. Eficiencia de remoción de fósforo total en el tratamiento primario avanzado**

| Mes  | Ene.  | Feb. | Mar. | Abr.  | May. | Jun.  | Jul.  | Ago.  |
|--|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| <b>Eficiencia de remoción de fósforo total (%)</b> | 11.03 | 8.11 | 0.75 | 17.56 | 3.77 | 32.36 | 25.35 | 12.40 |

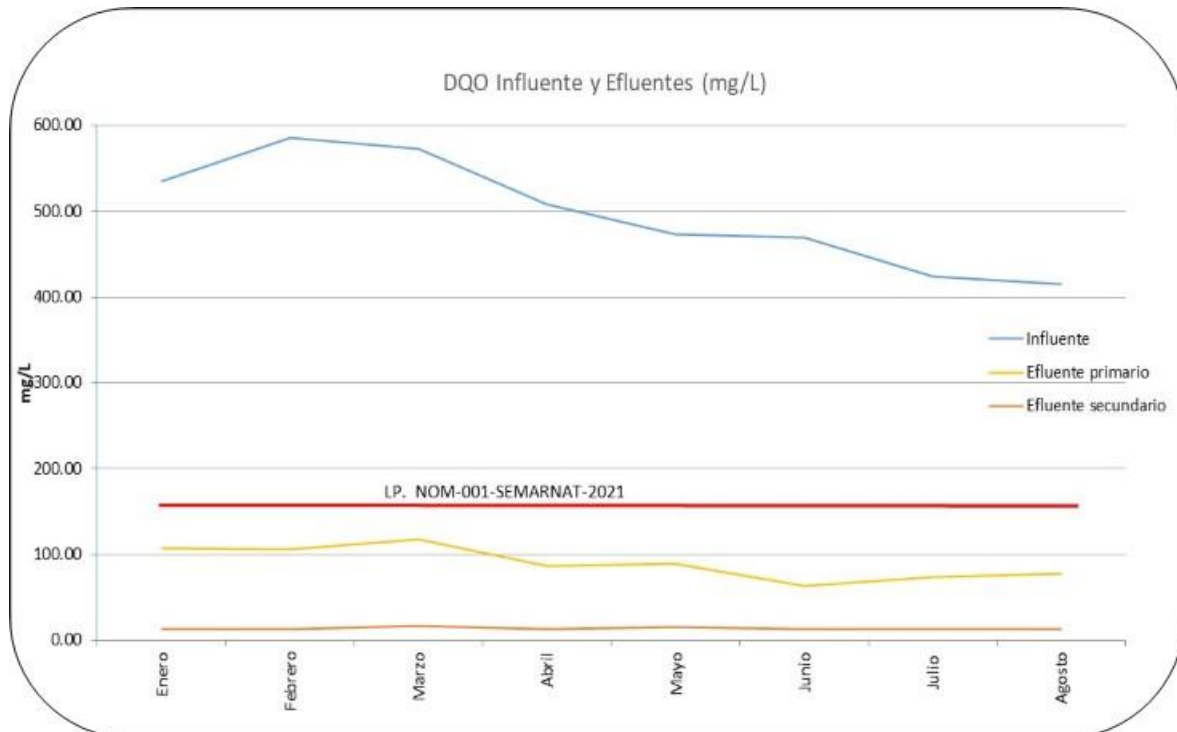
En el caso del tratamiento biológico, se alcanzan valores inferiores a 1 mg/L e intervienen dos mecanismos posteriores a la precipitación lograda en el primario avanzado: el consumo de fósforo por los microorganismos para su desarrollo y una nueva precipitación química en la descarbonatación.

### 2.4.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Si bien este parámetro no está considerado en el permiso de descarga de la PTAR, es de importancia debido a que entra en vigor con la actualización de la normatividad.

En la Figura 235 se observa que hay una disminución sustancial en la concentración de este parámetro al aplicar el tratamiento primario avanzado y todavía es mayor con el tratamiento secundario. Ambos efluentes satisfacen la NOM-001-SEMRNAT-1996 y estarían en condiciones de satisfacer la NOM-001 SEMARNAT-2021 para suelo en la modalidad de infiltración y otros riegos, ya que la concentración es menor a 150 mg/L.

Por otra parte, la relación DQO/DBO en el influente y el efluente se mantiene cercana a las dos unidades por lo que se deduce que la influencia industrial es muy baja o nula. Esto es congruente con el hecho que la industria que hay en la zona es en general industria seca y solo vierten las aguas de servicio al alcantarillado. En la Tabla 98 se muestran los valores históricos de ambos parámetros y su cociente.



**Figura 235. Tendencia de DQO (2021).**

**Tabla 98. Concentraciones de DBO5/DQO y cociente de ambos parámetros.**

| Parámetro             | Condición         | Promedios 2021 |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------|-------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                       |                   | Ene.           | Feb.   | Mar.   | Abr.   | May.   | Jun.   | Jul.   | Ago.   |
| <b>DBO5</b><br>(mg/L) | <b>Influyente</b> | 340.30         | 350.74 | 342.19 | 255.89 | 270.01 | 278.09 | 229.40 | 238.22 |
|                       | <b>Efluente</b>   | 65.16          | 68.62  | 61.57  | 51.36  | 49.11  | 36.91  | 40.89  | 45.10  |
| <b>DQO</b><br>(mg/L)  | <b>Influyente</b> | 534.80         | 584.99 | 573.23 | 507.87 | 472.52 | 468.60 | 423.68 | 414.64 |
|                       | <b>Efluente</b>   | 107.77         | 106.66 | 117.45 | 86.92  | 88.85  | 62.84  | 73.86  | 78.08  |
| <b>DQO/DBO I</b>      |                   | 1.57           | 1.67   | 1.68   | 1.98   | 1.75   | 1.69   | 1.85   | 1.74   |
| <b>DQO/DBO E</b>      |                   | 1.65           | 1.55   | 1.91   | 1.69   | 1.81   | 1.70   | 1.81   | 1.73   |

## 2.5 Análisis de la información del Proceso

### 2.5.1 Análisis rutinarios

No se proporcionó información documental sobre los análisis rutinarios que se realizan al agua residual cruda y tratada.

### 2.5.2 Manual de operación

Se cuenta con el Manual de Operación proporcionado por el operador, el cual se puede consultar en la liga de la información documental de la PTAR (<https://drive.google.com/drive/folders/1lws6vwfnif9FCHKQC6qii3vUzXZWRWp-?usp=sharing>). Además, durante la visita de reconocimiento a la PTAR El Tenorio personal de la misma proporcionó nueve manuales de operación de las diferentes unidades de tratamiento, de los cuales se tomó evidencia fotográfica.

### 2.5.3 Reportes de operación (bitácoras)

No se proporcionó información documental al respecto.

### 2.5.4 Mantenimiento

Se cuenta con una brigada de mantenimiento y para dar seguimiento a sus actividades se cuenta con una plataforma informática la cual les permite programar y vigilar las acciones de mantenimiento preventivo y predictivo de todos los equipos electromecánicos. Asimismo, en la plataforma se

levantan reportes de fallos (mantenimiento correctivo) para su pronta y eficaz atención.

Además, cuando se entrevistó al personal encargado de mantenimiento comentaron que se contaba con un archivo de las órdenes de mantenimiento, pero no estaban autorizados para proporcionar una copia de dicho archivo, por lo que se desconoce el alcance del mantenimiento de la PTAR.

Por otra parte, como se comentó en el punto anterior, en la información de la bitácora se menciona de una manera vaga el mantenimiento que se le proporciona a la PTAR, como la reparación de algunas bombas.

#### **2.5.4.1 Programa**

Se proporcionó el programa de mantenimiento anual y se sostuvo una entrevista con el personal responsable del mantenimiento. El mantenimiento preventivo considera la inspección y ajustes menores tales como: engrasado, revisión de niveles de líquidos (cuando aplica), consumos de corriente, estado de pintura, horas de operación entre otros. En la Figura 236 se muestra una hoja del programa anual.

Todo el seguimiento del plan anual de mantenimiento se hace a través de un sistema informático.

Para cada concepto (equipo o unidad de proceso) se indica el mes en que debe hacerse la inspección/intervención, así como las horas que consideran se requiere para llevar a cabo la revisión del equipo en cuestión.

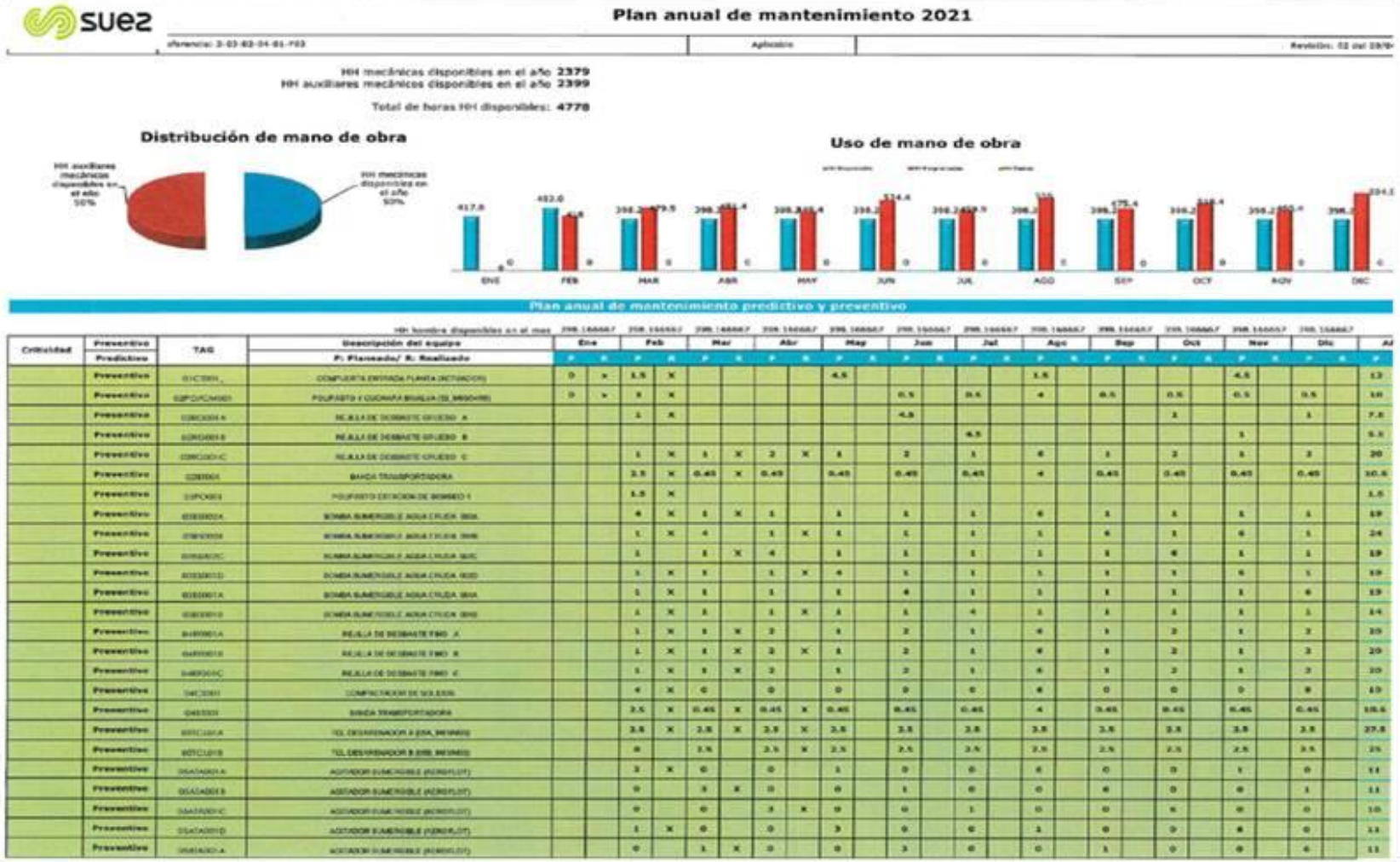


Figura 236. Vista del programa anual de mantenimiento.

### 2.5.4.2 Reportes

Asimismo, cuando hay fallas en los equipos electromecánicos, se levanta una orden de trabajo en el sistema con lo que se activa un proceso de atención y reparación del fallo. En la Figura 237 se muestra un ejemplo de orden de trabajo.

| EAM  |   | Imprimir tarjetas cortas de OT      |                     | infor             |             |
|--|---|-------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------|
| <b>Orden de trabajo</b>  | 231955 (SL-PTAR) El evaporador de cloro no opera, marca T*, pero se activa alarma de T* baja. | <b>Fecha de inicio programada</b>   | 12/ABR/2021         | <b>Tipo de OT</b> | COR         |
| <b>Estado</b>  | Terminado   | <b>Clase</b>                        | INS                 | <b>Prioridad</b>  | URG         |
| <b>Orden de trabajo principal</b>  |   | <b>Garantía</b>                     |                     | <b>Seguridad</b>  |             |
| <b>Departamento</b>  | SL-OPM OPERACION Y MANTENIMIENTO SAN LUIS POTOSI  | <b>Criticidad del equipo</b>        | ALT                 | <b>Asignado a</b> |             |
| <b>Código de MP</b>  |   | <b>Asignado por</b>                 |                     |                   |             |
| <b>Código de costo</b>   |   |                                     |                     |                   |             |
| <b>Código de problema</b>  |   |                                     |                     |                   |             |
| <b>Informado por</b>   | 311114 EDGAR RODRIGUEZ MEDINA   |                                     |                     |                   |             |
| <b>Proyecto</b>  |   |                                     |                     |                   |             |
| <b>OT estándar</b>   |   |                                     |                     |                   |             |
| <b>Equipo</b>  | SL25EV001B (SL-PTAR) EVAPORADOR DE CLORO  |                                     |                     |                   |             |
| <b>Ubicación</b>   |   |                                     |                     |                   |             |
| <b>Fabricante del equipo</b>   |   | <b>Horas estimadas de actividad</b> | 1                   |                   |             |
| <b>Modelo del equipo</b>   |   | <b>Costo estimado</b>               | 0.00                |                   |             |
| <b>Número de serie del equipo</b>  |   | <b>Coste real</b>                   | 57.00               |                   |             |
| <b>Fecha de inicio</b>   | 11/SEP/2021   | <b>Fecha de finalización</b>        | 11/SEP/2021         |                   |             |
| <b>Comentarios de la OT</b>  |   |                                     |                     |                   |             |
| <b>ONIETO [11/SEP/2021 09:49]:</b>   |   |                                     |                     |                   |             |
| Se encuentra defectuosa una pastilla eléctrica, se realiza cambio de la misma y el equipo continua operando correctamente. |   |                                     |                     |                   |             |
| <b>Actividades</b>   |   |                                     |                     |                   |             |
| Actividad  | Ocupación   | Horas estimadas                     | Personas necesarias | Plan de tareas    | Descripción |
| 1  | INS   | 1                                   | 1                   |                   |             |

**Figura 237. Ejemplo de una orden de trabajo.**



### 3 ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

#### 3.1 Descripción de las unidades de proceso

El agua residual ingresa a la PTAR a través del colector de alimentación en el que convergen seis colectores.

##### 3.1.1 Pretratamiento

El agua pasa a través de tres rejillas mecánicas gruesas o de desbaste, cuyas dimensiones son: canal de llegada 1.03 m, el espaciamiento entre las barras es de 50 mm y el ancho de barra es 5 mm con un total de 19 barras en cada rejilla (**Figura 238**).



*Figura 238. Rejillas gruesas<sup>3</sup>.*

Después de las rejillas gruesas, el agua residual llega al cárcamo de bombeo en el que se cuenta con seis bombas sumergibles; cuatro de 350 L/s cada una y dos de 525 L/s cada una. La capacidad de bombeo es para poder manejar el caudal total en condiciones normales, pico y de pico en lluvias. Al tratarse de bombas sumergibles, no son visibles, los controles locales es lo único que se aprecia. En la Figura 239 se presenta una vista desde superficie de la zona del cárcamo de bombeo.

---

<sup>3</sup> La foto de la izquierda corresponde a las rejillas finas. El área de seguridad industrial no autorizó el descenso a la zona de las rejillas gruesas por no contar con los certificados correspondientes para trabajo en altura, ya que el descenso es de varios metros por escalerillas marinas.



**Figura 239. Cárcamo de bombeo.**

El agua se eleva aproximadamente 14 m desde el subsuelo hasta la entrada a las rejillas mecánicas finas. Se cuenta con tres rejillas con un ancho de canal de 115 cm, barras de 0.5 cm y un claro de 2 cm, cada rejilla cuenta con un total de 47 barras (Figura 240).



**Figura 240. Rejillas finas.**

Posterior a la etapa del cribado se encuentra la desarenación y remoción de natas y películas flotantes. Esto se hace en dos desarenadores aireados que se encuentran inmediatamente después de las rejillas finas. Ambos desarenadores están equipados con un puente viajero que succiona la arena depositada en el canal de almacenamiento y también desplaza las natas hasta el punto de vertido (Figura 241).



**Figura 241. Desarenadores aireados.**

El agua desarenada sale de estas unidades de proceso a través de unos vertedores longitudinales y con una caída de aproximadamente 30 cm, lo que provoca turbulencia en el agua. En este punto se dosifica el coagulante para el sistema primario avanzado. Esto no era la condición original de diseño, pero el uso de los agitadores mecánicos provocaba la ruptura de los flóculos, por ello se optó por cambiar la dosificación a este punto (Figura 242).



**Figura 242. Punto de aplicación de cloruro férrico y polímero para el primario avanzado.**

### 3.1.2 Tratamiento primario avanzado

El tratamiento primario avanzado se lleva a cabo en tres trenes paralelos integrados por unidades de patente denominadas Densadeg. Cada una de ellas trata 350 L/s para hacer un total de 1 050 L/s. El proceso fue diseñado para entregar un efluente con las siguientes características: DBO<sub>5</sub> 150 mg/L, SST 150 mg/L, NTK 40 mg/L, PT 15 mg/L y G y A 15 mg/L.

El sistema Densadeg tiene secuencialmente un tanque para coagulación (mezcla rápida), aunque en la actualidad la mezcla rápida se efectúa aguas arriba del tanque aprovechando la turbulencia que se genera por el vertido del agua desarenada en el canal de recolección. Posteriormente, se cuenta con un tanque o cámara de floculación con agitación mecánica y entra en la zona de clarificación, que es un tanque de plantilla cuadrada, con una rastra circular de 10.4 m de diámetro. Cada uno de los tanques de sedimentación cuenta con una zona de clarificación de alta tasa (lamelas) que ocupan una superficie de 67 m<sup>2</sup> y se encuentran colocadas por debajo del espejo de agua en la zona en que están las canaletas y vertedores que captan el efluente del primario avanzado. En la Figura 243 se muestra la vista aérea de tratamiento primario avanzado y una vista de las canaletas de recolección.





**Figura 243. Vistas de los “Densadeg” y las canaletas de recolección.**

El efluente del tratamiento primario se envía a un humedal artificial denominado Tanque Tenorio de 179 ha, en el que el agua recibe un tratamiento natural adicional antes de su aprovechamiento para el riego. En la Figura 244 se muestra una vista aérea del conjunto planta de tratamiento-humedal construido “El Tenorio-Tanque Tenorio”.



**Figura 244. Vista aérea del conjunto PTAR-Humedal “El Tenorio-Tanque Tenorio”.**

El efluente de la planta es enviado a través de un canal revestido de sección transversal rectangular. Sobre este canal se encuentra un medidor Parshall y su respectivo sensor ultrasónico para la medición del caudal del agua tratada para riego. En la Figura 245 se muestra al canal que conduce al humedal “Tanque Tenorio”.



**Figura 245. Canal con el efluente del tratamiento primario avanzado.**

En el momento de la evaluación, toda el agua tratada se estaba descargando mediante este canal.

La planta cuenta con un sistema secundario consistente en tres trenes en paralelo que constan de un sistema anóxico-aerobio de lodos activados que procesa hasta 450 L/s cuando la CFE compra agua tratada para la generación de energía, esto ocurre principalmente en el periodo enero-julio o enero-agosto dependiendo de los niveles de las presas generadoras de energía hidroeléctrica.

### **3.1.3 Tratamiento biológico**

El tratamiento secundario se lleva a cabo en tres trenes paralelos con capacidad de 150 L/s cada uno. Cada tren consta de un selector anóxico seguido de un reactor aerobio de lodos activados. El volumen del selector anóxico es de 1200 m<sup>3</sup> con las siguientes dimensiones: Ancho 12 m; Largo 16.6 m; Profundidad 6 m. Se cuenta con dos agitadores sumergidos para mantener la biomasa en suspensión, pero sin aportar oxígeno al sistema.

Posteriormente el agua pasa al reactor aerobio que tiene las siguientes dimensiones Ancho 12 m; Largo 39.8 m y Profundidad 6 m, el volumen útil es de 2 865.7 m<sup>3</sup>. El tiempo de retención a flujo medio (150 L/s) es de 7.53 horas. El diseño se hizo para entregar un efluente con las siguientes características: DBO<sub>5</sub> 20 mg/L, SST 20 mg/L y NT 15 mg/L.

Se cuenta con tres sedimentadores circulares de 35 m de diámetro y profundidad de 3.5 m. Los sedimentadores no están directamente asociados con cada tren de tratamiento biológico, sino que el efluente general de los tres reactores se mezcla y a través de una caja partidora se distribuye entre los sedimentadores secundarios.

En la Figura 246 se muestra una vista de los reactores anóxicos, los reactores aerobios y una vista aérea de la PTAR en la que se distinguen los reactores biológicos y los tres sedimentadores secundarios circulares. Cabe señalar que el proceso biológico no estaba en funcionamiento durante la visita de evaluación. El efluente del tratamiento biológico recibe un postratamiento y se envía a la CFE para su aprovechamiento en la generación de energía. Aparentemente, en el trimestre posterior al periodo de lluvias, la CFE maximiza la generación de energía mediante centrales hidroeléctricas y las centrales termoeléctricas disminuyen notablemente su operación. Por ello la central termoeléctrica ubicada en Villa de Reyes, SLP, deja de comprar agua tratada hacia el último trimestre de cada año.

En la época en que no se produce efluente secundario para la venta de agua, se mantienen dos reactores funcionando a una capacidad mínima para mantener la biomasa viva y producir agua para el riego de las áreas verdes de la PTAR. En este periodo se aprovecha para dar mantenimiento a los sistemas de difusión de aire y el equipo electromecánico asociado con el tratamiento secundario.



**Figura 246. Vista de los reactores anóxicos, aerobios y de la planta en su conjunto.**

### **3.1.4 Postratamiento**

El efluente del tratamiento biológico se divide en dos corrientes para el postratamiento, la de mayor caudal (aproximadamente el 60% del agua tratada) se filtra en arena, para ello se utilizan tres unidades de patente filtros Aquazur V. Cada filtro cuenta con una superficie útil de 38.5 m<sup>2</sup> y está diseñado para un caudal medio de 80 L/s, lo que hace un total de 240 L/s. Como ayuda a la filtración se hace una coagulación en línea utilizando cloruro férrico como coagulante y, de ser necesario, un polímero como floculante. En la Figura 247 se muestra el cartel explicativo de los filtros Aquazur.





**Figura 247. Cartel explicativo de los filtros Aquazur V.**

La corriente de menor caudal (40% del flujo del agua tratada) se acondiciona utilizando unidades Densadeg y con cal, cloruro férrico y polímero como reactivos para remover dureza y sílice. El flujo equivale a 160 L/s. En la Figura 248 se muestra una vista de la zona de mezcla de uno de los Densadeg, el cartel explicativo del proceso de decarbonatación y una vista de la zona lamelar del proceso.



**Figura 248. Descarbonación del agua residual tratada.**

Se hace hincapié en el hecho que durante la visita de evaluación el proceso biológico y el postratamiento no estaban tratando agua en forma continua. En el caso del tratamiento biológico, solo se buscaba mantener a la biomasa en dos de los reactores. En el caso del postratamiento se les da mantenimiento a las unidades y se procesan algunos lotes de agua para uso interno. Asimismo, se reitera el hecho que el efluente secundario y con postratamiento no se descarga a cuerpo receptor.

### **3.1.5 Desinfección**

Tanto el agua filtrada como el agua descarbonada son enviadas al tanque de desinfección en donde se mezclan y se les aplica una dosis de cloro de 3 mg/L para obtener una concentración de cloro residual entre 0.3 y 0.5 mg/L.

La estación de cloración cuenta con 18 contenedores de 2000 libras: tres en activo, tres en espera y 12 para el movimiento de abastecimiento. Se cuenta con dos básculas: una para los contenedores en activo y otra para los que están en espera.

Se cuenta con dos evaporadores y dos cloradores (V2030 de 900 Kg/d), de la marca US FILTER. En la Figura 249 se muestran algunos aspectos de la instalación de cloración. Dado que no hay producción del efluente secundario, la desinfección no estaba en funcionamiento durante la visita de evaluación.



**Figura 249. Aspectos de la zona de cloración en la PTAR.**

El sistema de desinfección cuenta con dos bombas de ayuda gemelas de 18.7 m<sup>3</sup>/h y presión de trabajo de 104.4 mca.

El efluente del tratamiento primario avanzado no se desinfecta, se considera que el humedal pule el efluente, incluyendo la desinfección natural del agua.

### **3.1.6 Estado físico de las instalaciones de la PTAR**

Durante el recorrido en campo para el llenado de formatos y la evaluación *in situ* de la PTAR se pudo apreciar que la planta se encuentra en buen estado físico. El estado de la obra civil es bueno, todos los equipos están etiquetados, ninguno luce oxidado ni exhibe falta de mantenimiento. No se perciben olores sulfurosos y la jardinería de la planta se lleva a cabo con regularidad. En la Figura 250 se muestran diversas secciones de la PTAR.



**Figura 250. Vistas de la infraestructura de la PTAR.**

### **3.1.7 Equipos electromecánicos**

Se realizó el levantamiento de los equipos electromecánicos. El listado total de equipos, (311 en total) fue proporcionado por la empresa operadora y con base en ese listado se revisó que todos los equipos se encontraran en su sitio y se verificó su aspecto y, en los casos que fue posible, su funcionalidad. Se encontró que en general se tienen programadas revisiones periódicas mensuales o bimestrales de mantenimiento preventivo y predictivo con base en el programa de mantenimiento que elabora la propia empresa en forma anual.

En la Figura 251 se muestran algunos de los equipos electromecánicos de la PTAR, tableros del CCM y placas de los equipos.



**Figura 251. Equipos, tableros CCM y placas de equipos.**

### **3.2 Muestreo y calidad del agua residual**

Para realizar el muestreo del agua residual en la PTAR se realizó inicialmente un recorrido a las instalaciones con personal de la planta, con la finalidad de seleccionar los puntos de muestreo más adecuados y seguros.

Los puntos de muestreo seleccionados fueron el tanque de llegada del agua residual, después de las rejillas gruesas, después de las rejillas finas, después del desarenador y en el canal de salida (después del primario avanzado).

En la Tabla 99 se muestran los parámetros evaluados en cada punto, los cuales se seleccionaron de acuerdo con los parámetros de diseño de cada unidad de proceso de la PTAR. El muestreo fue realizado por el Laboratorio de Calidad del Agua, el cual es un laboratorio acreditado.

**Tabla 99. Parámetros evaluados.**

| Parámetro  | Descripción      | Influyente | Efluente Rejillas gruesas | Rejillas finas | Desarenador | Efluente primario avanzado (Canal Parshall) |
|--|------------------|------------|---------------------------|----------------|-------------|---|
|  | No. de muestras  | 1          | 1                         | 1              | 1           | 1   |
| <b>NOM-001-SEMARN AT-1996</b><br><br><b>Uso en riego agrícola (A)</b>    | pH               |            |                           |                |             |   |
|  | Temp             |            |                           |                |             |   |
|  | Materia flotante |            |                           |                |             |   |
|  | Sól. Sed.        |            |                           |                |             |   |
|  | GyA              |            |                           |                |             |   |
|  | SST              |            |                           |                |             |   |
|  | DBO              |            |                           |                |             |   |
|  | NT               |            |                           |                |             |   |
|  | PT               |            |                           |                |             |   |
|  | Metales          |            |                           |                |             |   |
|  | HH               |            |                           |                |             |   |
|  | CF               |            |                           |                |             |   |
| <b>NOM-001-SEMARNAT-2021</b><br><b>Suelo Infiltración y otros riegos</b> | DQO              |            |                           |                |             |   |
|  | Toxicidad aguda  |            |                           |                |             |   |
|  | Color verdadero  |            |                           |                |             |   |
|  | E. coli          |            |                           |                |             |   |

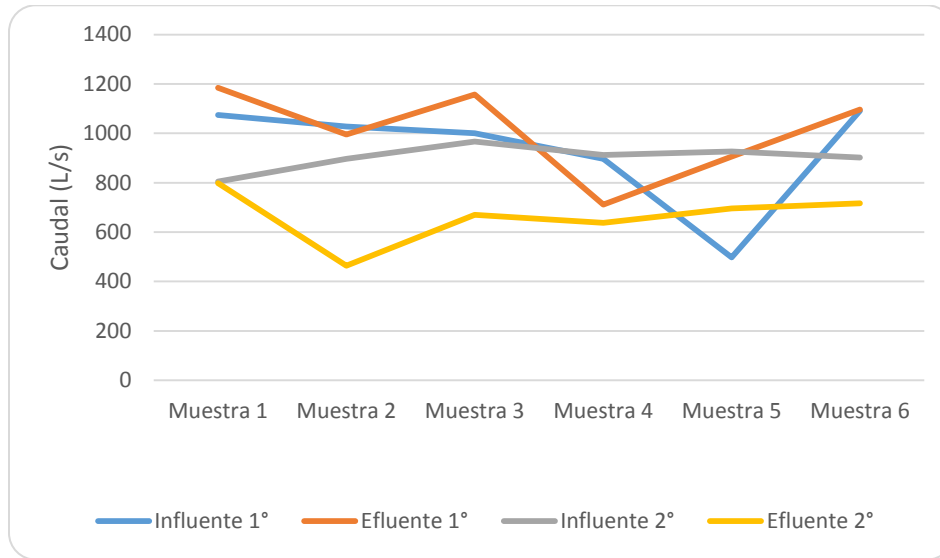
| Parámetro           | Descripción        | Influyente                        | Efluente<br>Rejillas<br>gruesas | Rejillas<br>finas | Desarenador | Efluente<br>primario<br>avanzado<br>(Canal<br>Parshall) |
|---------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------|---|
|                     | No. de<br>muestras | 1                                 | 1                               | 1                 | 1           | 1   |
| Tipo de<br>muestreo |                    | Compuesto,<br>24 h,<br>6 muestras | simple                          | Simple            | Simple      | Compuesto,<br>24 h,<br>6 muestras                       |

### 3.2.1 Resultados del muestreo compuesto

A continuación, se presentan los resultados de los análisis del laboratorio certificado que se realizaron durante la evaluación a la PTAR.

Es necesario señalar que la planta entró en “libranza” en la mañana del día en que se programó el inicio de la muestra compuesta. Es decir, la planta tuvo un corte de energía eléctrica programada con una duración de cuatro horas. Esto sin duda desestabiliza el funcionamiento de la PTAR. Si bien la primera muestra se tomó hasta que los operadores indicaron que el proceso (físicoquímico) ya se había estabilizado, es probable que esta condición si haya tenido un impacto en la muestra. Por ello se decidió llevar a cabo un segundo muestreo de influente y efluente de la PTAR, mismo que tuvo lugar en el mes de abril de 2022.

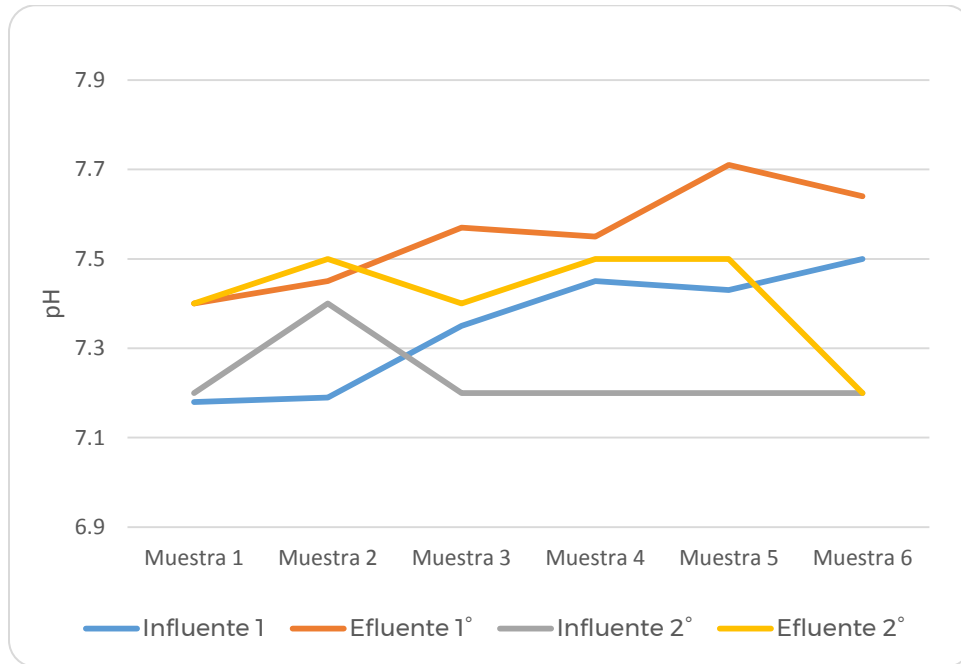
El caudal mostró una variación horaria, pero se mantuvo dentro de los límites considerados en la memoria de cálculo. El caudal máximo es ligeramente superior al caudal medio de diseño, pero no alcanza el gasto máximo. Esto último se puede explicar por ser el periodo de estiaje, por ello el caudal solo se genera por las aportaciones municipales e industriales que vierten al alcantarillado. En lo que al efluente se refiere, en el segundo muestreo el caudal es menor porque en la fecha en que se llevó a cabo ya había iniciado la venta de agua tratada a la CFE, por lo que no todo el efluente se dirige hacia la descarga registrada en el título. En la Figura 252 se muestra el comportamiento del caudal durante ambos muestreos.



**Figura 252. Comportamiento del caudal durante los muestreos.**

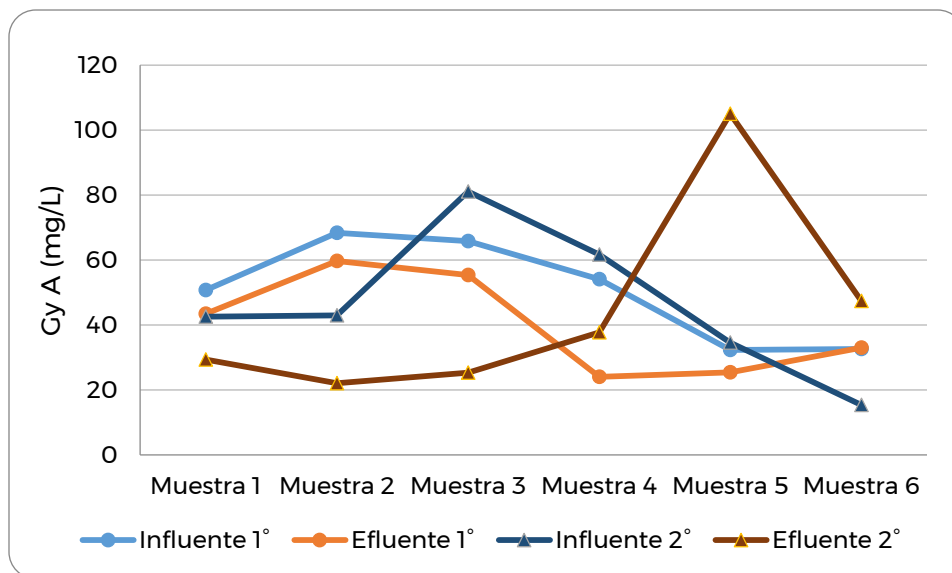
Se observa que en ambos muestreos el pH del efluente es ligeramente mayor que el del influente, lo que se explica por el uso de los reactivos en el tratamiento primario avanzado y por la capacidad “buffer” del agua residual que llega a la planta. En todos los casos el pH no excede los límites permisibles de la NOM-001-SEMARNAT ni de 1996 ni de 2021. El pH se mantiene dentro del intervalo adecuado para la proliferación de los microorganismos. En la Figura 253 se muestra el comportamiento de este parámetro en ambos muestreos.





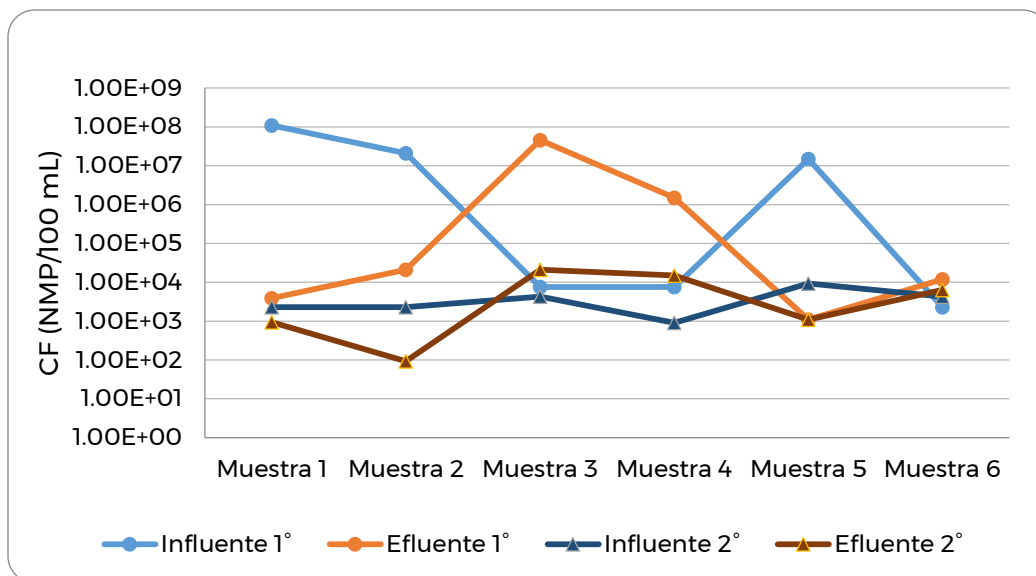
**Figura 253. Comportamiento del pH durante los muestreos.**

Las grasas y aceites que se midieron en ambos muestreos rebasan los límites permisibles de ambas ediciones de la NOM-001 (1996 y 2021). Los valores obtenidos en ambos muestreos se presentan en la Figura 254. Si bien la planta de tratamiento cuenta con dispositivos para control de grasas y aceites en los desarenadores aireados, al parecer no están siendo del todo eficaces, será necesario hacer ajustes en estas unidades de proceso.



**Figura 254. Comportamiento de las grasas y aceites durante los muestreos.**

En el caso de los coliformes fecales o *E. Coli* también se rebasan los límites permisibles en la mayoría de las ocasiones. La manera en que está concebida la PTAR y su acoplamiento con el humedal, es que este último se encargue del pulimiento del efluente, incluyendo el control microbiológico, pero esto no está ocurriendo. En la Figura 255 se presenta el comportamiento microbiológico de las corrientes.



**Figura 255. Comportamiento de los coliformes fecales en los muestreos.**

En la Tabla 24 se muestran los resultados de los dos muestreos compuestos. Se realizaron dos muestreos ya que durante el primero la planta entró en “libranza” en la mañana del día programado para iniciar el muestreo compuesto. La PTAR tuvo un corte de energía eléctrica (programado) de cuatro horas, lo cual desestabiliza el funcionamiento de la planta. Si bien la primera muestra se tomó hasta que los operadores indicaron que el proceso (físicoquímico) ya se había estabilizado, es probable que esta condición si haya tenido un impacto en el funcionamiento del sistema y, por lo tanto, en la muestra. Por ello se decidió llevar a cabo un segundo muestreo de influente y efluente de la PTAR, mismo que tuvo lugar en el mes de abril de 2022.

Se observa que hay varios parámetros cuyo valor es mayor en el efluente que en el influente, como es el caso de los sólidos suspendidos totales y la DBO<sub>5</sub>. En el primer muestreo posiblemente se deba al efecto de la desestabilización del proceso que pudo ser causada por la libranza; mientras que, en el segundo muestreo, podría deberse a descargas furtivas en el humedal “Tanque Tenorio” o a la posible resuspensión de sedimentos en dicho cuerpo de agua.

En ambos muestreos se observa que en el influente la relación DQO/DBO<sub>5</sub> (488 mg·L<sup>-1</sup>/104 mg·L<sup>-1</sup> en el primer muestreo y 684 mg·L<sup>-1</sup>/ 250 mg·L<sup>-1</sup>) es mayor que 2 (4.69 y 2.74 respectivamente), lo que indica que en el agua residual tiene una composición distinta de la doméstica típica y que puede tener componentes tóxicos o industriales (Metcalf & Eddy, 2003, pag. 97). Sin embargo, los resultados de los muestreos reportados a CONAGUA muestran valores diferentes y el operador de la PTAR, por su parte, asegura que los colectores que llevan aguas industriales no llegan a la PTAR. En la Tabla 98 se muestran los resultados de ambos parámetros y el cociente respectivo.

Los metales pesados se encuentran en concentraciones inferiores a los LMP consignados en la NOM-001-SEMARNAT-1996, aun desde el influente.

Asimismo, los huevos de helminto se encuentran en cumplimiento tanto de la NOM-001-SEMARNAT-1996 como de la NOM-001-SEMARNAT-2021 y de las condiciones contractuales entre el consorcio ARTE y la CEA SLP.

En lo referente a color verdadero, los coeficientes espectrales medidos son mayores que los límites que se establecen en la NOM-001-SEMARNAT-2021, por lo que este parámetro no se estaría cumpliendo.

**Tabla 100. Resultados de laboratorio de muestra compuesta**

| Parámetro             | Muestra compuesta |             |             |            | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Uso en riego agrícola (A) | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Suelo Infiltración y otros riegos |
|-----------------------|-------------------|-------------|-------------|------------|--|--|
|                       | Influente         | Efluente    | Influente   | Efluente   |  |  |
| pH V.I.               | 7.2 - 7.5         | 7.4 - 7.7   | 7.2 - 7.4   | 7.2 - 7.5  | 5 - 10   | 6 - 9  |
| Temperatura (°C) V.I. | 21 - 28           | 19 - 26     | 25 - 33     | 25 - 29    | NA   | 35   |
| G y A (mg/L) V.I.     | 32.3 - 68.4       | 24.1 - 59.7 | 15.4 - 81.1 | 22.1 - 105 | 15   | 15   |
| Materia flotante      | Presente          | Ausente     |             |            | Ausente  |  |

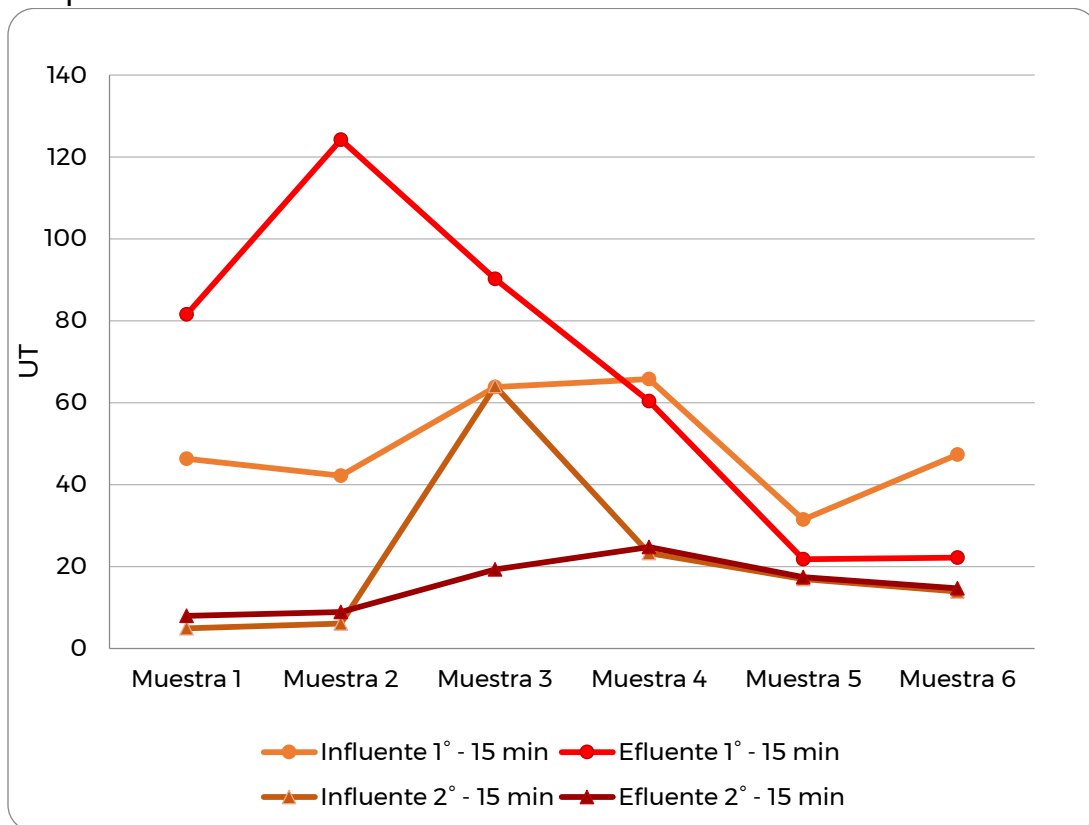
| Parámetro                                 | Muestra compuesta |                   |                |                 | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Uso en riego agrícola (A) | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Suelo Infiltración y otros riegos |
|---|-------------------|-------------------|----------------|-----------------|--|--|
|   | Influyente        | Efluente          | Influyente     | Efluente        |  |  |
| Sol. Sed. (mL/L)                          | 0.5               | 0.2               | 1.5            | 0.5             | NA   |  |
| SST (mg/L)                                | 81.7              | 90                | 103            | 76.3            | NA   | 120  |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)                   | 104               | 177               | 250            | 273             | NA   |  |
| NT (mg/L)                                 | 51.9              | 48                | 64.5           | 61.7            | NA   | NA   |
| PT (mg/L)                                 | 5.88              | 3.94              | 7.38           | 7.9             | NA   | NA   |
| CF (NMP/100 ml)                           | 2.3E03 - 1.10E08  | 1.10E03 - 4.60E07 | 9.0E01 - 4.3E3 | 9.0E02 - 2.1E04 | 2000   |  |
| <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml) V.I. | 2.3E03 - 1.10E08  | 9.30E02 - 4.6E07  | 9.0E02 - 4.3E3 | 9.3E01 - 2.1E04 |  | 500  |
| HH (NMP/100 mL)                           | 1                 | Cero              | Cero           | 0               | 1  | 1  |
| DQO (mg/L)                                | 488               | 357               | 684            | 518             |  | 150  |
| Color                                     | A 436 nm          | 3                 | 2.6            | 10.6            | 10.8   | 7  |
|   | A 525 nm          | 1.5               | 1.3            | 5.9             | 6.1  | 5  |
|   | A 620 nm          | 0.9               | 1              | 4.0             | 4.2  | 3  |
|   | al pH             | 8.14              | 8.06           | 7.52            | 7.53   |  |
| Arsénico (mg/L)                           | 0.0079            | 0.0067            | 0.0074         | 0.008           | 0.2  | 0.10   |
| Cadmio (mg/L)                             | <0.030            | <0.030            | <0.030         | <0.030          | 0.05   | 0.10   |
| Cianuros (mg/L)                           |                   |                   |                |                 | 2.0  | 1.00   |
| Cobre (mg/L)                              | <0.050            | <0.050            | <0.05          | <0.050          | 4.0  | 4.0  |
| Cromo (mg/L)                              | <0.10             | <0.10             | <0.10          | <0.10           | 0.5  | 0.50   |
| Mercurio (mg/L)                           | <0.0005           | <0.0005           | 0.0013         | <0.0005         | 0.005  | 0.005  |
| Níquel (mg/L)                             | <0.10             | <0.10             | <0.10          | <0.10           | 2.0  | 2.0  |
| Plomo (mg/L)                              | <0.10             | <0.10             | <0.10          | <0.10           | 5.0  | 0.20   |
| Zinc (mg/L)                               | 0.65              | 0.36              | 0.47           | 0.61            | 10.0   | 10.0   |

Se observa que la diferencia de valores entre el influente y el efluente es pequeña. En general los valores de los efluentes no cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 ni con la NOM-001-SEMARNAT-2021 y tampoco con

los valores contractuales pactados entre el consorcio y las autoridades locales del agua. Aquí se resalta que los valores históricos reportados son distintos y, en general, menores que los encontrados en estos dos muestreos.

De cualquier forma, es necesario llevar a cabo un seguimiento puntual de la operación para verificar el desempeño de la PTAR y, de requerirse, se puedan hacer los ajustes correspondientes al proceso para la mejora del desempeño.

Los resultados de toxicidad muestran un agua con un nivel de toxicidad ambiental importante, y se superan los límites permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Es importante recalcar que no hay una concentración apreciable de metales pesados, por lo que la toxicidad es atribuible a otra fuente. En la Figura 256 se muestran los resultados de las pruebas de toxicidad medidos en unidades de toxicidad. Todas las muestras superan el límite permisible de 2 UT.



**Figura 256. Comportamiento de la toxicidad aguda con *Vibrio fischeri* en los dos muestreos.**

Es notable que, con base en el límite permisible establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021, tanto el agua cruda como la tratada tienen un nivel de toxicidad mayor que dicho límite. Llama la atención como aumenta la intensidad de la toxicidad a lo largo del día. En las primeras muestras, ambas corrientes muestran el menor nivel de toxicidad, entre 2 y 10 unidades, a partir de la muestra 3, todos los valores son superiores a 10 unidades de toxicidad, lo que las define como agua “muy tóxica”.

Quizá el alto contenido de materia orgánica, principalmente disuelta, pudiera explicar dicho comportamiento. Sin embargo, existe la posibilidad que algunos efluentes industriales o de servicios estén vertiendo al alcantarillado alguna sustancia orgánica que le confiera toxicidad al agua. Esto tendrá que ser evaluado minuciosamente. Sin embargo, en el sistema natural de tratamiento en el que se recibe el efluente del primario avanzado, la vida prolifera.

### 3.2.2 Resultados de muestreo simple

Los resultados de los análisis puntuales que se llevaron a cabo en los puntos intermedios se presentan en la Tabla 101, y no se observan cambios apreciables con respecto a los valores de la muestra compuesta del influente. Lo que resulta evidente es que, al menos en la fecha del muestreo, el desarenador aireado no presentaba un desempeño eficaz para el control de grasas y aceites.

**Tabla 101. Resultados de los parámetros medidos en puntos intermedios**

|                               | <b>SST<br/>(mg/L)</b> | <b>G y A<br/>(mg/L)</b> | <b>DBO<sub>5s</sub><br/>(mg/L)</b> | <b>DQOs<br/>(mg/L)</b> | <b>DBO<sub>5</sub><br/>(mg/L)</b> | <b>DQO<br/>(mg/L)</b> |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Salida rejillas gruesas       | 92,9                  |                         |                                    |                        |                                   |                       |
| Salida rejillas finas         | 120                   |                         |                                    |                        |                                   |                       |
| Desarenador/<br>Desengrasador | 103                   | 40,6                    |                                    |                        |                                   |                       |
| Salida primario avanzado      |                       |                         | 64                                 | 129                    | 164                               | 219                   |

### 3.2.3 Influencia industrial

De acuerdo con la información proporcionada por el personal de la Comisión Estatal del Agua de San Luis Potosí (CEA SLP) y ARTE, la PTAR recibe aportaciones tanto de la zona industrial como de los espacios municipales. Las industrias que descargan al alcantarillado municipal lo

hacen en los colectores Españaíta, Industrias I e Industrias II, son industrias “secas” y su aportación es exclusivamente del tipo doméstico, es decir, baños y servicios. El colector Españaíta ocasionalmente causa problemas por color y grasas y aceites, pero no modifica en forma apreciable las concentraciones y se mantienen las características de un agua residual doméstica típica.

Por otro lado, los resultados de los muestreos reportados a CONAGUA muestran una relación DQO/DBO<sub>5</sub> menor que 2, lo que indica que el agua residual es biodegradable, lo cual reforzaría el hecho de que no hay presencia de descargas industriales.

Sin embargo, en los resultados obtenidos en los muestreos realizados por parte del IMTA, tanto la toxicidad del influente, como los cocientes DQO/DBO<sub>5</sub> obtenidos denotan que hay una influencia industrial o de servicios y, dada la afirmación por parte del consorcio operador de la PTAR, es posible que las aportaciones industriales sean clandestinas.

## **4 DIAGNÓSTICO DE PERSONAL**

### **4.1 Recursos Humanos**

A continuación, se presenta el resultado del análisis del personal que labora en la PTAR El Tenorio. Esta información corresponde a la obtenida a través del FORMATO 03. RECURSOS HUMANOS que se encuentra en el

## Anexo B.

La plantilla de la PTAR está conformada por 32 personas;

- 7 administrativos
- 7 operadores
- 3 jefes de turno
- 7 mantenimiento
- 6 laboratorio
- 1 coordinador de Higiene y seguridad
- 1 técnico de seguimiento y medio ambiente

De éstas, 27 (82%) tienen una antigüedad de seis a menos años. Las restantes nueve, se encuentran entre un intervalo de 6 a 15 años. Esto demuestra que desde que entró en operación la PTAR no se ha tenido continuidad en la plantilla y, aún más, es posible que hace seis años se haya renovado en su totalidad.

En resumen, se puede establecer que el personal que cuenta con estudios universitarios, son la mayoría (17), le sigue con secundaria (7), bachillerato y preparatoria (4) y universidad trunca (4), lo que quiere decir que se cuenta con la experiencia para poder trabajar en una planta de tratamiento de aguas residuales.

### **4.2 Evaluación de conocimientos**

Este apartado es resultado de la aplicación del Formato 04. Evaluación de conocimientos, de lo cual se observó lo siguiente:

- Coordinador de operación y el gerente de la planta; debido a los años de experiencia presenta muy buenos conocimientos técnicos y conoce la PTAR.
- Jefe de mantenimiento; presenta buenas bases en conocimientos básicos y generales, sus conocimientos técnicos son deficientes, pero conoce muy bien la PTAR.
- La coordinadora de laboratorio y coordinadora de higiene y seguridad; presentan buenas bases en conocimientos básicos y generales, sus conocimientos técnicos son deficientes, pero conoce muy bien la PTAR.



- Jefes de turno de PTAR; presentan conocimientos de buenos a regulares en básicos y generales, pero conoce bien la PTAR.
- Operadores de la PTAR; tienen conocimientos sobre el tratamiento de aguas residuales.

### **4.3 Capacitación**

#### **4.3.1 Cursos de capacitación recibidos**

A continuación, se citan los cursos que ha recibido, por una vez, el personal en los últimos tres años:

- Ergonomía
- Cloración y equipo de respiración autónoma
- Sistema globalizado armonizado
- Manejo de extintores
- Primeros auxilios
- Trabajos de altura
- Espacios confinados
- Instalaciones eléctricas bloqueo y candado
- Integración de comisiones mixtas de seguridad e higiene
- Manejo y manipulación de reactivos químicos
- Combate de incendios y rescate

#### **4.3.2 Temas de capacitación solicitados**

De acuerdo con la información recolectada, el personal de la PTAR mencionó algunos cursos de capacitación de su interés, los cuales se desglosan a continuación:

- Espacios confinados
- Primeros auxilios
- Equipo de respiración autónomo
- Manejo y uso de kit B
- Manejo de lugares gas cloro
- Sedimentación y flotación
- Lodos activados
- Digestión anaerobia
- Microbiología
- Operación de plantas de tratamiento de aguas residuales
- Procesos biológicos
- Digestores
- Captura de datos para balances
- Interpretación de resultados de laboratorio para toma de decisiones

- Uso correcto de arnés y línea de vida
- Filtros banda

En resumen, es necesario implementar un programa de capacitación continua y por igual a todo el personal que labora en la PTAR.

#### 4.3.3 Material didáctico entregado

Para coadyuvar en el tema de la capacitación continua, se entregó el siguiente material didáctico en la PTAR.

- g) Manuales: El contenido de cada uno de ellos se encuentra en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1m9GYeDsYFscSYAuUpRM5B/V8VBsYqT-o8?usp=sharing>
- h) Infografías
- i) Manual de ejercicios prácticos

Los Manuales constan de 6 tomos cuyas temáticas son las siguientes (Figura 257).

- m) Indicadores sensoriales
- n) Indicadores analíticos
- o) Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
- p) Calidad del agua
- q) Control del proceso
- r) Seguridad e higiene





**Figura 257. Portada de los manuales.**

Se elaboraron 15 infografías con la información de los manuales, las cuales se mencionan a continuación (Figura 258):

- ee) Arranque de una PTAR de lodos activados
- ff) Higiene y seguridad
- gg) Indicadores analíticos A
- hh) Indicadores analíticos B
- ii) Indicadores sensoriales A
- jj) Indicadores sensoriales B
- kk) Índice volumétrico de lodos
- ll) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-001-SEMARNAT-1996
- mm) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-002-SEMARNAT-1996
- nn) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-003-SEMARNAT-1997
- oo) Parámetros de calidad del agua
- pp) Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados
- qq) Problemas frecuentes en un sistema de lodos activados
- rr) Relación alimento/microorganismos
- ss) Sistema mecanizado de tratamiento de aguas residuales

# ARRANQUE DE UNA PTAR DE LODOS ACTIVADOS

## Revisión del equipo electromecánico

Realizar un listado de todos los equipos electromecánicos por unidad de proceso. Realizar una prueba de arranque y paro, verificando el giro de motores y si es posible amperaje, esto con la finalidad de que no este obstruido o pegado el motor.

## Revisión hidráulica de los tanques

Realizar el llenado de las unidades para verificar que no existan fugas o grietas en las paredes. El agua será transferida de tanque en tanque. Para realizar esta actividad es necesario contar con planos de cada una de las unidades de proceso, para señalar o marcar y describir en estos las fallas que se consideren pertinentes.

**No arrancar si faltan equipos y detalles de construcción**

El arranque de un proceso de lodos activados, se lleva a cabo y deben tomarse ciertos cuidados para lograr su estabilización, así como un buen funcionamiento del proceso. Se recomienda realizarlo en verano.

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de todos activado se puede realizar bajo dos escenarios, con y sin inoculo, siendo considerado este ultimo como una situación difícil.

### ARRANQUE SIN INÓCULO

**DÍAS**

- Introducir agua residual al reactor biológico hasta un cuarto de su capacidad y arrancar la unidad de aeración. Al no estar microorganismos en el sistema, se generará una gran cantidad de espuma.
- Llenar reactor biológico a un 50% y continuar con la aeración.
- Llenar reactor biológico a un 75% y continuar con la aeración.
- Llenar reactor biológico a un 100% y continuar con la aeración.
- Iniciar con un flujo continuo de agua residual a 25% del flujo de aire, iniciar operación en el sedimentador secundario con recirculación al 100%. Añadir 3000 L y 3000 L para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras de agua residual cruda y tratada para determinar DBO y SST, para establecer la eficiencia del proceso.
- Aumentar el flujo de agua residual al 50%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- Aumentar el flujo de agua residual al 75%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- Aumentar el flujo de agua residual al 100%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- Aumentar el flujo de agua residual al 100%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

### ARRANQUE CON INÓCULO

**Calculo de requerimiento de inoculo:**

Datos:  
El reactor biológico tendrá 3 500 m<sup>3</sup>g/L (15 kg/m<sup>3</sup> de SST-M y un volumen de 4 354 m<sup>3</sup> El inoculo proviene de la recirculación, con una concentración de 8 700 mg/L (8.7 kg/m<sup>3</sup>)

**Calculos:**  
Masa requerida = 35 kg/m<sup>3</sup> x 4 354 m<sup>3</sup> = 152 390 kg  
Volumen requerido = 152 390 kg / 8.7 kg/m<sup>3</sup> = 17 516 m<sup>3</sup>  
Se inocula con el 10% = 17 516 m<sup>3</sup>. En la practica como máximo se inoculan los tanques del 100%.

**DÍAS**

- Llenar el reactor biológico con agua residual, al máximo tiempo agregar el inoculo, y arrancar la unidad de aeración. Iniciar con un flujo de agua residual del 20% y la recirculación en el sedimentador secundario de 100%. Monitorear la formación de la espuma y controlar su desarrollo. Añadir 3000 L y 3000 L para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras de agua residual cruda y tratada para determinar DBO o DQO y SST, para establecer la eficiencia del proceso.
- Aumentar el flujo al 50%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- Aumentar el flujo al 100%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

Es difícil determinar cuándo termina el arranque y cuándo inicia la operación normal.

- Concentraciones de los parámetros de calidad del agua del efluente.
- Cambios dentro varios días, tal vez indican una operación normal.
- Presentan valores muy cercanos a los de diseño.
- Indicadores de control de operación muy cercanos a los de diseño.

# HIGIENE Y SEGURIDAD

La higiene y seguridad deben iniciarse por uno mismo y mantenerse para prevenir enfermedades y accidentes en el lugar de trabajo.

## Comité de higiene y seguridad

Las actividades del comité son:

- Realizar inspecciones
- Desarrollo del manual de higiene y seguridad
- Proporcionar y ager capacitación
- Conducir investigaciones de accidentes e incidentes

La capacitación es importante y sirve de medida preventiva contra el accidente y enfermedades.

## Programas

Los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento

- Elaboración de manuales de higiene y seguridad
- Comités de higiene y seguridad
- Capacitación en higiene y seguridad

## Medidas de higiene

### Hepatitis A

### Hepatitis B

### Influenza

### Sarampión

### Papera

### Neumonía

### Difteria

### Tétanos

**Norma Oficial Mexicana NOM-071-STPS-2009**  
Equipo de protección personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

**Objetivo:** Establecer los requisitos para la selección, uso y manejo de equipos de protección personal, para proteger a los trabajadores de los agentes de medio ambiente de trabajo que ocasionan enfermedades.

Que cubra con los requerimientos, los requerimientos de los procedimientos de trabajo para uso de equipo de protección personal.

Que esté acorde a las características físicas de los trabajadores.

Que cubra con los requerimientos, los requerimientos de los procedimientos de trabajo para uso de equipo de protección personal.

| Clase y región geográfica | Clima y esp.             | Tipo de riesgo en función de la actividad   |
|---------------------------|--------------------------|---|
| Cabeza                    | Casco contra impacto     | Evitar lesiones por golpe, que sea una posibilidad de ser transportado a una zona de actividad.   |
| Ojos y cara               | Antifaz                  | Riesgo de proyección de partículas, líquidos o productos.   |
| Oídos                     | Tapones                  | Exposición a ruidos que ocasionen pérdida de audición.  |
| Manos                     | Gaunas                   | Exposición a agentes biológicos, químicos o físicos que ocasionen lesiones o enfermedades.        |
| Respiración               | Respirador contra polvos | Exposición a agentes biológicos, químicos o físicos que ocasionen lesiones o enfermedades.        |
| Extremidades superiores   | Guantes                  | Riesgo por proyección de gases, líquidos, sólidos, etc., que ocasionen lesiones o enfermedades.   |
| Tronco                    | Overol                   | Exposición a agentes biológicos, químicos o físicos que ocasionen lesiones o enfermedades.        |
| Extremidades inferiores   | Bata o overol            | Riesgo por la presencia de gases, líquidos, sólidos, etc., que ocasionen lesiones o enfermedades. |

La mejor defensa contra infecciones virales y bacterianas es la observación de prácticas de higiene personal, por lo que se debe:

- Mantener manos y dedos lejos de la nariz, boca, ojos eídos.
- Usar guantes de hule cuando se toquen bombas o equipos, se maneje agua residual, refrega, todos o arena, o áreas donde se involucre contacto directo con las aguas residuales o lodos.
- Lavarse las manos con jabón, cubiéndolas con agua caliente, antes de comer o fumar y después de terminar los trabajos.
- Se recomienda al uso de guantes para manipular una parte grande de calce y limpiar y para la ropa de trabajo.
- Evitar fumar.
- Evitar fumar.
- Bañarse al finalizar su turno de trabajo.

# INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para: Monitorar el funcionamiento de la PTAR, Conocer la eficiencia del proceso, Resolver problemas operacionales.

### DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (degradar) la materia orgánica.

Es la materia orgánica biodegradable (alimento) que entra y sale de la PTAR.

El consumo de DBO (DBO) indican que la PTAR opera bien. Si los parámetros durante un largo periodo de tiempo para establecer su tendencia o comportamiento.

Con esta relación, y determinando el DBO de cada día, se puede calcular la cantidad de alimento que entra y los microorganismos presentes en el reactor biológico.

### FLUJO DE AGUA

El operador tiene al control de la cantidad de agua que ingresa a la PTAR.

- Se emplea para el control del proceso para calcular: gases orgánicos, AM, TMO, TDR, fuente de recirculación y purga de lodos y clasificación de productos químicos.
- Contar con un "log" para cualquier muestra al día.
- Se debe contar con un equipo medidor de gases continuo.

### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que se requieren para oxidar la materia orgánica por medio químicos.

En la materia orgánica oxidable que entra y sale de la PTAR. La relación DBO/DQO se obtiene mencionando los dos parámetros durante un largo periodo de tiempo para establecer su tendencia o comportamiento.

Con esta relación, y determinando el DQO de cada día, se puede calcular la cantidad de alimento que entra y los microorganismos presentes en el reactor biológico.

El DQO es un índice de carga orgánica biodegradable. Tratamiento biológico.

### GRASAS Y ACEITES

En suaves a los microorganismos, interfieren con la transferencia de materia orgánica soluble a través de su pared celular, por lo cual mueren por falta de alimento.

Cy a entre 100 y 150 mg/l, empiezan a los lodos a la superficie del sedimentador secundario.

Cy a 150 mg/l, se presenta aglomeración de lodos en el reactor biológico, lo que ocasiona pérdida de SST y una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica.

### TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

Tiempo que permanece cierta cantidad de agua en un tanque.

En el tanque de aeración los microorganismos necesitan tiempo de retención para sobrevivir y degradar la materia orgánica soluble.

| Unidad               | Mayor   | Menor   |
|----------------------|---|---|
| Diseño               | Retención orgánica. Cantidad mínima de tiempo de sedimentación. | Bajas eficiencias. Se reduce el DBO de sedimentación.               |
| Operación secundaria | De 4 a 6 horas. Ancho SST en el efluente.                       | El lodo no tiene tiempo de sedimentación. Ancho SST en el efluente. |

# INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para: Monitorar el funcionamiento de la PTAR, Conocer la eficiencia del proceso, Resolver problemas operacionales.

### TEMPERATURA

Rango óptimo para la actividad bacteriana aerobia: 25 - 32°C.

| Actividad   | Alta | Baja |
|-------------|------|------|
| Temperatura | Alta | Baja |

El aire de un aspirador puede incrementar la temperatura del agua residual a 30°C. Si el agua puede salir alrededor de los 100°C.

### OXÍGENO DISUELTUO (OD)

De 1 a 2 mg/L, OD residual satisfactorio al ingreso de una carga orgánica alta.

La falta de un OD residual, inhibe la actividad microbiana y disminuye la remoción de materia orgánica.

Un OD residual mayor a 5 mg/L, afecta negativamente la sedimentación secundaria, ya que la mezcla rompe los flocos, esta situación desperdicia energía y dinero.

### pH

Rango óptimo para asegurar la actividad y el desarrollo de los microorganismos en tanque de aeración: 6.5 - 8.5 unidades.

Por arriba o por abajo de 5.0 o 10.0 unidades la población biológica muere.

En un proceso que neutraliza se espera un descenso de pH 0.2 a 0.5 unidades, antes el agua de entrada y la de salida.

| Actividad de microorganismos                          | Alta | Baja |
|---|------|------|
| Consumo de oxígeno lento y rápidamente se hace ácido. | Alta | Baja |
| Consumo de oxígeno lento y rápidamente se hace ácido. | Baja | Alta |

### CONSUMO DE OXÍGENO

Permite conocer la actividad microbiana en el reactor biológico al medir la velocidad de consumo de oxígeno.

A) Actividad microbiana alta o ingreso una alta carga orgánica o hay demasiados microorganismos.

B) Comportamiento ideal, consumo en los primeros minutos alto, consumo en el tiempo se estabiliza y al llegar a un valor de cero.

C) Consumo de oxígeno lento y rápidamente se hace ácido, indica presencia de pocos microorganismos, o una toxicidad crítica que limita las reacciones.

D) Si no existe consumo de oxígeno, la actividad microbiana es nula, indica que ocurrió una toxicidad aguda.

### SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y VOLÁTILES

Los SST se emplean para los ajustes de recirculación y de purga de lodos.

Los SV indican indirectamente la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de aeración. Los SV se emplean para calcular la relación alimento/microorganismos (A/M) y el tiempo medio de retención celular (TMR).

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Material flotante

- Indicador de altas concentraciones de grasas y aceites.
- Interfiere con la sedimentación y puede causar bajas eficiencias de remoción de DBO.

### Acumulación de sólidos

- Su origen se debe a una operación ineficiente del desarenador o del sedimentador primario o secundario.
- Reduce el volumen efectivo de las unidades de proceso afectando su eficiencia.
- Generan zonas anaerobias que provocan problemas de sedimentación y mal olor.

### Traectoria de flujos

- La observación de la trayectoria del flujo se utiliza para detectar cortocircuitos.
- Los cortocircuitos son visibles al observar el movimiento de la espuma, sólidos suspendidos o material flotante.
- Problemas: reducción de tiempos de retención hidráulico, generando operación inadecuada.

### Mezcla y turbulencia

- Un tanque bien mezclado presenta uniformidad de concentraciones en todo su volumen.
- Indicadores de mezclado en el reactor biológico: Formación de depósitos de sólidos en las esquinas. Zonas con concentraciones de O<sub>2</sub> de cero. Diferencia de concentraciones entre zonas en O<sub>2</sub> o de SS.
- Turbulencias no uniformes o de baja turbulencia pueden ser causadas por: Difusores obstruidos. Difusores dañados. Exceso de aeración.

### Burbujeo

- En el sedimentador secundario indican que el lodo tiene mucho tiempo de recirculación (identificación) o debe incrementar la recirculación de lodo.
- En canales, desarenadores y tanque de contacto de color con limpieza deficiente se presenta acumulación de sólidos y condiciones anaerobias, que generan burbujas y arrastre de sólidos.

gob.mx/imta

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Color

- Lodo activado aerado en buenas condiciones: Color café achocolatado.
- Es un indicativo del estado de salud del lodo.
- Las condiciones de alimento proporcionan diferentes tonalidades.
- Las condiciones ambientales le dan diferente tono de color café.

|                   |                |
|-------------------|----------------|
| Café achocolatado | Edad adecuada  |
| Café claro        | Lodo joven     |
| Café oscuro       | Lodo maduro    |
| Grisáceo-negro    | Lodo anaerobio |

### Olor

- Una PTAR bien operada no genera malos olores.
- Un proceso de lodos activados saludable tiene un ligero olor a humedad (tierra mojada).
- Un lodo séptico, cambia su color a oscuro y el olor es similar al del huevo podrido.

### Tacto

- Una temperatura o vibración excesiva en equipos electromecánicos y tuberías advierten un mal funcionamiento.

### Algas

- Su crecimiento en las paredes de los tanques o en las cañaleras recolectoras indica que altos niveles de nutrientes.

### Turbiedad del efluente

- Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario o en el tanque de contacto de color indican un mal funcionamiento de la PTAR.

### Espuma

- Color café oscuro: Se puede presentar en el reactor biológico y en el sedimentador secundario y se debe a un alto contenido de grasas y aceites que encapsulan a los microorganismos y los flotan.
- Color café claro: Los niveles de sólidos no son adecuados. El lodo no tiene la edad requerida, es joven.
- Color blanco: En tanque de regulación, reactor biológico y afluente alta concentración de detergentes. Es una condición específica del arranque de una planta. Se presenta en los reactores por las mañanas y con mayor impacto en invierno, debido a que la temperatura afecta la actividad metabólica de los microorganismos y no degradan los detergentes.

|                               |                                      |                          |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Presencia de grasas y aceites | Presencia de microorganismos jóvenes | Presencia de detergentes |
| Arranque o estabilización     | Ausencia de microorganismos          | Baja temperatura         |

gob.mx/imta

# ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)

- IVL (mL/g) = Volumen de lodos sedimentados (mL/L) / concentración de SSTLM (g/L)
- El volumen de lodos sedimentados se determina en una probeta de 1 L después de 30 minutos
- Los valores de IVL están comprendidos dentro del intervalo 150 a 35 mL/g

| Tiempo (min) | IVL (mL/g) - Demasiado joven | IVL (mL/g) - Edad adecuada | IVL (mL/g) - Demasiado viejo |
|--------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 0            | 1000                         | 1000                       | 1000                         |
| 5            | 850                          | 750                        | 550                          |
| 10           | 750                          | 600                        | 400                          |
| 15           | 650                          | 500                        | 300                          |
| 20           | 600                          | 450                        | 250                          |
| 25           | 550                          | 400                        | 220                          |
| 30           | 500                          | 350                        | 200                          |

**Demasiado joven**

- Aumentar la recirculación
- Eliminar la purga

**Edad adecuada**

**Demasiado viejo**

- Reducir al mínimo la recirculación
- Aumentar la purga

- Se registra el volumen del lodo cada 5 minutos
- Los datos se graficarán para obtener una curva de sedimentabilidad que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el reactor biológico.
- Durante la prueba se podrá apreciar la forma del floculo, su color y olor
- El aspecto final de la prueba da una idea de lo que se espera en el sedimentador secundario
- La información de esta prueba ayudará a conocer el comportamiento del sistema y a detectar problemas operacionales.

gob.mx/imta

# NORMATIVA MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

## NOM-001-SEMARNAT-1996

• Que establezca los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

• Con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

| LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS |                           |                        |                                 |                                   |                        |                                 |   |                |               |                           |                         |                           | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS |                        |                                 |                           |                                   |                                 |   |                |               |                           |                         |                           |                        |                                 |
|--|---------------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------|---|----------------|---------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|---|------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---|----------------|---------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------------|
| PARÁMETROS   | RÍOS                      |                        |                                 | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES |                        |                                 | AGUAS COSTERAS                                    |                |               | SUELO                     |                         |                           | PARÁMETROS (*)  | RÍOS                   |                                 |                           | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES |                                 |   | AGUAS COSTERAS |               |                           | SUELO                   |                           |                        |                                 |
|  | Uso en riego agrícola (A) | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C) | Uso en riego agrícola (A)         | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C) | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B) | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) | Uso en riego agrícola (A) |   | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C) | Uso en riego agrícola (A) | Uso público urbano (B)            | Protección de vida acuática (C) | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B) | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) | Uso en riego agrícola (A) | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C) |
| Miligramos por litro, excepto cuando se especifique    | PM                        | PD                     | PM                              | PD                                | PM                     | PD                              | PM  | PD             | PM            | PD                        | PM                      | PD                        | PM  | PD                     | PM                              | PD                        | PM                                | PD                              | PM  | PD             | PM            | PD                        | PM                      | PD                        | PM                     | PD                              |
| Temperatura (°C) (1)                                   | N.A.                      | N.A.                   | 40                              | 40                                | 40                     | 40                              | 40  | 40             | 40            | 40                        | 40                      | 40                        | 40  | 40                     | 40                              | 40                        | 40                                | 40                              | 40  | 40             | 40            | 40                        | 40                      | 40                        | 40                     | 20                              |
| Grasas y Aceites (2)                                   | 15                        | 25                     | 15                              | 25                                | 15                     | 25                              | 15  | 25             | 15            | 25                        | 15                      | 25                        | 15  | 25                     | 15                              | 25                        | 15                                | 25                              | 15  | 25             | 15            | 25                        | 15                      | 25                        | 15                     | 20                              |
| Materia flotante (3)                                   | Ausente                   |                        |                                 |                                   |                        |                                 |   |                |               |                           |                         |                           |   |                        |                                 |                           |                                   |                                 |   |                |               |                           |                         |                           |                        |                                 |
| Sólidos Sedimentables (mN)                             | 1                         | 2                      | 1                               | 2                                 | 1                      | 2                               | 1   | 2              | 1             | 2                         | 1                       | 2                         | 1   | 2                      | 1                               | 2                         | 1                                 | 2                               | 1   | 2              | 1             | 2                         | 1                       | 2                         | 1                      | 2                               |
| Sólidos Suspensos Totales                              | 150                       | 200                    | 75                              | 125                               | 40                     | 60                              | 75  | 125            | 40            | 60                        | 150                     | 200                       | 75  | 125                    | 75                              | 125                       | 75                                | 125                             | N.A.  | N.A.           | 75            | 125                       | N.A.                    | N.A.                      | 75                     | 125                             |
| Demanda Bioquímica de oxígeno restringido total        | 40                        | 60                     | 40                              | 60                                | 15                     | 25                              | 40  | 60             | 15            | 25                        | N.A.                    | N.A.                      | N.A.  | N.A.                   | 15                              | 25                        | N.A.                              | N.A.                            | N.A.  | N.A.           | N.A.          | N.A.                      | N.A.                    | N.A.                      | N.A.                   | N.A.                            |
| Fósforo total  | 20                        | 30                     | 20                              | 30                                | 5                      | 10                              | 20  | 30             | 5             | 10                        | N.A.                    | N.A.                      | N.A.  | N.A.                   | 5                               | 10                        | N.A.                              | N.A.                            | N.A.  | N.A.           | N.A.          | N.A.                      | N.A.                    | N.A.                      | N.A.                   | 20                              |
| Zinc total   | 10                        | 20                     | 10                              | 20                                | 10                     | 20                              | 10  | 20             | 10            | 20                        | 10                      | 20                        | 10  | 20                     | 10                              | 20                        | 10                                | 20                              | 10  | 20             | 10            | 20                        | 10                      | 20                        | 10                     | 20                              |

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Ducha definido en la NMX-AA-005

N.A.: No es aplicable

(4), (5) y (6): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

(\*) Medida de manera total.

• Para determinar la contaminación por patógenos: Coliformes Fecales, LMP para descargas a aguas y bienes nacionales y para las vertidas al suelo (riego agrícola):  
 • pH de 5 a 10  
 • 1000 NMP/100 ml como P.M.  
 • 2000 NMP/100 ml como P.D.

• Para determinar la contaminación por parásitos: Huevos de Helminto, LMP para descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola):  
 • 1 H.H. para riego no restringido (CUALQUIER CULTIVO)  
 • 5 H.H. para riego restringido (excepto legumbres y verduras que se consumen crudas)

## NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

### NOM-002-SEMARNAT-1996

• Que establezca los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal

• Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.



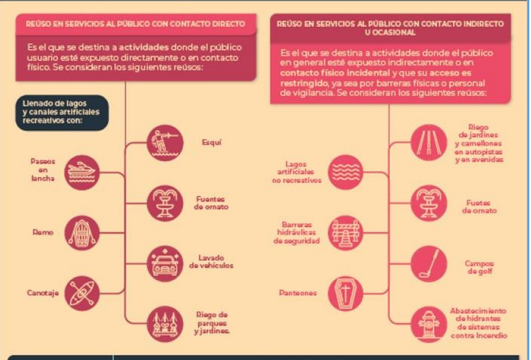
| Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES |                 |             |
|---|-----------------------------|-----------------|-------------|
|   | Promedio mensual            | Promedio diario | Instantáneo |
| Grasas y aceites  | 50                          | 75              | 100         |
| Sólidos sedimentables (mililitros por litro)                          | 5                           | 7.5             | 10          |
| Arsénico total  | 0.5                         | 0.75            | 1           |
| Cadmio total  | 0.5                         | 0.75            | 1           |
| Cianuro total   | 1                           | 1.5             | 2           |
| Cobre total   | 10                          | 15              | 20          |
| Cromo hexavalente   | 0.5                         | 0.75            | 1           |
| Mercurio total  | 0.01                        | 0.015           | 0.02        |
| Níquel total  | 4                           | 6               | 8           |
| Plomo total   | 1                           | 1.5             | 2           |
| Zinc total  | 6                           | 9               | 12          |

## NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

### NOM-003-SEMARNAT-1997

• Que establezca los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúnen en servicios al público

• Con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.



| TIPO DE REUSO   | PROMEDIO MENSUAL               |                          |                         |                         |            |
|---|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
|   | Coliformes Fecales (MPN/100ml) | Huevos de Helminto (P/N) | Grasas y aceites (mg/l) | DBO <sub>5</sub> (mg/l) | SST (mg/l) |
| Servicios al público con contacto directo               | 240                            | ≤ 1                      | 15                      | 20                      | 20         |
| Servicios al público con contacto indirecto u ocasional | 1,000                          | ≤ 5                      | 15                      | 30                      | 30         |

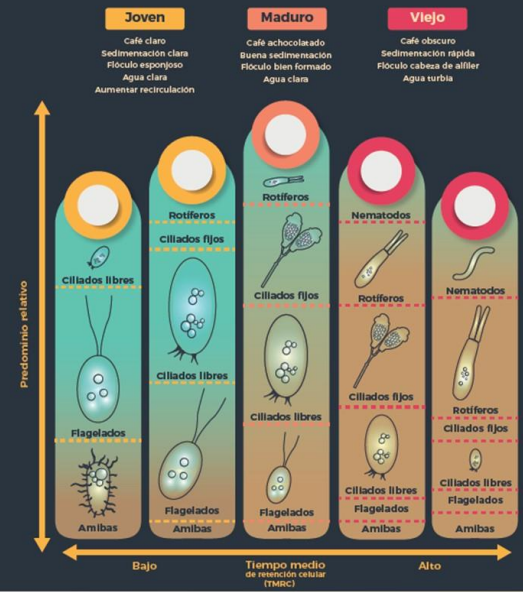
• La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada.

• El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

## PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

| PARÁMETRO                      | ABREVIACIÓN  | IMPORTANCIA  |   |
|--------------------------------|--|--|---|
| Sólidos totales                | ST   | Para evaluar el costo potencial de un agua residual y residual tratada y determinar el posible tipo de operación o proceso para su tratamiento.  |   |
| Sólidos volátiles totales      | SVT  |  |   |
| Sólidos fijos totales          | SFT  |  |   |
| Sólidos suspendidos totales    | SST  |  |   |
| Sólidos suspendidos volátiles  | SSV  |  |   |
| Sólidos suspendidos fijos      | SSF  |  |   |
| Sólidos disueltos totales      | SDT  |  |   |
| Sólidos disueltos volátiles    | SDV  |  |   |
| Sólidos sedimentables          | SSed   |  | Su determinación es por gravedad por un periodo específico de tiempo. |
| Turbiedad                      |  |  | USO: para evaluar la calidad del agua residual tratada.               |
| Color                          |  | Para evaluar las condiciones del agua.   |   |
| Oloro                          |  | Para determinar si el olor puede ser un problema. Es importante en el diseño y operación de procesos de tratamiento biológico.   |   |
| Temperatura                    |  | Empleada para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.  |   |
| Conductividad                  | CE   |  |   |
| Amoníaco libre                 | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>   | Empleados como una medida de nutrientes presentes y del grado de descomposición en el agua residual. Las formas oxidadas pueden ser tomadas como una medida del grado de oxidación.  |   |
| Nitrógeno orgánico             | N Org  |  |   |
| Nitrógeno total kjeldahl       | NTK  |  |   |
| Nitratos                       | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>   |  |   |
| Nitrógeno total                | NT   |  |   |
| Fósforo inorgánico             | P Inorg  |  |   |
| Fósforo total                  | PT   |  |   |
| Fósforo orgánico               | P Org  |  |   |
| pH                             |  | Importante para el desarrollo de los microorganismos en un proceso de tratamiento biológico.   |   |
| Alcalinidad                    |  | Una medida de la capacidad de amortiguamiento del agua en un proceso de tratamiento.   |   |
| Cloruro                        | Cl   | Empleado para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.  |   |
| Sulfato                        | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>  | Para evaluar la potencialidad de generar olores y su impacto en el tratamiento de lodos residuales.  |   |
| Metales                        | Ag, As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mn, Ni, Ni <sub>2</sub> , K, Mo, N, Ni, Se, Na, Zn | Para evaluar la posibilidad de metales que el agua residual tratada y sus efectos tóxicos en el tratamiento. Concentraciones altas pueden ser importantes para el desarrollo de los microorganismos en un tratamiento biológico. |   |
| Demanda bioquímica de oxígeno  | DBO  | Cantidad de oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica biodegradable.  |   |
| Demanda química de oxígeno     | DQO  | A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO. Puede ser usado junto con la DBO para determinar la materia orgánica no biodegradable.  |   |
| Carbón orgánico total          | COT  | A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO.   |   |
| Toxicidad                      |  | Toxicidad aguda o crónica ocasionada por presencia de metales o COV.   |   |
| Compuestos orgánicos volátiles | COV  | Para determinar la presencia de compuestos orgánicos específicos y evaluar si se necesitan medidas especiales de diseño para su remoción.  |   |
| Organismos coliformes          | CT, CF   | Para evaluar la presencia de bacterias patógenas y la efectividad del proceso de desinfección.   |   |
| Microorganismos específicos    | Bacterias, protozoarios, helmintos, virus  | Evaluación de la presencia de organismos específicos en un proceso de tratamiento biológico.   |   |

## Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados

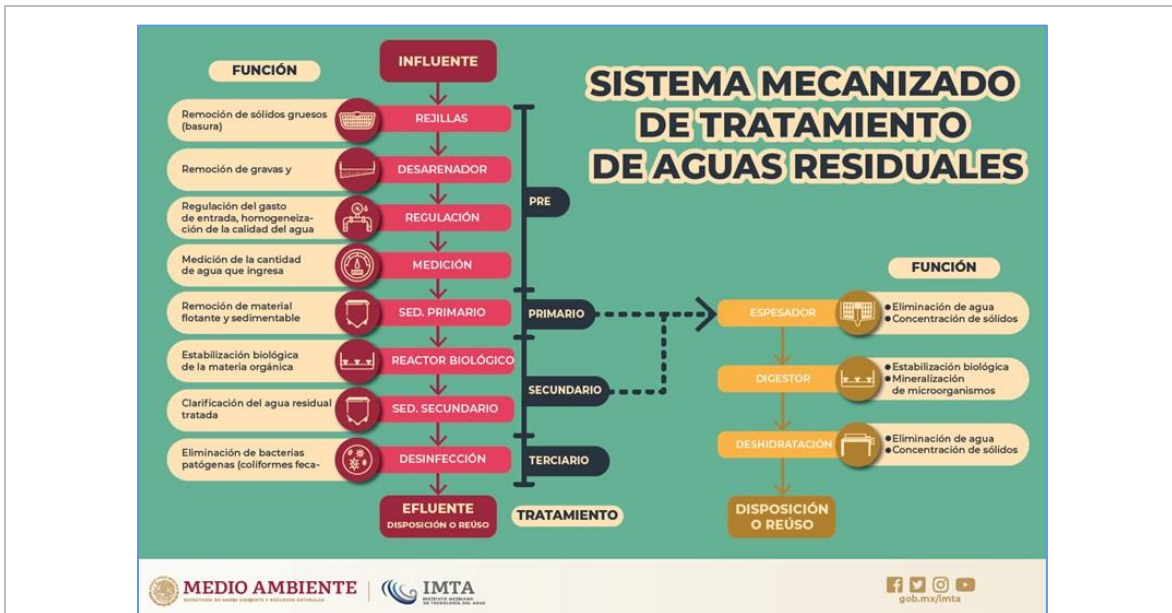


## PROBLEMAS FRECUENTES EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

| Problema  | Causas   | Observación  |
|---|--|--|
| Efluente turbio, ausencia de flocos sedimentables o dispersos en el medio o esponjosos  | Alta A.M. elevada temperatura de entrada, fase inicial del sistema, elevada DBO                            | Ausencia de flocos, células dispersas en el medio líquido, no ocurre biofloculación  |
| Pérdida permanente de pequeños flocos con el efluente final, IVL bajo (<100 mL/g)   | Excesiva turbulencia o tiempo de retención celular elevado, lodo mineralizado, baja F/M                    | Flocos muy pequeños, débiles, como cabeza de alfiler   |
| Estrato de lodo espeso en la superficie del sedimentador  | Surgimiento del lodo desde el fondo del sedimentador por desnitrificación, exceso de turbulencia, algas    | Flocos ricos en burbujas de gas con o sin filamentos, espuma y lodo de igual aspecto   |
| Espuma sutil, blanquecina, inestable sobre la superficie del agua   | Presencia de sustancias difícilmente biodegradables, tensoactivas  | Ninguna influencia sobre las estructuras de los flocos   |
| Espuma espesa amarillada, estable principalmente en el tanque aerobio   | Presencia de bacterias filamentosas u hongos actinomicetos. Formación de espuma                            | Espuma rica de <i>Nocardia</i> , <i>Microthrix parvicella</i> o Tipo 1863  |
| Lodo de consistencia gelatinosa, IVL alto, espuma grisácea en el tanque aerobio, pérdida de flocos en el efluente final   | Aglomerado viscoso o no filamentosos, carencia de nutrientes y alto F/M                                    | Flocos ricos en formas zoogeales y presencia de poliacrilatos y exocelulares evidenciados con la prueba de tinta china. Presencia de <i>Thauzen</i> sp.  |
| IVL alto o muy alto (>150 mL/g), dificultad para separar fase líquida de sólida, inicio con un efluente limpio de excelente calidad hasta la pérdida masiva de flocos. Lodo de recirculación poco concentrado | Presencia de bacterias filamentosas en exceso. Las causas varían en relación al tipo de organismo presente | Flocos con crecimiento de filamentosos desde la periferia hacia el líquido circundante, puentes entre flocos o filamentosos creciendo en el interior y definiendo la forma de los flocos, o en tramas que dejan espacios vacíos en su estructura |

## RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS





**Figura 258. Infografías.**

En el Manual de ejercicios prácticos (Figura 259) se presentan una serie de ejercicios prácticos que están clasificados por niveles, de tal manera que el operador podrá resolverlos inicialmente por él mismo. Posteriormente, la complejidad de los ejercicios le requerirá hacer uso de materiales de apoyo, o recurrir a sus colegas para dar una solución adecuada, y finalmente en un nivel superior, para poder resolver el ejercicio tendrá que recurrir a la ayuda del instructor.

Para la ejecución de estos ejercicios se hará uso de:

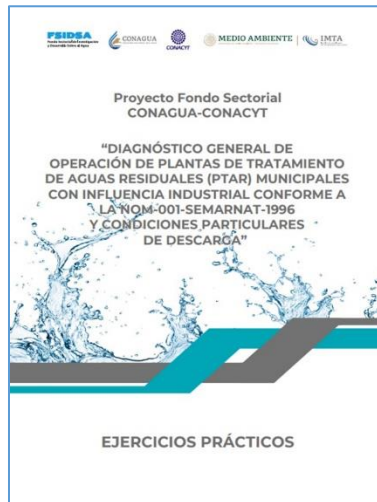
- Preguntas de opción múltiple
- Preguntas directas
- Presentación de problemas operacionales
- Preguntas de reflexión, con problemas que desde un punto de vista pueden presentar múltiples interacciones entre los procesos.

Estos ejercicios están relacionados a su vez con conocimientos generales, teóricos y prácticos de la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por lo anterior, lo que pretende este manual es que el operador al final cuente con los conocimientos que le permita discernir los niveles de problemas operacionales que se pueden presentar en una PTAR y, a su vez,

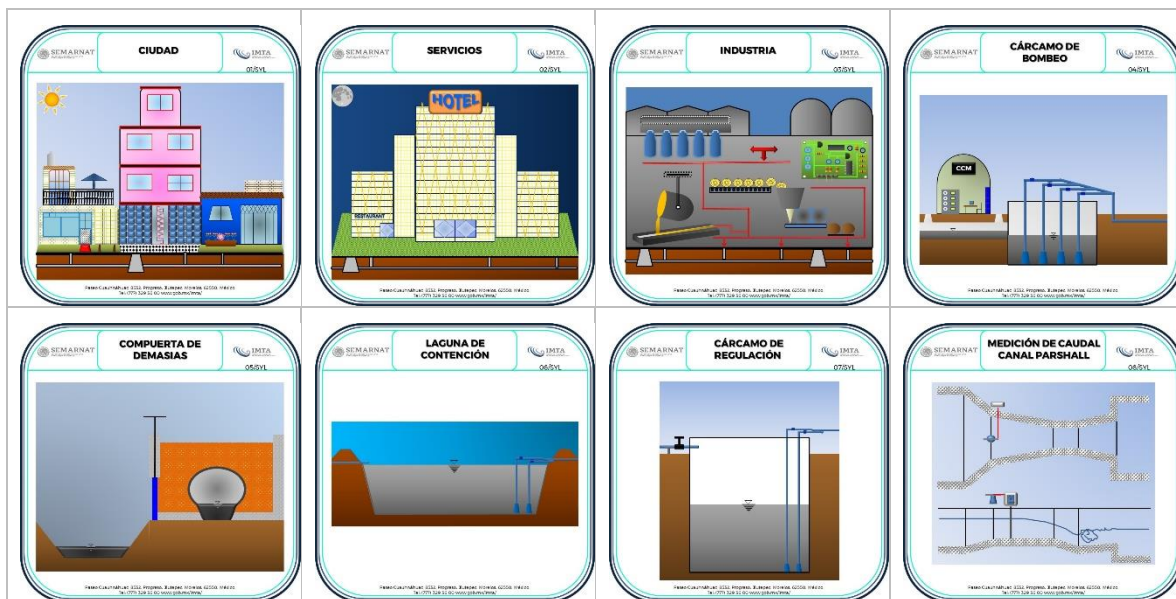


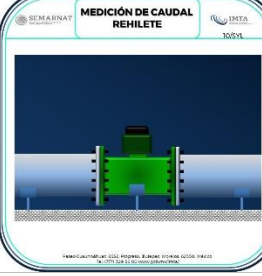
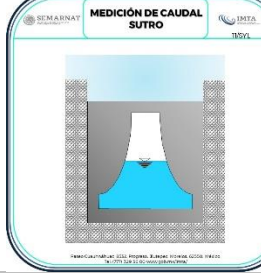

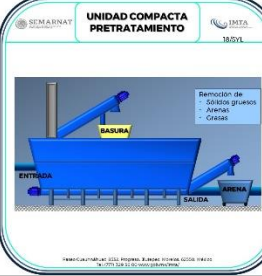
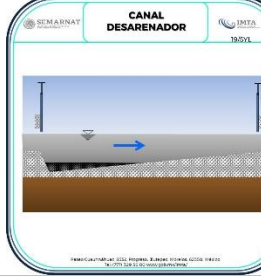
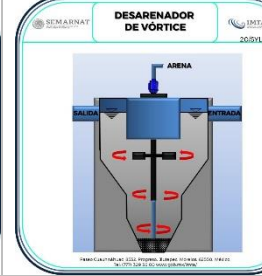
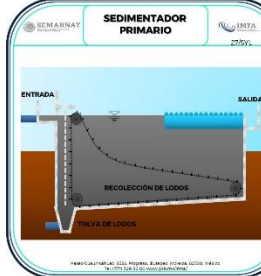
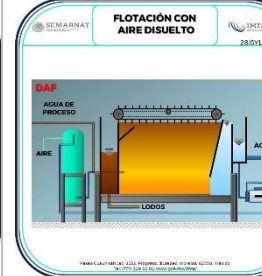
tener una herramienta que le permita jerarquizarlos para obtener la mejor y correcta solución.

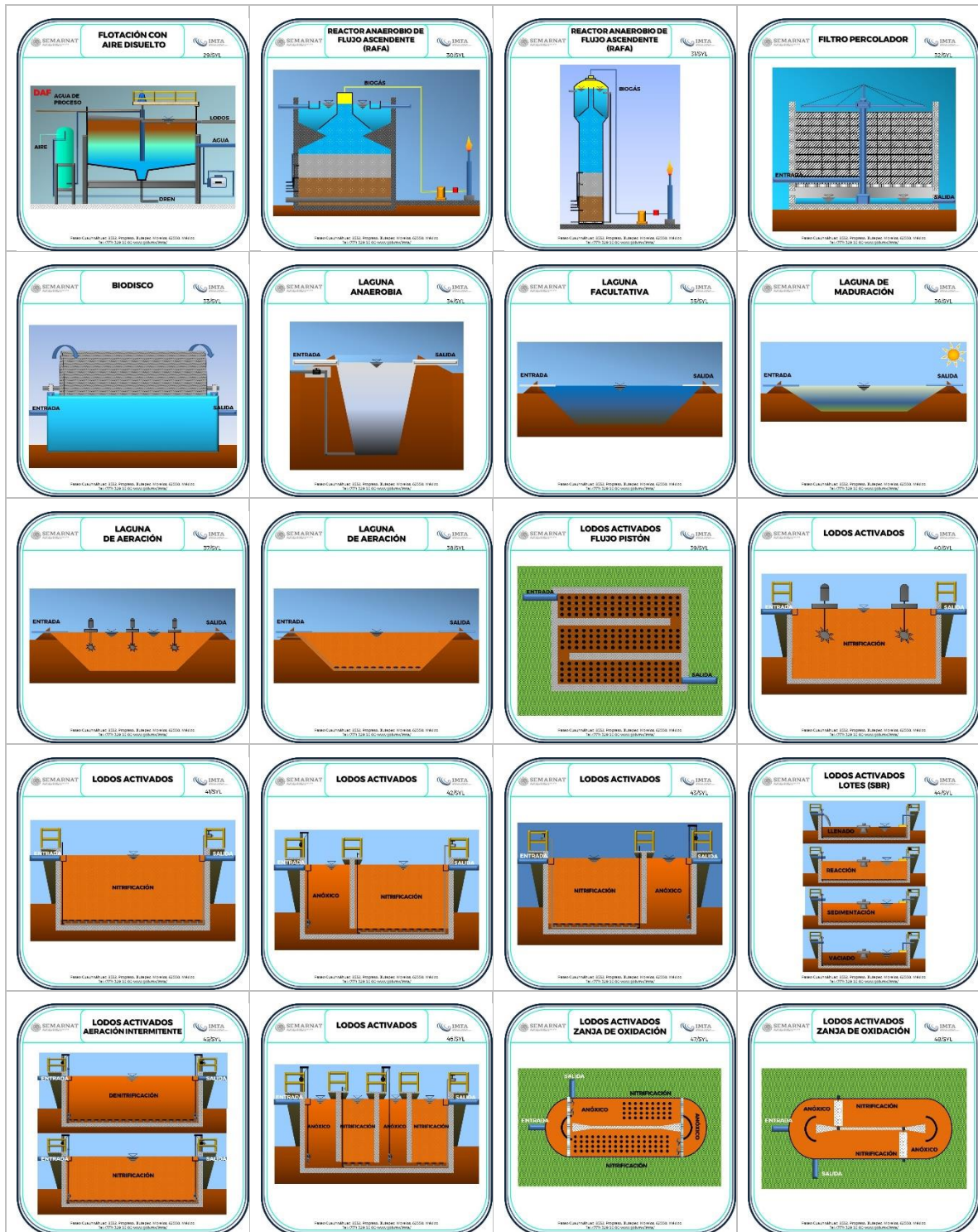


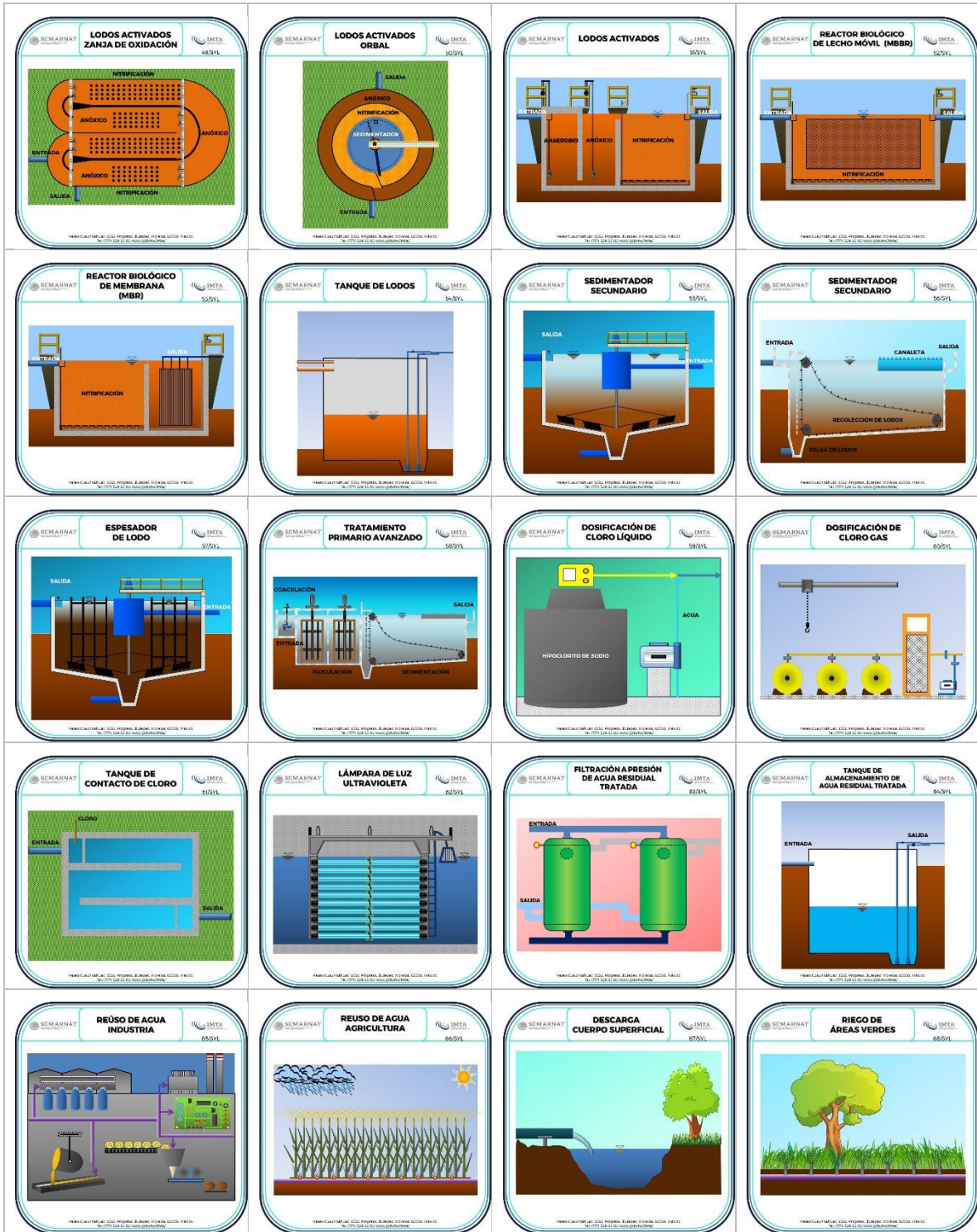
**Figura 259. Manual de ejercicios prácticos.**

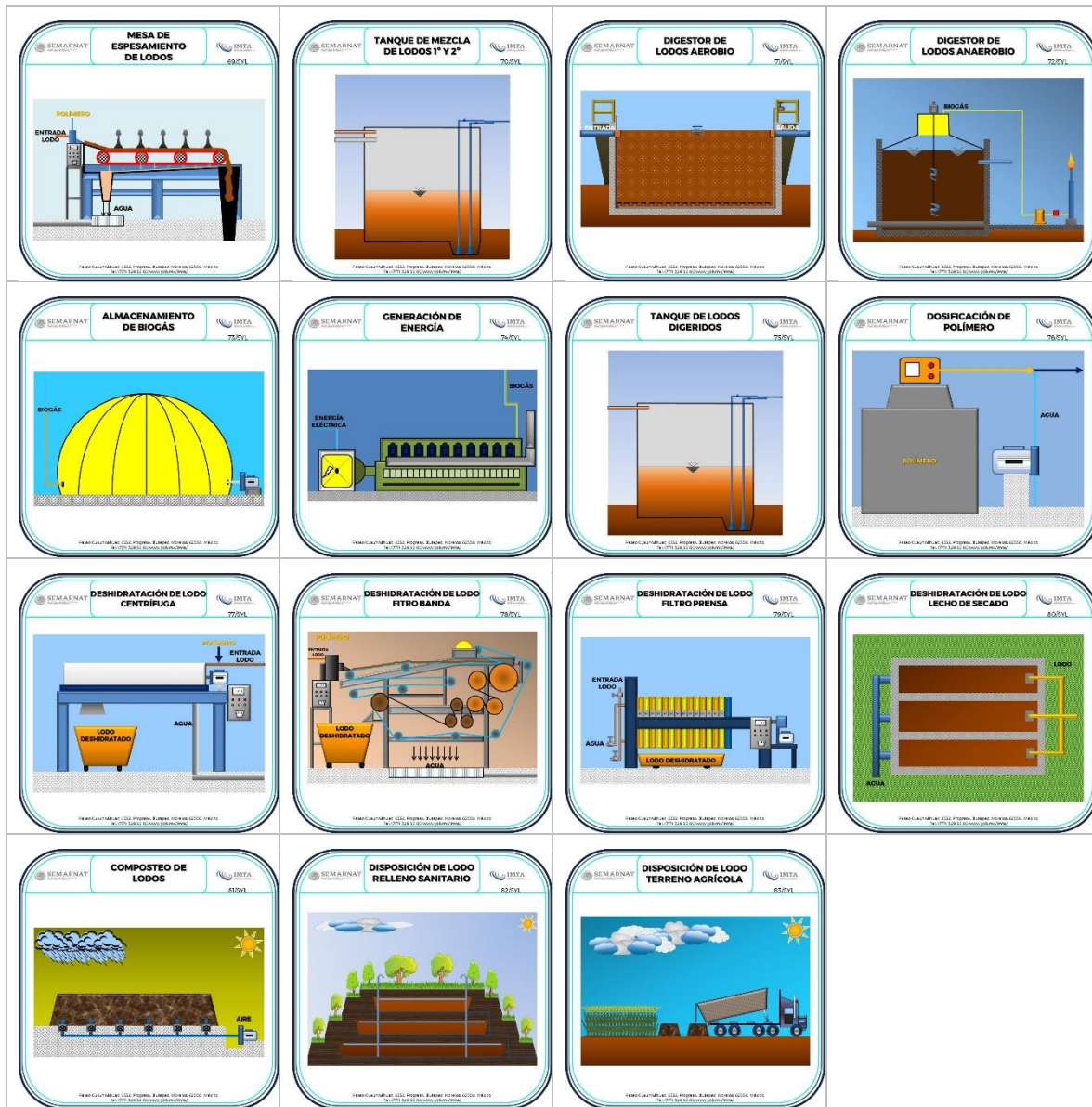
Este manual va acompañado de un kit de imágenes (Figura 260) que representan todos los posibles procesos que pueden estar presentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.



|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
|  <p><b>MEDICIÓN DE CAUDAL ULTRASONICO</b> 98/01L</p> |  <p><b>MEDICIÓN DE CAUDAL REHILETE</b> 100/01L</p>     |  <p><b>MEDICIÓN DE CAUDAL SUTRO</b> 105/01L</p> |  <p><b>REJILLAS MANUALES</b> 120/01L</p>            |
|  <p><b>REJILLAS MECÁNICAS GRUESAS</b> 155/01L</p>    |  <p><b>REJILLAS MECÁNICAS MEDIANAS</b> 160/01L</p>     |  <p><b>REJILLAS MECÁNICAS FINAS</b> 165/01L</p> |  <p><b>REJILLAS DE TAMBOR ROTATORIO</b> 165/01L</p> |
|  <p><b>REJILLAS ESTÁTICAS</b> 175/01L</p>           |  <p><b>UNIDAD COMPACTA PRETRATAMIENTO</b> 180/01L</p> |  <p><b>CANAL DESARENADOR</b> 195/01L</p>       |  <p><b>DESARENADOR DE VÓRTICE</b> 200/01L</p>      |
|  <p><b>DESARENADOR AERADO</b> 215/01L</p>          |  <p><b>DESARENADOR HORIZONTAL</b> 220/01L</p>        |  <p><b>TANQUE DE REGULACIÓN</b> 235/01L</p>   |  <p><b>TANQUE DE AGUA DE PROCESO</b> 240/01L</p>  |
|  <p><b>DOSIFICACIÓN DE NUTRIENTES</b> 255/01L</p>  |  <p><b>SEDIMENTADOR PRIMARIO</b> 260/01L</p>         |  <p><b>SEDIMENTADOR PRIMARIO</b> 275/01L</p>  |  <p><b>FLOTACIÓN CON AIRE DISUELT</b> 280/01L</p> |







**Figura 260. Kit de figuras.**

En la Figura 81 se muestra el oficio de entrega.

## CARTA DE ENTREGA Y RECEPCIÓN

### MATERIAL DE APOYO TÉCNICO IMPRESO

El que suscribe Marino Parra Ramos en representación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Atotonilco" ubicada en Atotonilco de Tula, Hidalgo, manifiesta recibir de conformidad el material de apoyo técnico impreso en perfecto estado, consiste en: Tanque Tenorio

1. Infografía
2. Manual:
  - a. Seguridad e higiene
  - b. Control de proceso
  - c. Calidad del agua
  - d. Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
  - e. Indicadores sensoriales
  - f. Indicadores analíticos
  - g. Ejercicios prácticos
3. Kit de imágenes de proceso

Dicho material impreso está relacionado con las actividades del proyecto Fondo Sectorial CONAGUA-CONACYT "DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARCA"

Se firma la presente carta de entrega y recepción del material de apoyo técnico impreso a los 09 días del mes de Noviembre de 2021.

#### Recibe de conformidad



Marino Parra Ramos

**Figura 261. Entrega de material didáctico.**

## 5 SEGURIDAD E HIGIENE

De acuerdo con el FORMATO 15. SEGURIDAD E HIGIENE que se encuentra en el Anexo D, se tiene que las zonas de riesgo están relacionadas con riesgo sanitario, riesgo de caídas, riesgos eléctricos y riesgos de explosiones por gas metano.

Dentro del área de oficinas y en las instalaciones de la PTATR, se encuentran las señalizaciones relacionadas a la seguridad e higiene (Figura 262).



**Figura 262. Señalización en oficinas**


La PTAR cuenta con un estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental, realizado por Protección Civil.

También tiene planes de contingencia para atención a incendios y derrames de combustibles, así como la realización de simulacros, los cuales son impartidos por personal externo. Para el caso de contingencias técnicas, éstas están relacionadas generalmente con problemas de electricidad. Existe un coordinador de seguridad e higiene en la planta.

Dentro de la organización de la planta se cuenta con una brigada de evacuación, una brigada de primeros auxilios, brigada de prevención y combate de incendio, brigada de búsqueda y rescate, brigada de derrames químicos y brigada comunicación.

Con respecto al riesgo por derrames químicos, como el cloruro férrico, sosa cáustica, ácidos y fuga de gas cloro, se efectúan simulacros como “Día Nacional de la Preparación y Respuesta a Emergencias Químicas”. Como parte de este ejercicio se efectúan los simulacros y se requisita un formato como el que se muestra a continuación.



|   |                                   |                          |                                    |
|---|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
|  | <b>MX-EVALUACIÓN DE SIMULACRO</b> |                          |                                    |
|   | Referencia: <b>3-05-02-F03</b>    | Estado: <b>Aplicable</b> | Revisión: <b>02 del 02/01/2018</b> |

**I. Planeación del Simulacro**

|           |        |             |        |              |                 |
|-----------|--------|-------------|--------|--------------|-----------------|
| <b>BA</b> | México | <b>PAÍS</b> | México | <b>SITIO</b> | San Luis Potosí |
|-----------|--------|-------------|--------|--------------|-----------------|

| Fecha y hora del Simulacro | Tipo    | Clase | Previo aviso | N° Consecutivo |
|----------------------------|---------|-------|--------------|----------------|
| 15/10/2021                 | Interno | Campo | No           | 5              |

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| <b>Nombre del Simulacro</b> | Simulacro Fuga de gas cloro |
|-----------------------------|-----------------------------|

**Descripción del Simulacro / Hipótesis**

**FUGA DE GAS CLORO EN VALVULA FUSIBLE DE CILINDRO CON CAPACIDAD DE UNA TONELADA**

- Colaborador realiza las actividades de cambio de cilindro de gas cloro.
- Durante la maniobra de izaje el cilindro de gas cloro, este cae a nivel de piso al no estar asegurado correctamente el gancho con el cilindro.
- Durante las actividades de izaje, el cilindro en levantamiento no cuenta con la capucha protectora y al caer, se daña la válvula fusible principal y se presenta fuga de cloro en fase gaseosa.
- El colaborador activa la alarma y procede a avisar por radio al departamento de seguridad y al coordinador de operación
- El departamento de seguridad avisa por radio a todo el personal de la planta para evacuar, así mismo procede a avisar a contratistas para igualmente, todos evacuar la planta.
- Se inicia evacuación de todo el personal en turno mientras el coordinador de operación coordina la atención de la fuga
- Se moviliza al personal al punto de reunión opuesto a la dirección del viento
- En el área de **estación para emergencias químicas**, el personal de operación asignado para el control de la fuga se coloca EPP (traje encapsulado para químicos y ERA). Dos colaboradores apoyan en la colocación del EPP a los dos colaboradores de atenderán la fuga.
- Una vez evacuado al resto de los colaboradores personal, en el punto de reunión se contabiliza al personal para verificar que no falte nadie.
- Se contiene la fuga y se da aviso cuando es seguro el retorno a las actividades.

**Escenario crítico**

**Pánico**  
Que algún colaborador o contratista presente un ataque de pánico durante la activación de la alarma o durante la evacuación.

**Brigada de evacuación**  
Que no haya coordinación y comunicación para la evacuación de todos los colaboradores.

**Evacuación a zona segura**  
Que se realice la evacuación al punto de reunión incorrecto según la dirección del viento.


**Medidas de Seguridad planeadas para el simulacro (Notificaciones al cliente, gerente, Botiquín, Números de emergencias etc.)**

- Dispositivos de comunicación disponibles: Alarmas, radios y teléfonos.
- Reconocimiento del material disponible en el gabinete de **estación para emergencias químicas**
- Capacitación previa con proveedores y capacitadores para el uso correcto del equipo de respiración autónoma, mascarillas canister, traje encapsulado y Kit B para fugas de gas cloro.
- Uso del EPP para respuesta a emergencias
- Inspección de los equipos para respuesta a emergencias químicas
- Notificar a gerencia de acuerdo con el calendario de simulacros internos.

**II. Realización del Simulacro**

|   |   |                                  |
|---|---|----------------------------------|
| <b>Fecha de elaboración del reporte</b> | <b>Fecha de envío del reporte a OC.</b> | <b>Coordinador del Simulacro</b> |
| 15/10/2021                              | N/A                                     | Karla Marina Fajardo Lara        |

**Desarrollo del simulacro**  
Siendo las 4:43:01, el colaborador Juan Carlos Sierras, observa la fuga de cloro y activa las alarmas del almacén, avisa por radio el accidente y se coloca el equipo de respuesta a emergencias (ERA, traje encapsulado, Botas de seguridad), da aviso a su compañero para el apoyo.  
4:44:00 se da aviso por medios electrónicos a todo el personal para a evacuación se activo brigada de evacuación.

|   |                                   |                          |                                    |
|---|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
|  | <b>MX-EVALUACIÓN DE SIMULACRO</b> |                          |                                    |
|   | Referencia: <b>3-05-02-F03</b>    | Estado: <b>Aplicable</b> | Revisión: <b>02 del 02/01/2018</b> |

4:44:35 llega el coordinador de operaciones a la estación de emergencia de químicos como apoyo a los colaboradores para colocarse el equipo de emergencia (usando mascarilla con filtros vs gas cloro).  
 4:47:05 Personal de operación entran a la zona 0 con trajes encapsulados, y se disponen a mover el kit B, comienzan la maniobra, para colocar el **ensamble 12**.  
 4:52:01 se registra salida del último colaborador al punto de reunión exterior  
 4:53:00 se se termina de colocar el ensamble 12, se verifica con amoniaco que el tanque quede bien sellado.  
 4:59:00 Se termina simulacro, se avisa a los colaboradores evacuados para el retorno a sus actividades

**III. Datos del simulacro.**


| Brigadas                   | Tiempo de reacción (min) Simulacro anterior | Tiempo de reacción (min) Simulacro actual | N° total de brigadistas | N° de brigadistas presentes en el simulacro |
|----------------------------|---|---|-------------------------|---|
| Brigada de evacuación      | 1 minuto                                    | 2 minutos                                 | 5                       | 5   |
| Brigada de primer auxilios | N/A   | N/A                                       | 6                       | 6   |
| Brigada contra-incendios   | N/A   | N/A                                       | 5                       | 5   |
| Brigada de derrame químico | 1 Minuto                                    | 00:00:30                                  | 7                       | 4   |


| Tiempo de llegada de todos al punto de reunión. | N° personal Subcontratistas | N° personal Visitantes | N° Personal de SUEZ | N° personal en Total |
|---|-----------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|
| 9 minutos                                       | 12                          | 0                      | 22                  | 34                   |

**IV. Evaluación del Simulacro**

| Evaluación  | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | Observaciones   |
|---|----|----|---|---|---|---|
| Seguimiento de las rutas de evacuación dando atención al viento |    |    |   |   | x | El personal contratista en planta siguió las indicaciones para la evacuación al punto de reunión correcto.<br>El personal de la empresa, se dirigió al punto de reunión correcto. |
| Seguimientos de las salidas de emergencias                      |    |    |   |   | x | Personal administrativo utilizo la salida de emergencia para dirigirse al punto de reunión.   |
| Actuación Jefe de brigada evacuación                            |    | x  |   |   |   | Se realizo la evacuación de todo el personal dentro de la planta hacia el punto de reunión correcto   |
| Actuación brigada de evacuación                                 |    |    | x |   |   | Se dirigió a todo el personal en planta hacia el punto de reunión asignado, pero el tiempo de evacuación fue demasiado largo.   |
| Actuación Jefe de brigada de primer auxilios                    |    |    |   |   |   | N/A   |
| Actuación brigada de primeros auxilios                          |    |    |   |   |   | N/A   |
| Actuación Jefe de brigada de contra-incendios                   |    |    |   |   |   | N/A   |

|  | MX-EVALUACIÓN DE SIMULACRO |  |                          |  |                             |   |
|---|----------------------------|--|--------------------------|--|-----------------------------|---|
|   | Referencia: 3-05-02-F03    |  | Estado: <b>Aplicable</b> |  | Revisión: 02 del 02/01/2018 |   |
| Actuación brigada de contra-incendios   |                            |  |                          |  |                             | N/A   |
| Actuación Jefe de brigada de derrame químico                                      |                            |  |                          |  | x                           | El coordinador junto con el jefe de turno coordinaron al personal para la atención a la fuga.   |
| Actuación brigada de derrame químico  |                            |  |                          |  | x                           | El personal asignado para la atención de fuga de gas cloro, actuó correctamente, se colocó su EPP de respuesta a emergencias y se dirigió al punto de emergencia. |
| Uso de los equipos de seguridad   |                            |  |                          |  | x                           | Se colocaron correctamente los equipos de respuesta a emergencia, los cuales incluyen traje encapsulado y equipo de respiración autónoma.                         |
| Actuación de grupos externos  |                            |  |                          |  |                             | N/A   |
| Comportamiento general del personal   |                            |  |                          |  | x                           | Todo el personal evacuó y siguió las indicaciones, sin embargo demoraron mucho tiempo en realizar la evacuación.  |

| <b>Nota: -2 = Pésimo ; -1 = Malo ; 0 = Regular ; 1 = Bien ; 2 = Excelente</b>   |   |
|---|---|
| Puntos Buenos   | Áreas de oportunidad detectadas/ Recomendaciones para el Plan de Respuesta a emergencias  |
| Se cuenta con todo el equipo de seguridad necesario para actuar contra un derrame de químicos (ERAS, encapsulados, trajes para químicos, mascarillas para químicos, guantes de nitrilo, botas, kit contra derrames) | La evacuación del todo el personal en general fue lenta desde el momento que se activaron las alarmas hasta no haber nadie dentro de planta.<br>Se deben realizar más simulacros con distintos escenarios para una más rápida respuesta por parte de todo el personal en turno ante un emergencia real.   |
| Se cuenta con una estación de emergencia equipada con todos los equipos que se requieren para atacar una emergencia.  | Los trajes encapsulados se encontraban dentro de su funda, lo cual retrasó el tiempo de respuesta por dificultarse sacarlos de su bolsa.<br>Estos se pueden colocar fuera de su bolsa sin sacarse del gabinete para evitar tenerlos a la intemperie pero poder así, acceder más fácilmente a ellos cuando se requiera.  |
| Se realiza reunión del cierre del simulacro donde cada participante junto con los observadores revisamos los puntos de mejora y planeamos nuevos simulacros y escenarios,   | El personal que atendió la fuga de gas cloro demoró en encontrar y sacar las piezas del KIT B necesarias para el control de la fuga.<br>Estas piezas se encontraban guardadas correctamente en la caja de plástico asignada para tal propósito, sin embargo se puede colocar algún otro mueble que permita más fácilmente identificar y usar las piezas necesarias en una fuga. |
| N/A   | Las alarmas de evacuación de personal no funcionaron. Únicamente funcionaron las alarmas del almacén de gas cloro y se realizó notificación por radio y por teléfono.<br>Se requiere realizar verificación de alarmas y reparación de aquellas que no funcionen   |


|   |                                   |                          |                                    |
|---|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
|  | <b>MX-EVALUACIÓN DE SIMULACRO</b> |                          |                                    |
|   | Referencia: <b>3-05-02-F03</b>    | Estado: <b>Aplicable</b> | Revisión: <b>02 del 02/01/2018</b> |
| N/A   |                                   |                          |                                    |
| N/A   |                                   |                          |                                    |

**Observaciones del Responsable del sitio**

Se incrementara la cantidad de simulacros y practicas con los equipos de emergencia para que el personal atienda de forma efectiva cualquier contingencia.

|   |
|---|
| <b>Nombre y Firma</b>   |
| <br>Marcos Ferrero<br><b>Responsable de SSMA</b> |

|   |
|---|
| <b>Nombre y Firma</b>   |
| <br>Maximina<br><b>Responsable del sitio o área</b> |

|   |                                   |                   |
|---|-----------------------------------|-------------------|
|  | <b>MX-EVALUACIÓN DE SIMULACRO</b> |                   |
|   | Referencia: 3-05-02-F03           | Estado: Aplicable |

**IV. Anexo fotográfico**



| <b>MX-EVALUACIÓN DE SIMULACRO</b>   |   |                                  |                             |
|---|---|----------------------------------|-----------------------------|
| Referencia: 3-05-02-F03   |   | Estado: <b>Aplicable</b>         | Revisión: 02 del 02/01/2018 |
| <b>I. Planeación del Simulacro</b>  |   |                                  |                             |
| BA  | México                                  | PAÍS                             | México                      |
|   |   | SITIO                            | San Luis Potosí             |
| <b>Fecha y hora del Simulacro</b>   | <b>Tipo</b>                             | <b>Clase</b>                     | <b>Previo aviso</b>         |
| 11/02/2022  | Interno                                 | Campo                            | SI                          |
| <b>Nº Consecutivo</b>   |   |                                  |                             |
| 1   |   |                                  |                             |
| <b>Nombre del Simulacro</b>   |   |                                  |                             |
| Simulacro Fuga de gas cloro   |   |                                  |                             |
| <b>Descripción del Simulacro / Hipótesis</b>  |   |                                  |                             |
| <p><b>FUGA DE GAS CLORO EN TAPÓN FUSIBLE ESTALLADO EN CILINDRO CON CAPACIDAD DE UNA TONELADA</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se presenta una fuga de gas cloro en almacén de cloro</li> <li>2. Colaborador activa la alarma de cloración</li> <li>3. Se notifica a caseta y a departamento de seguridad</li> <li>4. Se activa Brigada de derrames y emergencias químicas</li> <li>5. Un integrante de la Brigada se dirige a estación contra emergencias químicas y procede a colocarse el equipo de protección personal para fugas de gas cloro.</li> <li>6. Se procede a actuar para atender la fuga usando el traje encapsulado tipo A, el Equipo de Respiración Autónoma así como el KIT B.</li> <li>7. Se contiene la fuga y se da aviso para reanudar las actividades.</li> </ol>   |   |                                  |                             |
| <b>Escenario crítico</b>  |   |                                  |                             |
| <b>Pánico</b>   |   |                                  |                             |
| Que algún colaborador o contratista presente un ataque de pánico durante la activación de la alarma   |   |                                  |                             |
| <b>Brigada de evacuación</b>  |   |                                  |                             |
| Que no haya coordinación y comunicación y se realice manera innecesariamente la evacuación de personal de la planta o contratistas  |   |                                  |                             |
| <b>Brigada de control de derramees y emergencias químicas</b>   |   |                                  |                             |
| Falta capacitación, competencias o ataque de panico para atacar la fuga de gas cloro por parte del colaborador que de manera individual realice el control de la misma.   |   |                                  |                             |
| <b>Medidas de Seguridad planeadas para el simulacro (Notificaciones al cliente, gerente, Botiquín, Números de emergencias etc.)</b>   |   |                                  |                             |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dispositivos de comunicación disponibles: Alarmas, radios y teléfonos.</li> <li>2. Notificación y apoyo por parte de caseta para control vial</li> <li>3. Notificación a personal en turno para evitar ataques de panico durante la activación de la alarma y las actividades</li> <li>4. Reconocimiento del material disponible en el gabinete de Estación para emergencias químicas</li> <li>5. Capacitación previa con proveedores y capacitadores para el uso correcto del equipo de respiración autónoma, mascarillas canister, traje encapsulado y Kit B para fugas de gas cloro.</li> <li>6. Uso del EPP para respuesta a emergencias</li> <li>7. Inspección previa y mensual de los equipos para respuesta a emergencias químicas</li> <li>8. Equipo KIT B listo en el área asignada y equipo sanitizado listo para su uso</li> <li>9. Notificar a gerencia de acuerdo con el calendario de simulacros internos.</li> </ol> |   |                                  |                             |
| <b>II. Realización del Simulacro</b>  |   |                                  |                             |
| <b>Fecha de elaboración del reporte</b>   | <b>Fecha de envío del reporte a OC.</b> | <b>Coordinador del Simulacro</b> |                             |
| 11/02/2022  | N/A                                     | Karla Marina Fajardo Lara        |                             |

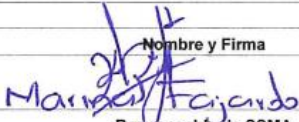
| <b>MX-EVALUACIÓN DE SIMULACRO</b>   |   |   |                         |   |   |   |
|---|---|---|-------------------------|---|---|---|
| Referencia: 3-05-02-F03   |   | Estado: <b>Aplicable</b>                  |                         | Revisión: 02 del 02/01/2018                 |   |   |
| <b>Desarrollo del simulacro</b>   |   |   |                         |   |   |   |
| <p>Siendo las 12:00 del día se reúne al personal de operación para la capacitación del uso del equipo de respiración autónoma y uso de traje encapsulado para control de fugas de gas cloro.</p> <p>A las 13:15 horas. se presenta una fuga de gas cloro en el almacén de cloro, suena la alarma y el colaborador Juan Sierra de operación activa también la alarma externa, así mismo, avisa por radio a caseta y solicita apoyo de la Brigada de derrames y emergencias químicas, se notifica también al departamento de SSSMA.</p> <p>Se despeja el área y el colaborador Antonio Campillo, integrante de la Brigada se dirige a la estación contra emergencias químicas para equiparse y colocarse el equipo de respiración autónoma y el traje encapsulado tipo A.</p> <p>El colaborador se dirige al almacén de cloro dónde se ubica el kit B y procede a actuar para la atención de la fuga.</p> <p>Durante las actividades de atención de la fuga, se observa que las herramientas que constituyen el kit B no son compatibles con el cilindro de gas cloro que actualmente se tiene en almacén, el cual es de una capacidad de una tonelada.</p> <p>Se termina simulacro y se reúne a todos los participantes de la capacitación junto con el coordinador de Operación y SSSMA para evaluar a detalle la situación y revisar todos los tanques que actualmente se tienen en planta</p> |   |   |                         |   |   |   |
| <b>III. Datos del simulacro.</b>  |   |   |                         |   |   |   |
| Brigadas  | Tiempo de reacción (min) Simulacro anterior | Tiempo de reacción (min) Simulacro actual | N° total de brigadistas | N° de brigadistas presentes en el simulacro |   |   |
| Brigada de comunicación y evacuación  | N/A   | N/A                                       | 5                       | 0   |   |   |
| Brigada de primer auxilios  | N/A   | N/A                                       | 5                       | 0   |   |   |
| Brigada contra incendios  | N/A   | N/A                                       | 5                       | 0   |   |   |
| Brigada búsqueda y rescate  | N/A   | N/A                                       | 5                       | 0   |   |   |
| Brigada contra derrames y emergencias químicas  | 1 minuto                                    | 05:47                                     | 5                       | 5   |   |   |
| Tiempo de llegada de todos al punto de reunión.   | N° personal Subcontratistas                 | N° personal Visitantes                    | N° Personal de SUEZ     | N° personal en Total                        |   |   |
| No hubo evacuación, ya que se realizo el simulacro en una zona controlada con participación solo de brigadistas y coordinador de operación y SSSMA  | 0   | 0   | 8                       | 8   |   |   |
| <b>IV. Evaluación del Simulacro</b>   |   |   |                         |   |   |   |
| Evaluación  | -2  | -1  | 0                       | 1   | 2 | Observaciones   |
| Actuación de personal de operación para activación de alarmas y aviso   |   |   |                         |   | x | El colaborador actuó rápidamente para la activación de la alarma y notificación a caseta  |
| Actuación brigada de derrames y emergencias químicas  |   |   |                         |   | x | La brigada siguió las indicaciones propias del simulacro para que de manera individual se pudiera atender la emergencia   |
| Actuación de brigadista asignado  |   |   |                         |   | x | El personal asignado para la atención de fuga de gas cloro, actuó correctamente, se colocó su EPP de respuesta a emergencias y se dirigió al punto de emergencia. |
| Uso de los equipos de seguridad   | x   |   |                         |   |   | Se colocaron correctamente los equipos de respuesta a emergencia, los cuales incluyen traje encapsulado y equipo de respiración autónoma.                         |

| MX-EVALUACIÓN DE SIMULACRO                          |  |                          |   |                             |  |
|---|--|--------------------------|---|-----------------------------|--|
| Referencia: 3-05-02-F03                             |  | Estado: <b>Aplicable</b> |   | Revisión: 02 del 02/01/2018 |  |
| Comportamiento general del personal y participantes |  |                          | x |                             | Todo el personal siguió las indicaciones |

| Nota: -2 = Pésimo ; -1 = Malo ; 0 = Regular ; 1 = Bien ; 2 = Excelente   |  |
|--|--|
| Puntos Buenos  | Áreas de oportunidad detectadas/ Recomendaciones para el Plan de Respuesta a emergencias   |
| Se realizó y se cuenta con capacitación para el uso correcto de los equipos para la atención de emergencias: ERA, traje encapsulado y KIT B  | Se requiere un calendario semanal de practicas para con el equipo del área de operación a fin de mejorar tiempos de respuesta y adiestramiento en equipamiento del EPP de manera colectiva e individual para estar capacitados en caso de una situación de emergencia real.  |
| Se cuenta con todo el equipo de seguridad necesario para actual contra un derrame de químicos (ERAS, encapsulados, trajes para químicos, mascarillas para químicos, guantes de nitrilo, botas, kit contra derrames)  | Se observo que el KIT B con el que se cuenta en planta de acuerdo con el instituto de cloro, no es compatible con el tipo de cilindro que actualmente el proveedor entrega a la empresa, siendo estos cilindros de una capacidad individual de una tonelada, por lo que no es posible atender una fuga de gas cloro si se presenta esta en cualquiera de los tapones fusibles. |
| Se cuenta con una estación de emergencia equipa con todos los equipos que se requieren para atacan una emergencia. Los trajes se encuentran separados individualmente y fuera de la funda a fin de no retrasar el tiempo de respuesta. Estos y todo el equipo se encuentra dentro del gabinete para su fácil acceso cuando se requiera | Se requieren practicas frecuentes y calendarizadas para agilizar tiempos de respuesta  |
| Se realiza reunión del cierre del simulacro donde cada participantes junto con los observadores revisamos los puntos de mejora y planeamos nuevos simulacros y escenarios,   | Las piezas del KIT B necesarias para el control de la fuga se encuentran disponibles y de fácil acceso en un mueble que permite la identificación y uso de las piezas necesarias en una fuga; sin embargo y a pesar de ser el KIB B universal, no es compatible con el tipo de cilindro que se tiene en planta.  |

**Observaciones del Responsable del sitio**

*Incrementar el numero de simulacros para que el personal mejore sus habilidades.*

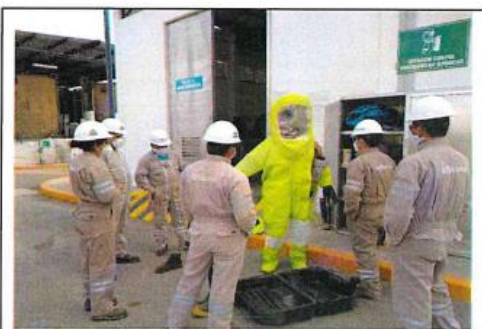
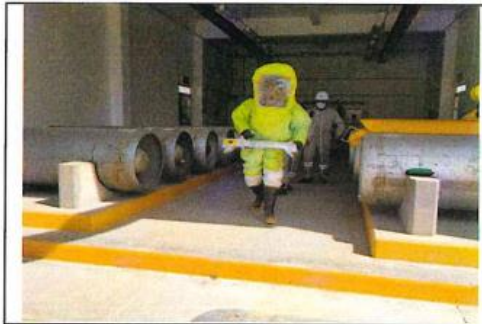
Nombre y Firma  
  
 Responsable de SSMA

Nombre y Firma  
  
 Responsable del sitio o área



|                                   |                   |                             |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| <b>MX-EVALUACIÓN DE SIMULACRO</b> |                   |                             |
| Referencia: 3-05-02-F03           | Estado: Aplicable | Revisión: 02 del 02/01/2018 |

**IV. Anexo fotográfico**



También se cuenta con una constancia de participación como evidencia (Figura 263).

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente  
otorga el presente

## RECONOCIMIENTO

A

**Suez Medio Ambiente México,  
S.A. de C.V.**

Por su participación en las actividades del  
**DÍA NACIONAL DE LA PREPARACIÓN Y RESPUESTA A  
EMERGENCIAS QUÍMICAS**

**DINAPREQ 2021**

09 de julio de 2021



**Dra. Blanca Alicia Mendoza Vera**  
Procuradora Federal de Protección al Ambiente

**Figura 263 Constancia de participación en el Día nacional de la preparación y respuesta a emergencias químicas.**

Existen dentro de la planta disposiciones de seguridad tales como el uso de equipo de protección (zapatos de seguridad, casco, lentes de protección, camisa de manga larga por dentro del pantalón, pantalón de mezclilla sin aberturas u overol, chaleco de seguridad, cubre bocas KN95 o K95) (Figura 264).



## **Figura 264. Equipo personal**

Como medidas preventivas para los riesgos generales asociados con la PTAR, se tiene control de las vacunas de los trabajadores de la planta y desparasitación.

También hay un protocolo de seguridad para el personal que ingresa a la planta. Se solicita pruebas de COVID-19 para evitar contagios. Además, se toma la temperatura corporal y si es mayor a 37.0 °C o se presenta cualquier otro síntoma relacionado con el padecimiento, no permiten la entrada a la persona.

## 6 LABORATORIO

La PTAR cuenta con un laboratorio de análisis equipado (Figura 265) y acreditado ante la EMA (Figura 266).



**Figura 265. Diferentes vistas del laboratorio de la PTAR El Tenorio.**



**Figura 266. Acreditación del laboratorio ante la EMA.**

La plantilla del laboratorio consta de seis personas: Coordinador (Brenda Castillo Escobedo), cuatro Analistas con diferentes pruebas asignadas y un becario con labores menores y de apoyo.

El equipamiento del laboratorio se muestra en la Figura 267.



Balanza analítica



Incubadoras



Campana de extracción



Campana de flujo  
laminar



Soxhlet



Campana de extracción



Estufas/hornos



Potenciómetro



Autoclaves

**Figura 267. Equipos del laboratorio.**

El equipo de laboratorio está compuesto por tres autoclaves, cuatro automuestreadores, una balanza analítica, una balanza de peso húmedo, una balanza de precisión, tres bombas de vacío, dos campanas de extracción, una campana de flujo laminar/UV, dos centrífugas, tres

espectrofotómetros, tres Gold Fish, dos horno/estufa, siete incubadoras, una lavadora automática, dos macro Kjeldahl, un medidor de cloro, un medidor Redox, un microscopio, dos muflas, un oxímetro, cinco parrillas de agitación y calentamiento, una parrilla de agitación, tres potenciómetros, dos equipos para pruebas de jarra, dos reactores DQO, tres refrigeradores, un turbidímetro y un equipo Soxhlet.

Los análisis que se realizan son: pH, SAAM, Dureza total, Sólidos sedimentables, Fósforo total, Demanda química de oxígeno, Demanda bioquímica de oxígeno, Nitrógeno total Kjeldahl, Sólidos suspendidos totales, Grasas y aceites, Alcalinidad, Materia flotante, Coliformes fecales y totales, Nitritos, Nitratos, Conductividad, Huevos de Helminto, Sulfatos, Bacterias sulfatorreductoras, Bacterias ferruginosas, Cloro y Sílice. La frecuencia de realización de estos análisis varía de acuerdo con las necesidades de la PTAR y para verificar el cumplimiento de la NOM-001-Sermanat-1996 y ahora la NOM-001-Sermanat-2021.

Cuentan con una capacitación anual y un programa interno de acuerdo con las necesidades del laboratorio. Los cursos de capacitación que han recibido son los siguientes:

- Manejo y almacenamiento de sustancias químicas.
- NMX-AA-042-SCFI-2015 Coliformes totales y fecales.
- NMX-AA-113-SCFI-2012 Huevos de helminto.
- Registros técnicos/Control de registros.
- Inducción al sistema de gestión de calidad y difusión de política CSMC + RS.
- Muestreo de agua residual.
- Norma ISO/IEC 17025:2017
- Métodos analíticos (NMX).
- Sistema Global armonizado.
- Inducción sistema de gestión de calidad

## 7 CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR

### 7.1 Causas

Para poder ponderar las causas que influyen de manera negativa en el desempeño de la PTAR, se hace uso de una clasificación que consta de tres niveles de impacto, a saber:

#### Nivel I

Son los que presentan un mayor efecto y con problemas físicos difíciles de resolver de las unidades de proceso más importantes.

#### Nivel II

Son los que contribuyen rutinariamente al bajo desempeño o producen mayores efectos en una base periódica o estacional.

#### Nivel III

Son los que presentan mínimos efectos, fáciles y económicos de resolver, normalmente de operación y administración.

Así, tomando como base la información obtenida de los capítulos anteriores, y la clasificación de las causas que influyen en el desempeño de la PTAR, se elabora la Tabla 37.

**Tabla 102. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR**

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño                              | Atención    |
|-----|-------|--|-------------|
| 1   | I     | Presencia de compuestos tóxicos (toxicidad en el efluente) | Corto plazo |
| 2   |       | Baja remoción de coliformes fecales o E. coli              | Corto plazo |
| 3   |       | Baja remoción de DQO                                       | Corto plazo |
| 4   |       | Baja remoción de grasas y aceites                          | Corto plazo |
|     | II    | No se identificaron  | -           |
|     | III   | No se identificaron  | -           |

### 7.2 Descripción de la causa y recomendaciones

Básicamente, el sistema primario avanzado puede remover materia particulada, es decir, sólidos suspendidos: Sobre la materia disuelta hay



poco efecto. Así, en la medida que los contaminantes se encuentren en forma particulada el proceso será eficaz. Sin embargo, en los muestreos realizados se detectó que la materia orgánica en forma disuelta es la que predomina.

Con base en lo observado en la PTAR, se siguen todos los procedimientos para llevar a cabo un buen tratamiento del agua. Por ello, los resultados obtenidos durante el muestro resultan extraños. Se resalta que el desempeño está definido por la propia capacidad del sistema, así como controlar parámetros como el nitrógeno total o la toxicidad. Sobre todo, si esta última no está dada por metales pesados, resulta imposible removerla mediante este proceso (primario avanzado). Será necesario identificar las aportaciones no controladas de los usos industriales y de servicios al alcantarillado municipal para poder controlar ambos parámetros.

Dado que el efluente del tratamiento primario avanzado se vierte en un sistema natural de tratamiento, esto le da holgura al conjunto para lograr un efluente de mayor calidad, que posiblemente si sea capaz de satisfacer los requisitos de la NOM-001-SEMARNAT-2021.

En cuanto al tratamiento secundario, en principio, éste cuenta con total capacidad para lograr un efluente de excelente calidad, solo que éste no se descarga al cuerpo receptor y es aprovechado en usos industriales. De ser necesario, una parte del efluente secundario podría dirigirse a la descarga del cuerpo receptor para mejorar la calidad, pero es un punto que tendrían que acordar entre las partes.

### 7.2.1 Nivel I

| <b>Causa</b>   | <b>Recomendación</b>   |
|--|--|
| <p><b>1. Presencia de compuestos tóxicos</b></p> <p>Se encontró presencia de toxicidad (mayor a 20 UT) en el efluente de la PTAR durante el muestreo compuesto</p> | <p>Será importante implementar y hacer una evaluación minuciosa del nivel de toxicidad, tanto en el efluente del primario avanzado como del humedal Tanque Tenorio, para descartar que la carga normal de materia orgánica presente en el agua residual sea la que provoca los niveles altos de toxicidad en el agua.</p> <p>Otra posibilidad, durante el periodo en que funciona el tratamiento secundario, es evaluar la toxicidad del efluente antes de ingresar al postratamiento. De encontrarse niveles altos de toxicidad, será importante implementar un sistema de vigilancia de descargas al alcantarillado municipal para que los causantes pretraten su descarga, o lleven a cabo las modificaciones</p> |

| <b>Causa</b>   | <b>Recomendación</b>   |
|--|--|
|  | necesarias para que su descarga no tenga tales características.  |
| <p><b>2. Baja remoción de microorganismos</b></p> <p>Se encontró que el efluente no satisface los requisitos de la NOM-001-SEMARNAT-1996 ni de la NOM-001-SEMARNAT-2021 en lo referente a los microorganismos fecales durante los muestreos.</p> | <p>El efluente del tratamiento primario avanzado no recibe desinfección, ya que la función del control de los microorganismos recae en el humedal “Tanque Tenorio”. Sin embargo, el humedal recibe una carga orgánica muy importante y no alcanza a llevar a cabo la función de desinfección.</p> <p>Por otra parte, el humedal se asemeja más a una laguna que a un humedal. De esta manera, la recomendación es que se lleve a cabo la reingeniería del humedal, de tal forma que esta etapa del tratamiento pueda llevar a cabo sus funciones con efectividad. Para ello habría que aumentar la población de hidrófitas y definir secciones en que se introduciría medio de soporte para que funcione como un humedal subsuperficial, alternando con secciones de humedal superficial, e incluso con secciones de espejo de agua, como la que ocupa actualmente la mayor parte de dicha etapa del proceso.</p> <p>Una vez hecho esto y, en caso que se continúe rebasando el límite permisible para <i>Escherichia coli</i>, se deberá incluir una etapa de desinfección.</p> |
| <p><b>3. Baja remoción de DQO.</b></p> <p>Se encontró que el efluente no satisface los requisitos de la NOM-001-SEMARNAT-1996 ni de la NOM-001-SEMARNAT-2021 en lo referente a la materia orgánica medida como DBO5 y DQO.</p>                   | <p>El tratamiento primario avanzado es eficaz para el control de la materia orgánica particulada. Con la materia orgánica disuelta no lo es tanto, por ello, para dar cumplimiento al límite permisible de DQO en el efluente de la PTAR se requiere de una etapa adicional, y el humedal “Tanque Tenorio” puede emplearse para ello. La intervención requerida, es la que se indica en la recomendación 2: <i>“el humedal se asemeja más a una laguna que a un humedal. La recomendación es que se lleve a cabo la reingeniería del humedal, de tal forma que esta etapa del tratamiento pueda llevar a cabo sus funciones con efectividad, para ello hay que aumentar la población de hidrófitas y definir secciones en que se introduciría medio de soporte para que funcione como un humedal subsuperficial, alternando con secciones de humedal superficial, e incluso con secciones de espejo de agua, como la que ocupa actualmente la mayor parte de dicha etapa del proceso”</i>.</p>   |

| <b>Causa</b>  | <b>Recomendación</b>   |
|---|--|
|   | <p>Otra alternativa es que parte del efluente del tratamiento biológico, que se ocupa para venta de agua tratada a la Termoeléctrica Villa de Reyes (CFE), se dirija a la descarga para que a través de la mezcla de las dos corrientes disminuya la concentración final de DQO en el agua tratada. De no ser suficiente, se tendría que ampliar la capacidad instalada del sistema biológico de tratamiento del agua.</p>   |
| <p><b>4. Baja remoción de grasas y aceites.</b></p> <p>Se encontró que todas las muestras puntuales de grasas y aceites en el efluente exceden el límite permisible de 15 mg/L.</p> | <p>El diseño de la planta descansa en los desarenadores aireados para remover grasas y aceites, lo cual, con base en el resultado de los muestreos, no está siendo eficaz y el sistema primario avanzado no cuenta con dispositivos para el control de grasas y aceites. Las opciones son:</p> <p>1) realizar los ajustes necesarios en los desarenadores aireados para aumentar la eficiencia en la remoción de grasas y aceites; o</p> <p>2) Instalar dispositivos para la retención de grasas, aceites y otros materiales flotantes antes de los vertedores de los reactores primarios avanzados, junto con los dispositivos para la recolección de grasas y aceites.</p> |

## 8 RESUMEN

### 30) Título de concesión de descarga

- a) En el título de descarga de la PTAR El Tenorio se menciona que el volumen de descarga es de 61,900 m<sup>3</sup>/d, el cual es equivalente al caudal de descarga menos el gasto que se entrega a la central de ciclo combinado Villa de Reyes.
- b) El título de descarga se encuentra a nombre del Organismo Intermunicipal de Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento y Servicios Conexos y fija las características de descarga para riego agrícola con respecto a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

### 31) Memoria de cálculo

- a) No se muestran los cálculos, fórmulas ni detalles de cálculo en la memoria entregada, únicamente se presentan valores iniciales de la calidad del agua, las capacidades de los equipos y unidades de proceso.
- b) En el tren de tratamiento se utilizan las patentes Densadeg (tratamiento primario avanzado) y Aquazur V (filtros), razón por la cual no se presentan cálculos en las memorias de diseño de dichos equipos.
- c) La velocidad media utilizada en las lamelas (20 m/h) se encuentra dentro de las tasas máximas reportadas en la literatura (hasta de 36 m/h).

### 32) Información histórica de calidad del agua

- a) Los valores de pH, GyA, SST, DBO<sub>5</sub>, y PT en el efluente cumplen con las normas NOM-001-SEMARNAT-1996, uso en riego agrícola (A); así como para los parámetros antes mencionados y DQO para la NOM-001-SEMARNAT-2021, suelo Infiltración y otros riegos.
- b) Las concentraciones de NT en el efluente de la PTAR sobrepasan los valores contractuales.

### 33) Información del Proceso

- a) La PTAR cuenta con un programa de mantenimiento de todas las unidades que conforman la planta, así como un programa de mantenimiento preventivo de los equipos electromecánicos.
- b) Los reportes de fallas se atienden de forma adecuada a través de órdenes de trabajo.

### 34) Funcionamiento de la PTAR

- a) La PTAR funciona adecuadamente, su estado físico y de la obra civil son buenos.
- b) Todos los equipos electromecánicos se encuentran en buen estado y se les da mantenimiento.

### **35) Muestreo**

- a) El día que se realizó el muestreo la PTAR entró en libranza, lo que probablemente repercutió de forma negativa en los resultados obtenidos, ya que la concentración de GyA y DQO son superiores a los LMP reportados en la NOM-001-SEMARNAT-2021. En el segundo muestreo, efectuado en marzo de 2022, nuevamente se observó que los valores de GyA, DQO y coliformes fecales son mayores que los límites permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- b) La toxicidad obtenida en el efluente de la PTAR muestra valores importantes, superiores a las 2 UT en las 12 muestras recolectadas. A pesar de que la empresa operadora de la planta señala que no hay aportaciones industriales, el cociente DQO/DBO<sub>5</sub> en ambos muestreos fue de 4.69 y 2.74 respectivamente, lo que denota que hay una influencia industrial, posiblemente clandestina.
- c) Para el caso de la DBO, SST, NT y PT, éstos no aplican en las normatividades 1996 y 2021 por el tipo de descarga.
- d) Con respecto a los metales pesados y cianuros, el efluente cumple con las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021.
- e) Los resultados del muestreo simple indican que el desarenador aireado no presentaba un desempeño adecuado para el control de GyA al momento de la evaluación.

### **36) Influencia industrial**

- a) De acuerdo con la información recolectada, no se tienen descargas industriales, ya que solamente se descargan al alcantarillado aguas del tipo doméstico provenientes de las industrias (consideradas industrias “secas”). Sin embargo, la toxicidad y los cocientes DQO/DBO<sub>5</sub> señalan a una posible influencia industrial, de la que no se tiene registro, por lo que pudiera ser de tipo clandestino.

### **37) Evaluación de conocimientos**

- a) El personal directivo, jefes de laboratorio, jefes de turno y operadores presentan conocimientos adecuados sobre el sistema de tratamiento de acuerdo con su nivel de desempeño.
- b) Se realizan cursos de capacitación a diferentes niveles, sin embargo, hace falta la implementación de cursos de especialidad.
- c) Se entregó material didáctico para solventar un poco la problemática de capacitación del personal.

### **38) Seguridad**

- a) La PTAR cuenta con un estudio de análisis de riesgos (ERA). Las zonas de riesgo están relacionadas con riesgo sanitario, riesgo de caídas,

riesgos eléctricos, riesgo por fuga de cloro gas y riesgos de explosiones por gas metano.

- b) Existe dentro de la PTAR disposiciones de seguridad tales como el uso de equipo de protección personal, así como para contingencia COVID-19.
- c) Se cuenta con brigadas de evacuación, de primeros auxilios y prevención, así como de combate a incendios.

### **39) Laboratorio**

- a) Se cuenta con un laboratorio acreditado por la EMA, lo cual indica que se encuentra equipado, en excelentes condiciones físicas, con equipo adecuado y con personal suficiente y capacitado para realizar los análisis que se requieren en la PTAR.

### **40) Causas que limitan el desempeño de la PTAR**

- a) La PTAR funciona adecuadamente y el efluente cumple la normatividad vigente (NOM-001-SEMARNAT-1996 y CPDs).
- b) Tomado en consideración que la PTAR es operada en forma correcta, pero los resultados obtenidos en los muestreos compuestos indican que el efluente no cumple con los requisitos de la NOM-001-SEMARNAT-2021, se sugiere tomar en cuenta las recomendaciones propuestas.

## 9 CONCLUSIONES

La planta se encuentra en buenas condiciones físicas, los equipos que conforman los procesos de tratamiento están en buen estado y reciben mantenimiento preventivo de manera regular y programada.

De acuerdo con la información histórica, el efluente cumple con los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996, uso en riego agrícola (A); así como con la NOM-001-SEMARNAT-2021, suelo Infiltración y otros riegos. Sin embargo, las concentraciones de NT superan los valores contractuales.

Con respecto al monitoreo realizado durante el diagnóstico, se realizaron dos muestreos ya que durante el primero la PTAR entró en libranza, y se consideró que este paro repercutió de forma negativa en los resultados obtenidos, ya que la concentración de GyA y DQO son superiores a los LMP reportados en la NOM-001-SEMARNAT-2021. En el segundo muestreo (marzo 2022), nuevamente se observó que los valores de GyA, DQO y coliformes fecales son superiores a los límites permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Se presentaron valores de toxicidad superiores a las 2 UT en el efluente. La relación DQO/DBO<sub>5</sub> en ambos muestreos fue de 4.69 y 2.74 respectivamente, lo que denota que hay una influencia industrial, posiblemente clandestina, a pesar de que se considera que solo hay aportación público-urbana.

Los resultados del muestreo simple indican que el desarenador aireado no presentaba un desempeño adecuado para el control de GyA al momento de la evaluación. Con base en de los muestreos efectuados durante los trabajos de campo, los desarenadores aireados deben ser revisados para aumentar la eficiencia de remoción de GyA, o instalar dispositivos complementarios antes de los vertedores de los reactores primarios avanzados, junto con los dispositivos para la recolección de grasas y aceites.

El humedal, que asemeja más a una laguna, recibe una carga orgánica muy importante y no alcanza a llevar a cabo la función de desinfección. Se recomienda analice la reingeniería del humedal, considerando la posibilidad de implementar un humedal subsuperficial, alternando con secciones de espejo de agua.

Por otra parte, y considerando que el tratamiento primario avanzado es eficaz para el control de la materia orgánica particulada, y para cumplir con el límite permisible de DQO de la NOM-001-SEMARNAT-2021, es posible que se requiera una etapa adicional de tratamiento, en cuyo caso se sugiere que parte del efluente del tratamiento biológico se dirija a la descarga, para que a través de la mezcla de las dos corrientes disminuya la concentración

final de DQO en el agua tratada. De no ser suficiente, se tendría que ampliar la capacidad instalada del sistema biológico de tratamiento del agua.

El personal directivo, jefes de laboratorio, jefes de turno y operadores presentan conocimientos adecuados sobre el sistema de tratamiento de acuerdo con su nivel de desempeño, y se realizan cursos de capacitación de manera programada. Se recomienda impartir capacitación más dirigida a los operadores de turno, para mejorar sus conocimientos en temas asociados directamente con los procesos: sedimentación y flotación, lodos activados, digestión anaerobia, microbiología asociada al tratamiento de las aguas residuales. El laboratorio está acreditado por la EMA, cuenta con equipo adecuado y con personal suficiente y capacitado para realizar los análisis que se requieren en la PTAR. Asimismo, se tiene un esquema de seguridad que contempla los riesgos en la instalación.

El permiso de descarga de la PTAR está ubicado en las coordenadas 22°07'28.0" Norte y 100°52'48.0" Oeste, que no corresponde al punto en donde se efectúa el monitoreo de la descarga, 22°07'55.35" Norte y 100°52'40.40" Oeste. Se recomienda al organismo operador regularizar la información para evitar posibles sanciones. El operador señala que se ha reportado ante la Conagua, pero no se ha realizado esta corrección.



**Anexo C. Formato 3. Recursos Humanos**

| Nombre                          | Puesto                       | Escolaridad        | Antigüedad       |                  |
|---------------------------------|------------------------------|--------------------|------------------|------------------|
|                                 |                              |                    | En la planta     | En el puesto     |
| <b>Personal administrativo</b>  |                              |                    |                  |                  |
| JOSÉ MAXIMINO PARRA RAMOS       | GERENTE DE PLANTA            | UNIVERSIDAD        | 15 AÑOS, 3 MESES | 15 AÑOS, 3 MESES |
| MARTÍNEZ ALCARAZ ANA LETICIA    | JEFE DE FINANZAS             | UNIVERSIDAD        | 3 AÑOS, 3 MESES  | 3 AÑOS, 3 MESES  |
| PORTALES REYES SILVIA YAMILETTE | AUXILIAR DE FINANZAS         | UNIVERSIDAD        | 1 MES            | 1 MES            |
| ÁLVAREZ SALDAÑA CARLOS ALBERTO  | ALMACENISTA                  | TEC. BACHILLERATO  | 1 AÑO, 11 MESES  | 1 AÑO, 11 MESES  |
| CASTILLO QUIROZ GINA LUZ        | HRBP O y M                   | UNIVERSIDAD        | 2 AÑOS, 8 MESES  | 2 AÑOS, 8 MESES  |
| VELÁZQUEZ ROJAS ANA KAREN       | AUXILIAR DE RECURSOS HUMANOS | UNIVERSIDAD        | 5 AÑOS, 6 MESES  | 5 AÑOS, 6 MESES  |
| SILVA PABLO TEOBALDO            | CHOFER ADMINISTRATIVO        | SECUNDARIA         | 12 AÑOS          | 12 AÑOS          |
| <b>Personal operativo</b>       |                              |                    |                  |                  |
| HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ GUSTAVO     | COORDINADOR DE OPERACIÓN     | UNIVERSIDAD        | 11 AÑOS          | 11 AÑOS          |
| CELAYO ÁLVAREZ JAVIER           | JEFE DE TURNO                | UNIVERSIDAD TRUNCA | 7 AÑOS, 8 MESES  | 7 AÑOS, 8 MESES  |
| CRUZ SILVA ISMAEL               | OPERADOR                     | SECUNDARIA         | 6 AÑOS, 2 MESES  | 6 AÑOS, 2 MESES  |
| AGUILAR RODRÍGUEZ OMAR ISRAEL   | OPERADOR                     | BACHILLERATO       | 4 AÑOS, 3 MESES  | 4 AÑOS, 3 MESES  |
| HERNÁNDEZ CRUZ NOE              | OPERADOR                     | BACHILLERATO       | 4 AÑOS, 3 MESES  | 4 AÑOS, 3 MESES  |
| MONTES ENRIQUE CÁRDENAS         | OPERADOR                     | SECUNDARIA         | 4 AÑOS, 3 MESES  | 4 AÑOS, 3 MESES  |
| CAMPILLO LANTO ANTONIO          | OPERADOR                     | SECUNDARIA         | 2 MESES          | 2 MESES          |


| Nombre                           | Puesto                                    | Escolaridad        | Antigüedad       |                  |
|----------------------------------|---|--------------------|------------------|------------------|
|                                  |   |                    | En la planta     | En el puesto     |
| SIERRA BELTRÁN JUAN CARLOS       | JEFE DE TURNO                             | SECUNDARIA         | 16 AÑOS, 1 MES   | 16 AÑOS, 1 MES   |
| MONRREAL NÚÑEZ OSCAR ADRIÁN      | OPERADOR                                  | SECUNDARIA         | 5 MESES          | 5 MESES          |
| JOSÉ ANTONIO MORENO ALFONSO      | OPERADOR                                  | SECUNDARIA         | 10 MESES         | 10 MESES         |
| LÓPEZ ALVARADO JORGE ARMANDO     | JEFE DE TURNO                             | UNIVERSIDAD TRUNCA | 15 AÑOS, 3 MESES | 15 AÑOS, 3 MESES |
| <b>Personal de mantenimiento</b> |   |                    |                  |                  |
| NIETO RODRÍGUEZ OMAR ADRIÁN      | JEFE DE MANTENIMIENTO                     | UNIVERSIDAD        | 4 AÑOS           | 4 AÑOS           |
| RODRÍGUEZ MEDINA EDGAR           | RESPONSABLE DE PLANEACION Y MANTENIMIENTO | UNIVERSIDAD        | 2 AÑOS, 7 MESES  | 2 AÑOS, 7 MESES  |
| MEDINA GARCÍA JORGE ROBERTO      | ELÉCTRICO                                 | PREPARATORIA       | 4 AÑOS, 1 MES    | 4 AÑOS, 1 MES    |
| GÓMEZ JURADO ESTEBAN RODRIGO     | INSTRUMENTISTA                            | UNIVERSIDAD        | 2 AÑOS, 1 MES    | 2 AÑOS, 1 MES    |
| DANNETH ALYX MURRAY LÓPEZ        | BECARIA DE MANTENIMIENTO                  | UNIVERSIDAD TRUNCA | 2 MESES          | 2 MESES          |
| CRUZ ÁVILA EDGAR GERARDO         | MECANICO                                  | SECUNDARIA TRUNCA  | 3 AÑOS, 3 MESES  | 3 AÑOS, 3 MESES  |
| PARDO SANTOS JOSÉ DE JESÚS       | AUXILIAR ELÉCTRICO                        | UNIVERSIDAD TRUNCA | 3 AÑOS, 1 MES    | 3 AÑOS, 1 MES    |
| <b>Personal de laboratorio</b>   |   |                    |                  |                  |
| CASTILLO ESCOBEDO BRENDA LUCÍA   | COORDINADOR. DE LABORATORIO Y CALIDAD     | UNIVERSIDAD        | 10 MESES         | 10 MESES         |
| VILLELA SEGOVIANO MIGUEL         | ANALISTA DE LABORATORIO                   | UNIVERSIDAD        | 14 AÑOS, 6 MESES | 14 AÑOS, 6 MESES |
| RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ ANA LAURA    | ANALISTA DE LABORATORIO                   | UNIVERSIDAD        | 1 AÑO, 7 MESES   | 1 AÑO, 7 MESES   |
| MEJÍA BARRÓN RAÚL                | ANALISTA DE LABORATORIO                   | UNIVERSIDAD        | 6 MESES          | 6 MESES          |
| RIVERA RUIZ ALEXIA PRISSEL       | BECARIA DE LABORATORIO                    | UNIVERSIDAD        | 2 MESES          | 2 MESES          |

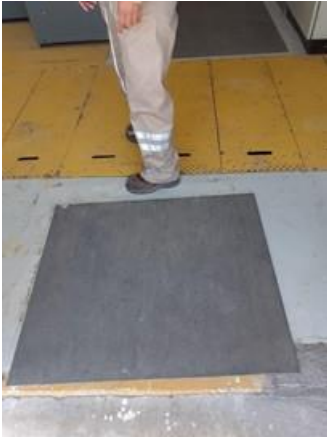


| Nombre                            | Puesto                                  | Escolaridad | Antigüedad      |                 |
|-----------------------------------|---|-------------|-----------------|-----------------|
|                                   |   |             | En la planta    | En el puesto    |
| GUTIÉRREZ CASTRO CARLOS FILIBERTO | ANALISTA DE LABORATORIO                 | UNIVERSIDAD | 1 AÑO, 8 MESES  | 1 AÑO, 8 MESES  |
| <b>Otros puestos</b>              |   |             |                 |                 |
| FAJARDO LARA KARLA MARINA         | COORDINADORA DE HIGIENE Y SEGURIDAD     | UNIVERSIDAD | 2 AÑOS, 4 MESES | 2 AÑOS, 4 MESES |
| VALDEZ PÉREZ LEONARDO JONATHAN    | TÉCNICO DE SEGUIMIENTO Y MEDIO AMBIENTE | UNIVERSIDAD | 2 AÑOS, 4 MESES | 2 AÑOS, 4 MESES |

**Anexo D. Formato 15. Seguridad e Higiene**


|                   |            |
|-------------------|------------|
| Nombre de la PTAR | EL TENORIO |
|-------------------|------------|

|                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Responsable de seguridad e higiene | <b>Karla Marina Fajardo Lara</b> |
|------------------------------------|----------------------------------|

| Zonas de riesgo en PTAR |  |   |
|-------------------------|--|---|
| Evento                  | Zona de riesgo                               | Fotografía  |
| Sismo                   | <b>No es zona sísmica</b>                    |   |
| Inundación              | <b>No es zona de inundación</b>              |   |
| Nivel cerámico          | <b>No</b>                                    |   |
| Explosión               | <b>Gasómetro para metano, sin problemas</b>  |   |
| Incendio                | <b>CCm zonas una subestación y tres CCMs</b> |  |

| <b>Zonas de riesgo en PTAR</b> |                       |  |
|--------------------------------|-----------------------|--|
| <b>Evento</b>                  | <b>Zona de riesgo</b> | <b>Fotografía</b>  |
|                                |                       |    |

| Zonas de riesgo en PTAR |   |   |
|-------------------------|---|---|
| Evento                  | Zona de riesgo  | Fotografía  |
|                         |   |   |
| Disturbio               | <b>No</b>   |   |
| Derrame                 | <b>Controlados por un dique</b>   |  |
| Riesgo sanitario        | <b>Microbiológico, pruebas COVID cada 15 días, desparasitación cada 3 meses</b> |   |
| Riesgo químico          | <b>Si trabaja con químicos</b>  |   |

| <b>Zonas de riesgo en PTAR</b>    |  |  |
|-----------------------------------|--|--|
| <b>Evento</b>                     | <b>Zona de riesgo</b>  | <b>Fotografía</b>  |
| Riesgo de gases orgánicos         | <b>Si, como PTAR</b>   |  |
| Riesgo de caídas                  | <b>No</b>  |  |
| Riesgos eléctricos                | <b>Por los CCM</b>   |  |
| Riesgos con sopladores            | <b>Ruido, se utilizan conchas acústicas Se realizan pruebas de audiometría</b> |  |
| Riesgos con equipos pesados       | <b>No</b>  |  |
| Ingreso de personal no autorizado | <b>No</b>  |  |

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Cuentan con un estudio de análisis de riesgos en la PTAR | <b>Por protección Civil</b> |
|--|-----------------------------|

| <b>Plan de contingencia</b>          |               |  |
|--------------------------------------|---------------|--|
| <b>Tipo</b>                          | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>                           |
| Atención a incendios                 | <b>Si</b>     |  |
| Atención de derrames de combustibles | <b>Si</b>     |  |
| Atención a un sismo                  | <b>Si</b>     | <b>Solo por simulacro nacional, personales</b> |

|  |           |                                     |
|--|-----------|-------------------------------------|
| Atención a tormentas eléctricas (rayos)  | <b>Si</b> | <b>Red de pararrayos en la PTAR</b> |
| Atención a explosión   | <b>Si</b> |                                     |
| Atención a contingencias técnicas  | <b>Si</b> | <b>Operación y mantenimiento</b>    |
| Atención de personal   | <b>Si</b> |                                     |
| Atención a sabotajes   | <b>Si</b> | <b>Conato de crisis y guardias</b>  |
| Atención para el transporte y almacenamiento de combustibles y sustancias químicas | <b>Si</b> |                                     |
| Prácticas para la realización de simulacros  | <b>Si</b> |                                     |


|                                       |                                  |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Coordinador del comité de emergencias | <b>Perla Marina Fajardo Lara</b> |
|---------------------------------------|----------------------------------|




| <b>Otras disposiciones</b>  |               |  |
|---|---------------|--|
| <b>Tipo</b>   | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>                             |
| Teléfonos de emergencia visibles  | <b>Si</b>     |  |
| Teléfono fijo para llamadas de emergencia   | <b>Si</b>     | <b>Teléfonos y satelital, radios satelitales</b> |
| Disposiciones de seguridad a empresas tercerizadas que ingresan a la PTAR   | <b>Si</b>     |  |
| Disposiciones de seguridad a personal externo que ingresa a la PTAR   | <b>Si</b>     |  |
| Se proporciona equipo de protección personal a los trabajadores   | <b>Si</b>     |  |
| Se proporciona a los trabajadores la capacitación y el adiestramiento necesario para el uso, limpieza, mantenimiento, limitaciones y almacenamiento del equipo de protección personal | <b>Si</b>     |  |
| Los trabajadores cuentan con información  | <b>Si</b>     | <b>Ficha IPER a cada uno,</b>                    |










| <b>Otras disposiciones</b>  |               |   |
|---|---------------|---|
| <b>Tipo</b>   | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>                          |
| sobre los riesgos a los que están expuestos y el equipo de protección personal que deben utilizar |               | <b>Puesto de trabajo y riesgos personales</b> |





| <b>Brigadas</b>                              |                        |                        |   |   |
|--|------------------------|------------------------|---|---|
| <b>Tipo</b>                                  | <b>No. brigadistas</b> | <b>Jefe de brigada</b> | <b>Equipo con el que cuentan</b>                  | <b>Capacitación (periodo, duración)</b> |
| Brigada de evacuación                        | <b>7</b>               | <b>1</b>               | <b>Radios, teléfonos, alarma voceador</b>         | <b>Anualmente</b>                       |
| Brigada de primeros auxilios                 | <b>7</b>               | <b>1</b>               | <b>Primeros auxilios, 2 Kits trauma y camilla</b> | <b>Anualmente</b>                       |
| Brigadas de prevención y combate de incendio | <b>7</b>               | <b>1</b>               | <b>Extintores varios, unidades móviles</b>        | <b>Anualmente</b>                       |
| Brigada de búsqueda y rescate                | <b>7</b>               | <b>1</b>               | <b>Bomberos, radios y teléfonos</b>               | <b>Anualmente</b>                       |
| Otra Brigada de derrames químicos            | <b>7</b>               | <b>1</b>               | <b>Trajes anticorrosión A y B, Kit B</b>          |   |
| Otra Brigada comunicación                    | <b>2</b>               |                        | <b>Radios y teléfonos</b>                         |   |


| <b>Señalización</b>   |               |                      |   |
|---|---------------|----------------------|---|
| <b>Indicador</b>  | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b>   |
| Se ubican las señales de seguridad e higiene de tal manera que puedan ser observadas e interpretadas por los trabajadores a los que están destinados y se evita que sean obstruidas.            | <b>Si</b>     | <b>NOM-026</b>       |    |
| Se identifican y señalan las áreas en donde se requiera el uso obligatorio del Equipo de Protección personal correspondiente.   | <b>Si</b>     |                      |   |
| Se garantiza que la aplicación del código de colores, señalización y la identificación en la tubería están sujetas a un mantenimiento que asegure en todo momento su visibilidad y legibilidad. | <b>Si</b>     | <b>NOM-026</b>       |  |
| Se identifican los depósitos, recipientes y áreas que contengan sustancias químicas peligrosas o los residuos de éstas.   | <b>Si</b>     | <b>NOM-018</b>       |  |

| Señalización                                    |           |               |   |
|---|-----------|---------------|---|
| Indicador                                       | Cumple    | Observaciones | Fotografía  |
|   |           |               |    |
| Se encuentran señaladas las rutas de evacuación | <b>Si</b> |               |   |
| Se encuentran señaladas las zonas de peligro    | <b>Si</b> |               |  |

| Señalización |        |               |  |
|--------------|--------|---------------|--|
| Indicador    | Cumple | Observaciones | Fotografía   |
|              |        |               |    |

| Señalización   |           |               |  |
|--|-----------|---------------|--|
| Indicador  | Cumple    | Observaciones | Fotografía   |
|  |           |               |    |
| Se encuentran señalados la ubicación de los extintores | <b>Si</b> |               |   |

| Señalización |        |               |   |
|--------------|--------|---------------|---|
| Indicador    | Cumple | Observaciones | Fotografía  |
|              |        |               | <br><br><br> |

| Señalización   |        |               |   |
|--|--------|---------------|---|
| Indicador  | Cumple | Observaciones | Fotografía  |
| Se encuentran señalados la ubicación de los lavaojos | Si     |               |  |




| Riesgos generales      |   |  |                     |
|------------------------|---|--|---------------------|
| Riesgo                 | Origen  | Medidas preventivas en la PTAR             | Medidas correctivas |
| Infecciones            | Contacto de patógenos con piel, ojos, quemaduras, cortadas, raspones y boca       | <b>Vacunación, equipo personal, overol</b> |                     |
| Daño físico            | Ahogamiento   | <b>Chalecos y aros salvavidas</b>          |                     |
|                        | Caídas y resbalones   | <b>Zapatos antiderrapantes y pasamanos</b> |                     |
| Fuego                  | Almacenamiento inadecuado de materiales y químicos junto a una fuente de ignición | <b>NA</b>                                  |                     |
| Exposición a químicos, | Químicos  | <b>NA</b>                                  |                     |
|                        | Reacciones químicas   | <b>NO</b>                                  |                     |



| <b>Riesgos generales</b>                      |                                |                                       |                            |
|---|--------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| <b>Riesgo</b>                                 | <b>Origen</b>                  | <b>Medidas preventivas en la PTAR</b> | <b>Medidas correctivas</b> |
| gases y vapores tóxicos, corrosivos o nocivos | Desechos industriales          | <b>NO</b>                             |                            |
|   | Laboratorio                    | <b>Área de residuos peligrosos</b>    |                            |
| Descargas eléctricas                          | Equipo defectuoso              | <b>No</b>                             |                            |
|   | Aterrizado en forma inadecuada | <b>No</b>                             |                            |
|   | Aislamiento insuficiente       | <b>No</b>                             |                            |
|   | Cortocircuito                  | <b>No</b>                             |                            |

| <b>Atención médica</b>                           |               |                                  |                   |
|--|---------------|----------------------------------|-------------------|
| <b>Requisito</b>                                 | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>             | <b>Fotografía</b> |
| Cuenta la PTAR con enfermería                    | <b>Si</b>     | <b>Con una enfermera</b>         |                   |
| Cuenta la PTAR con médico de planta              | <b>NA</b>     |                                  |                   |
| Cuenta la PTAR con paramédico                    | <b>Si</b>     | <b>Todas las brigadas con D3</b> |                   |
| Distancia a la atención hospitalaria más cercana |               | <b>Clínica 57 IMSS</b>           |                   |


| <b>Riesgos sanitarios</b>             |               |  |                   |
|---------------------------------------|---------------|--|-------------------|
| <b>Requisito</b>                      | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>                           | <b>Fotografía</b> |
| Esquema de vacunación de trabajadores | <b>SI</b>     | <b>Neumococos, COVID, hepatitis, influenza</b> |                   |
| Vacuna específica solicitada por PTAR | <b>Si</b>     | <b>Todos con cuadro de vacunación completa</b> |                   |




| <b>Riesgos sanitarios</b>                 |               |                      |   |
|---|---------------|----------------------|---|
| <b>Requisito</b>                          | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b>   |
| Uso de ropa y zapatos adecuados           | <b>Si</b>     |                      |    |
| Uso de guantes                            | <b>Si</b>     |                      |   |
| Uso de mascarilla                         | <b>Si</b>     |                      |   |
| Uso de lentes transparentes               | <b>Si</b>     |                      |   |
| Uso de casco                              | <b>Si</b>     |                      |   |
| Lugar designado para consumo de alimentos | <b>Si</b>     |                      |   |
| Zonas para fumar                          | <b>Si</b>     |                      |  |


| <b>Riesgos sanitarios</b>                  |               |  |   |
|--|---------------|--|---|
| <b>Requisito</b>                           | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>                               | <b>Fotografía</b>   |
| Uso de gel antibacterial                   | <b>Si</b>     |  |    |
| Disponición de guantes y mascarillas       | <b>Si</b>     | <b>Mensual, antígenos pruebas</b>                  |   |
| Desinfección de material de trabajo y ropa | <b>Si</b>     | <b>Lavandería</b>                                  |   |
| Uso de duchas al terminar el turno         | <b>Si</b>     | <b>Cuentan con vestidor con ducha y sanitarios</b> |  |

| <b>Riesgos químicos</b>               |               |                      |  |
|---------------------------------------|---------------|----------------------|--|
| <b>Requisito</b>                      | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b>  |
| Almacén de productos ventilados       | <b>SI</b>     |                      | <br> |
| Separación de productos químicos      | <b>SI</b>     |                      |  |
| Uso de máscara con filtros apropiados | <b>SI</b>     |                      |  |
| Uso de guantes de látex o neopreno    | <b>SI</b>     |                      |  |
| Uso de lentes transparentes           | <b>SI</b>     |                      |  |
| Uso de botas de hule                  | <b>SI</b>     |                      |   |

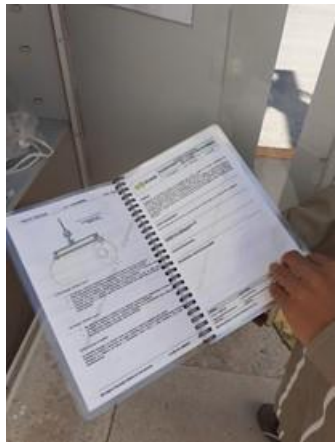
| <b>Riesgos con gases orgánicos</b>                              |               |   |   |
|---|---------------|---|---|
| <b>Requisito</b>  | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>  | <b>Fotografía</b>   |
| Equipo portátil de medición de concentración de gases orgánicos | Si            | Metano, H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> y Oxígeno |  |
| Arnés de seguridad  | Si            |   |   |
| Uso de máscara con filtros apropiados                           | Si            |   |   |
| Trabajo en equipo   | Si            |   |   |

| <b>Riesgos de caídas</b>      |               |                      |   |
|-------------------------------|---------------|----------------------|---|
| <b>Requisito de seguridad</b> | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b>   |
| Arnés de seguridad            | Si            |                      |  |

| <b>Riesgos de caídas</b>      |               |                      |   |
|-------------------------------|---------------|----------------------|---|
| <b>Requisito de seguridad</b> | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b>   |
| Chaleco salvavidas            | SI            |                      |  |
| Trabajo en equipo             | SI            |                      |   |

| <b>Riesgos eléctricos</b>                 |               |   |   |
|---|---------------|---|---|
| <b>Requisito de seguridad</b>             | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>                                  | <b>Fotografía</b>   |
| Equipos y tableros aterrizados            | Si            |   |   |
| Zapatos aislantes                         | SI            |   |   |
| Casco                                     | SI            |   |   |
| Lentes de seguridad                       | SI            |   |   |
| Herramientas especiales para electricidad | SI            | Además cuentan con material etiquetado para candado y |  |

| <b>Riesgos con sopladores</b> |               |                                 |                   |
|-------------------------------|---------------|---------------------------------|-------------------|
| <b>Requisito de seguridad</b> | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>            | <b>Fotografía</b> |
| Sonómetro                     | Si            |                                 |                   |
| Casco                         | SI            |                                 |                   |
| Protectores auditivos         | Si            | Pruebas auditivas<br>anualmente |                   |
| Guantes aislantes             | Si            |                                 |                   |

| <b>Riesgos con equipos pesados</b>      |               |                      |   |
|---|---------------|----------------------|---|
| <b>Requisito de seguridad</b>           | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b>   |
| Zapato de seguridad                     | NA            |                      |   |
| Casco                                   | NA            |                      |   |
| Faja                                    | NA            |                      |   |
| Guantes de carnaza o de malla metálica  | NA            |                      |   |
| Trabajo en equipo                       | NA            |                      |   |
| Uso de equipo de levantamiento mecánico | NA            |                      |  |

| <b>Actividades en PTAR que involucran riesgos</b> |           |
|---|-----------|
| Extracción de sólidos en rejillas manuales        |           |
| Frecuencia  | <b>NA</b> |

| <b>Actividades en PTAR que involucran riesgos</b>       |                         |
|---|-------------------------|
| No. personas que lo realizan                            | <b>NA</b>               |
| Describa la secuencia operativa (metodología)           | <b>NA</b>               |
| Describa el equipo de protección personal utilizado     | <b>NA</b>               |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área | <b>NA</b>               |
| <b>Extracción de sólidos en rejillas mecanizadas</b>    |                         |
| Frecuencia  | <b>En continuo</b>      |
| No. personas que lo realizan                            | <b>Mecánico</b>         |
| Describa la secuencia operativa (metodología)           | <b>Mecánico</b>         |
| Describa el equipo de protección personal utilizado     | <b>NA</b>               |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área | <b>NA</b>               |
| <b>Extracción de arena en desarenadores</b>             |                         |
| Frecuencia  | <b>Medios mecánicos</b> |
| No. personas que lo realizan                            | <b>Medios Mecánicos</b> |
| Describa la secuencia operativa (metodología)           | <b>Na</b>               |
| Describa el equipo de protección personal utilizado     | <b>NA</b>               |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área | <b>NA</b>               |
| <b>Medición de parámetros en sistemas biológicos</b>    |                         |
| Frecuencia  |                         |
| No. personas que lo realizan                            |                         |
| Describa la secuencia operativa (metodología)           |                         |

| <b>Actividades en PTAR que involucran riesgos</b>                    |  |
|--|--|
| Describa el equipo de protección personal utilizado                  |  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área              |  |
| <b>Mantenimiento y limpieza de agitadores en sistemas biológicos</b> |  |
| Frecuencia   |  |
| No. personas que lo realizan   |  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)                        |  |
| Describa el equipo de protección personal utilizado                  |  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área              |  |
| <b>Limpieza de espumas en sistemas biológicos</b>                    |  |
| Frecuencia   |  |
| No. personas que lo realizan   |  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)                        |  |
| Describa el equipo de protección personal utilizado                  |  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área              |  |
| <b>Vaciado de unidad de proceso</b>                                  |  |
| Frecuencia   |  |
| No. personas que lo realizan   |  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)                        |  |
| Describa el equipo de protección personal utilizado                  |  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área              |  |



| <b>Actividades en PTAR que involucran riesgos</b>       |  |
|---|--|
| Control de bombas para diferentes pasos del proceso     |  |
| Frecuencia  |  |
| No. personas que lo realizan                            |  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)           |  |
| Describa el equipo de protección personal utilizado     |  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área |  |
| Disposición de grasas y aceites                         |  |
| Frecuencia  |  |
| No. personas que lo realizan                            |  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)           |  |
| Describa el equipo de protección personal utilizado     |  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área |  |
| Cámara de mezcla y depósitos de productos químicos      |  |
| Productos que se manipulan                              | <b>Desechos de laboratorio, y proceso físico/químico</b> |
| Tareas que se realizan                                  |  |
| No. personas que lo realizan                            | <b>1</b>   |
| Frecuencia  | <b>cada mes</b>  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)           |  |
| Describa el equipo de protección personal utilizado     | <b>Todo su equipo</b>                                    |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área | <b>Si</b>  |

| <b>Actividades en PTAR que involucran riesgos</b>       |  |
|---|--|
| Control de tableros eléctricos                          |  |
| Frecuencia  | <b>Diario</b>  |
| No. personas que lo realizan                            | <b>1</b>   |
| Describa la secuencia operativa (metodología)           |  |
| Describa el equipo de protección personal utilizado     | <b>Todo su equipo</b>  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área | <b>Cuenta con un equipo para quitar electricidad al operados</b> |



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



## **PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

### **PROYECTO No.309621**

# **“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA”**

## **DIAGNÓSTICO DE LA PTAR**

### **“ORIENTE”**

**DURANGO, DGO.**

## ÍNDICE

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 1      | INFORMACIÓN DE LA PTAR .....  | 546 |
| 1.1    | Datos generales.....  | 546 |
| 1.2    | Ubicación.....  | 546 |
| 1.3    | Descripción del proceso.....  | 547 |
| 2      | REVISIÓN DOCUMENTAL .....   | 550 |
| 2.1    | Planos.....   | 550 |
| 2.2    | Permiso de descarga .....   | 550 |
| 2.3    | Análisis de la memoria de cálculo.....  | 553 |
| 2.4    | Análisis de la información histórica de calidad del agua .....                  | 556 |
| 2.4.1  | Caudal .....  | 557 |
| 2.4.2  | pH.....   | 558 |
| 2.4.3  | Coliformes fecales.....   | 559 |
| 2.4.4  | Grasas y Aceites .....  | 559 |
| 2.4.5  | Huevos de Helminto.....   | 561 |
| 2.4.6  | Materia flotante.....   | 561 |
| 2.4.7  | Sólidos sedimentables.....  | 561 |
| 2.4.8  | Sólidos suspendidos totales (SST).....  | 561 |
| 2.4.9  | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....  | 562 |
| 2.4.10 | Nitrógeno Total (NT), nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y nitrógeno amoniacal..... | 563 |
| 2.4.11 | Fósforo Total (PT) .....  | 565 |
| 2.4.12 | Metales pesados y cianuros.....   | 566 |
| 2.4.13 | Demanda Química de Oxígeno (DQO).....   | 568 |
| 2.5    | Análisis de la información del Proceso.....                                     | 570 |
| 2.5.1  | Análisis rutinarios .....   | 570 |
| 2.5.2  | Manual de operación.....  | 570 |
| 2.5.3  | Reportes de operación (bitácoras) .....   | 570 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 2.5.4 | Mantenimiento.....                               | 570 |
| 3     | ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR..... | 571 |
| 3.1   | Descripción del proceso.....                     | 571 |
| 3.2   | Estado de las unidades de proceso.....           | 580 |
| 3.2.1 | Equipos electromecánicos.....                    | 591 |
| 3.3   | Muestreo y calidad del agua residual.....        | 595 |
| 3.3.1 | Resultados del muestreo compuesto.....           | 602 |
| 3.3.2 | Resultados de muestreo simple.....               | 613 |
| 3.3.3 | Determinaciones de campo.....                    | 615 |
| 3.3.4 | Influencia industrial.....                       | 622 |
| 4     | DIAGNÓSTICO DE PERSONAL.....                     | 623 |
| 4.1   | Recursos Humanos.....                            | 623 |
| 4.2   | Evaluación de conocimientos.....                 | 623 |
| 4.3   | Capacitación.....                                | 624 |
| 4.3.1 | Cursos de capacitación recibidos.....            | 624 |
| 4.3.2 | Temas de capacitación solicitados.....           | 624 |
| 4.3.3 | Material didáctico entregado.....                | 625 |
| 5     | SEGURIDAD E HIGIENE.....                         | 642 |
| 6     | LABORATORIO.....                                 | 645 |
| 7     | CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR.....  | 649 |
| 7.1   | Causas.....                                      | 649 |
| 7.2   | Descripción de la causa y recomendaciones.....   | 650 |
| 7.2.1 | Nivel I.....                                     | 650 |
| 7.2.2 | Nivel II.....                                    | 652 |
| 7.2.3 | Nivel III.....                                   | 652 |
| 8     | CONCLUSIONES.....                                | 653 |
|       | ANEXO A. Formato 3. Recursos Humanos.....        | 658 |
|       | ANEXO B. Formato 15. Seguridad e Higiene.....    | 660 |

## TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1. Datos generales .....   | 546 |
| Tabla 2. Ubicación y contacto .....  | 547 |
| Tabla 3. Condiciones particulares de descarga (CPD) de PTAR Oriente ....   | 552 |
| Tabla 4. Parámetros de diseño para la PTAR Durango Oriente .....   | 554 |
| Tabla 5. Comparativa entre TRH y caudales de diseño y operación para las lagunas aireadas.....                         | 555 |
| Tabla 6. Volúmenes requeridos para TRH diseño.....   | 556 |
| Tabla 7. Concentraciones para metales pesados y Cianuros, promedios anuales.....                                       | 567 |
| Tabla 8. Concentraciones promedio, mínimos y máximos para metales pesados y cianuros.....                              | 567 |
| Tabla 9. Valores históricos del influente reportados en 2020 .....   | 569 |
| Tabla 10. Coordenadas de las seis lagunas de la PTAR Durango Oriente..   | 576 |
| Tabla 11. Dimensiones de las seis lagunas aireadas .....   | 576 |
| Tabla 12. Volúmenes anuales de agua de reúso canalizada hacia Fenosa   | 578 |
| Tabla 13. Relación de número de equipos de acuerdo con cada sección de la PTAR.....                                    | 591 |
| Tabla 14. Caudales registrados en la visita diagnóstico para las 6 bombas que alimentan las lagunas de aireación ..... | 593 |
| Tabla 15. Parámetros evaluados.....  | 600 |
| Tabla 16. Valores de las muestras simples. ....  | 602 |
| Tabla 17. Contenido de coliforme fecales y E. coli. ....   | 606 |
| Tabla 18. Resultados de laboratorio de muestra compuesta.....  | 609 |
| Tabla 19 Resultados obtenidos de las muestras puntuales .....  | 614 |
| Tabla 20. Laguna A1.....   | 617 |
| Tabla 21. Laguna A2 .....  | 618 |
| Tabla 22. Laguna A3.....   | 619 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 23. Laguna B1 .....  | 619 |
| Tabla 24. Laguna B2 .....  | 621 |
| Tabla 25 Laguna B3 .....   | 621 |
| Tabla 26. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR ..... | 649 |

## **FIGURAS**

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1. Tren de tratamiento de la PTAR Durango Oriente .....  | 548 |
| Figura 2. Descargas de la PTAR Durango Oriente .....  | 549 |
| Figura 3. Ubicación de la descarga de la PTAR Durango Oriente.....  | 551 |
| Figura 4. Tendencia del flujo de 2018 a 2021.....   | 558 |
| Figura 5. Tendencia pH, de 2018 a 2021 .....  | 559 |
| Figura 6. Tendencia Grasas y Aceites, 2018 a 2021 .....   | 560 |
| Figura 7. Tendencia sólidos suspendidos totales, de 2018 a 2021.....  | 562 |
| Figura 8. Tendencia DBO, de 2018 a 2019 .....   | 563 |
| Figura 9. Tendencia nitrógeno total, de 2018 a 2021. ....   | 564 |
| Figura 10 Tendencia del NTK, de 2018 a 2021.....  | 565 |
| Figura 11. Tendencia fósforo total, de 2018 a 2021.....   | 566 |
| Figura 12. Tendencia Demanda Química de Oxígeno, de 2018 a 2021 .....   | 569 |
| Figura 13. Rejillas gruesas .....   | 571 |
| Figura 14. Rejillas finas .....   | 572 |
| Figura 15. Desarenadores.....   | 573 |
| Figura 16. Cárcamo de bombeo y caja distribuidora .....   | 574 |
| Figura 17. Vista aérea y esquemática (tomada del plano general de la planta) del sistema lagunar de la PTAR Oriente ..... | 575 |
| Figura 18. Lagunas A1, A2, A3 y esquema .....   | 577 |
| Figura 19. Canal arroyo Acequia Grande y laguna de almacenamiento ...   | 578 |
| Figura 20. Sopladores para las lagunas .....  | 579 |
| Figura 21. Sistema de aireación para las lagunas .....  | 580 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 22. Área de confinamiento de los residuos sólidos del pretratamiento .....  | 581 |
| Figura 23. Canal desarenador fuera de operación (primer canal de izquierda a derecha en vista frontal) .....                                       | 582 |
| Figura 24. Estado físico del pretratamiento.....   | 584 |
| Figura 25. Ubicación de líneas de distribución flotantes en las lagunas y estructuras de los paneles sumergidos que sostienen a los difusores..... | 585 |
| Figura 26. Líneas de distribución hundidas.....  | 586 |
| Figura 27. Vialidades internas en la PTAR .....  | 587 |
| Figura 28. Uso de barcaza para el mantenimiento de las líneas flotantes de distribución de aire .....  | 588 |
| Figura 29. Caudal mensual 2019 (a) y consumo energético por metro cúbico (m <sup>3</sup> ) de agua residual tratada (b).....                       | 589 |
| Figura 30. Estado físico de la sección de desinfección de la PTAR .....  | 591 |
| Figura 31. Planta de emergencia (a, b y c) y subestación eléctrica (d) .....   | 592 |
| Figura 32. Medidores de caudal de las seis bombas que alimentan a las lagunas aireadas.....  | 593 |
| Figura 33. Medidores de caudal (Hydrocontrol y Greyline) a la salida de las lagunas aireadas y portadas de los informes de calibración .....       | 594 |
| Figura 34. Puntos de muestreo PTAR Durango Oriente.....  | 598 |
| Figura 35. Caudal .....  | 603 |
| Figura 36. Tendencias para pH.....   | 604 |
| Figura 37. Tendencias para temperatura .....   | 605 |
| Figura 38. Tendencias para Grasas y Aceites.....   | 605 |
| Figura 39. Tendencias para CF y E. coli .....  | 607 |
| Figura 40 Toxicidad de la muestra compuesta expresada en CE50 (%) y UT. ....   | 612 |
| Figura 41 Puntos de determinación de pH, OD y manto de lodos dentro de cada laguna.....  | 616 |
| Figura 42. Portada de los manuales.....  | 626 |
| Figura 43. Infografías.....  | 633 |





**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



|   |     |
|---|-----|
| Figura 44. Manual de ejercicios prácticos .....   | 634 |
| Figura 45. Kit de figuras.....  | 639 |
| Figura 46. Entrega de material didáctico.....   | 640 |
| Figura 47. Entrega y recepción de materiales de apoyo técnico impreso.                      | 641 |
| Figura 48 Señalización en oficinas.....   | 642 |
| Figura 49 Equipo de seguridad.....  | 644 |
| Figura 50. Equipos de medición e instrumentos para análisis ubicados en el laboratorio..... | 648 |

## 10 INFORMACIÓN DE LA PTAR

### 10.1 Datos generales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Durango Oriente” fue construida en 1996 e inició sus operaciones en 1997. De acuerdo con la información proporcionada por el organismo operador, la PTAR recibe el agua residual que se genera en la ciudad de Durango y está diseñada para tratar un caudal de 2,000 L/s. Actualmente la PTAR Durango Oriente opera con un gasto de 1,680 L/s dando servicio a una población aproximada de 720,000 habitantes. En la Tabla 103 se presentan algunos datos generales de la planta.

**Tabla 103. Datos generales**

| <b>Datos generales</b>                    |                  |                     |                         |
|---|------------------|---------------------|-------------------------|
| Año de construcción                       | <b>1996</b>      | Inicio de operación | <b>1997</b>             |
| Municipios de los cuales recibe descargas | <b>Durango</b>   | Población servida   | <b>720,000 hab</b>      |
| Actualización más reciente                | <b>Ninguna</b>   | Tipo de tratamiento | <b>Lagunas aireadas</b> |
| Gasto de diseño                           | <b>2,000 L/s</b> | Gasto de operación  | <b>1680 L/s</b>         |

De acuerdo el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, (diciembre 2020), la PTAR Oriente tiene como nombre PTAR Victoria de Durango, con un proceso de lodos activados (convencional), y con una capacidad instalada de 2,000 L/s y un caudal tratado de 1,850 L/s.

### 10.2 Ubicación

La PTAR Durango Oriente se encuentra ubicada en el Municipio de Durango, estado de Durango. La planta es operada por Aguas del Municipio de Durango (AMD) y se encuentra a cargo del Ing. Esteban García Castillo. En la Tabla 2 se muestran los datos de ubicación y contacto de la PTAR.

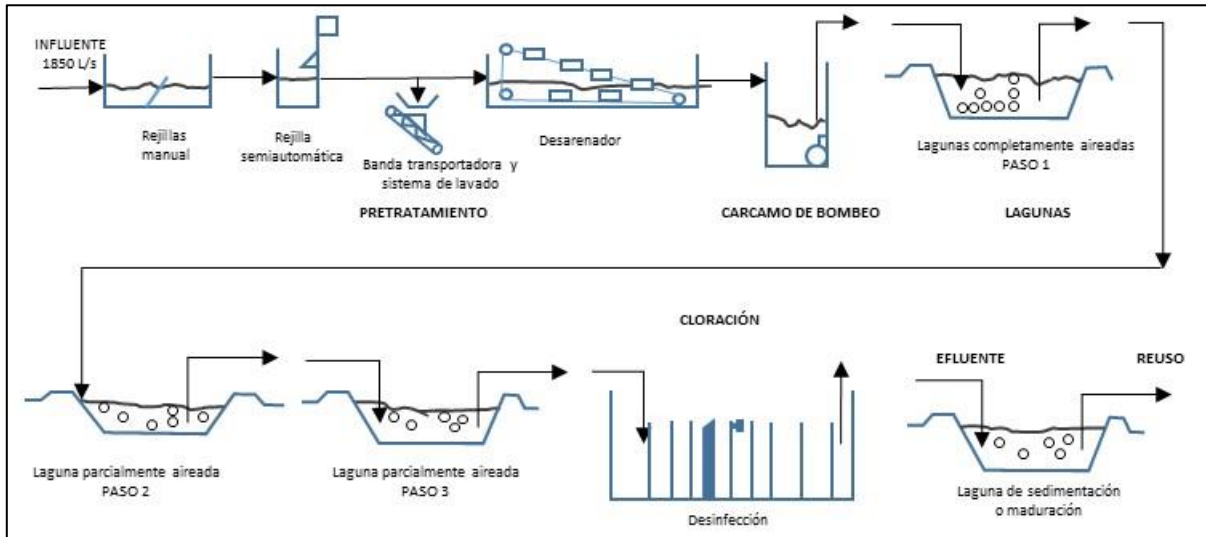
**Tabla 104. Ubicación y contacto**

| <b>Ubicación</b>   |   |   |                                  |
|--------------------|---|---|----------------------------------|
| Nombre de la PTAR  | <b>Oriente</b>                            | Mapa de ubicación<br> |                                  |
| Calle y número     | <b>Carretera a México km 3.5</b>          |   |                                  |
| Colonia y C.P.     | <b>Col. 20 Noviembre C.P. 34288</b>       |   |                                  |
| Municipio y estado | <b>Durango, Durango</b>                   |   |                                  |
| Coordenadas        | <b>24°1'24.708"N,<br/>104°36'20.736"E</b> |   |                                  |
| <b>Contacto</b>    |   |   |                                  |
| Nombre             | <b>Esteban García Castillo</b>            | Puesto  | <b>Jefe de planta</b>            |
| Correo electrónico | <b>yaevha@hotmail.com</b>                 | Teléfono  | <b>61 850 0600<br/>Ext. 2087</b> |

### 10.3 Descripción del proceso

Las aguas residuales generadas en el municipio de Durango son enviadas directamente a la planta Oriente, la cual cuenta con las siguientes operaciones unitarias dentro de su tren de tratamiento (Figura 1):

- 1) Rejillas (gruesas y finas)
- 2) Desarenadores
- 3) Cárcamo de bombeo
- 4) Proceso aerobio (lagunas aireadas)
- 5) Desinfección.



Fuente: Diagrama proporcionado por el organismo operador

**Figura 268. Tren de tratamiento de la PTAR Durango Oriente**

El tren de tratamiento cuenta con un pretratamiento conformado por rejillas gruesas manuales, dos unidades de rejillas finas mecánicas y tres desarenadores mecánicos. Posteriormente, el agua se conduce a un cárcamo de bombeo que se conecta con los sistemas lagunares, los cuales constan de dos líneas en paralelo cada una, con tres lagunas aireadas. Después del sistema lagunar se tiene el proceso de desinfección conformado por canales en serpentina. Finalmente, el agua tratada se descarga en dos puntos:

- 1) el arroyo denominado “Acequia Grande” ubicado en la periferia norte de la PTAR y
- 2) una laguna de almacenamiento aledaña a las lagunas A3 y B3 (denominada laguna de sedimentación), la cual es utilizada para riego agrícola y también se conecta con la entrada para el sistema de bombeo de la empresa Fuerza Energía Norte Durango SA de CV, FENOSA (Figura 269).

Es importante aclarar que el permiso de descarga comprende únicamente el vertido al arroyo (cuerpo receptor tipo A de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996).



**Figura 269. Descargas de la PTAR Durango Oriente**

## 11 REVISIÓN DOCUMENTAL

### 11.1 Planos

Se recopilaron diez archivos (3.89 MB) relacionados a los planos generales, planos funcionales, planos arquitectónicos y planos hidráulicos de la PTAR Oriente:

1. Planta de tratamiento oriente-acabados-arquitectónico
2. Planta taller ptar architect inst eléctrica alumbrado
3. Cárcamo de bombeo - distribución de fuerza
4. Área sopladores
5. Diagrama de flujo PTAR Ote
6. Arreglo equipos de cloración
7. Pretratamiento plano para impresión
8. Copia de planta taller cortes y fachadas inst sanitaria y gas
9. Perfil hidráulico
10. Plano PTAR Ote 02-09-2021

Los planos se pueden consultar en la liga:

<https://drive.google.com/drive/folders/1fywWkaNJhnhMcyj2bQjbebeEA9ACXgDeO?usp=sharing>

### 11.2 Permiso de descarga

La Comisión Nacional del agua expidió los parámetros de las condiciones particulares de descarga en el título de concesión 2DGO100301/11HMSG94 y permiso para descargar aguas residuales con un volumen total de 48,250,080 m<sup>3</sup>/año (132,192 m<sup>3</sup>/d; 1,530 L/s), con descarga al Arroyo Acequia Grande, afluente de Río La Saucedá - Río Durango (Figura 270). El documento está fechado el 04 de enero del 1995 y con vigencia de 10 años.

En la consulta a la Base de datos del REPDA, (<https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>) se indica que la vigencia del permiso des del 10 de octubre de 2014 al 10 de octubre de 2024.

| Titular                        | Título              | Uso            | Autoridad que emite el acto                     | Fecha de registro | Volumen de extracción de aguas nacionales (m <sup>3</sup> /año) | Número de anexos de descarga: | Volumen de descarga (m <sup>3</sup> /día): | Fecha de inicio de vigencia: | Fecha de término de vigencia: |
|--------------------------------|---------------------|----------------|---|-------------------|---|-------------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|
| AGUAS DEL MUNICIPIO DE DURANGO | 2DGO100301/11HMSG94 | PÚBLICO URBANO | SUBDIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN DEL AGUA | 04/01/1995        | 61,291,530  | 1                             | 132,192                                    | 10/10/2014                   | 10/10/2024                    |

|  |                                 |   |               |
|--|---------------------------------|---|---------------|
| Título de concesión/asignación:                    | 2DGO100301/11HMSG94             |   |               |
| Titular:   | AGUAS DEL MUNICIPIO DE DURANGO  |   |               |
| Fecha de registro:                                 | 04 de Enero del 1995            |   |               |
| Uso que ampara el título:                          | PUBLICO URBANO                  |   |               |
| Volumen de aguas nacionales (m <sup>3</sup> /año): | 61,291,530.00                   | Volumen de aguas superficiales (m <sup>3</sup> /año): | 0.00          |
| Anexos superficiales:                              | 0                               | Volumen de aguas subterráneos (m <sup>3</sup> /año):  | 61,291,530.00 |
| Anexos subterráneos:                               | 1                               | Volumen de descarga (m <sup>3</sup> /día):            | 132,192.00    |
| Anexos de descarga(s):                             | 1                               | Superficie (m <sup>2</sup> ):                         | 0.00          |
| Anexos de zona(s) federal(es):                     | 0                               |   |               |
| Anotaciones marginales:                            | SI <input type="checkbox"/> Ver |   |               |

**Selecciona el tipo de anexo(s) a visualizar**

Superficiales
  Subterráneos
  Descargas Residuales
  Zonas Federales

**Anexo(s) de aguas residuales**

| No. | Latitud        | Longitud         | Estado  | Municipio | Región Hidrológica | Cuenca | Cuerpo Receptor       | Descarga Afluente            | Procedencia | Forma Descargar | Tipo      | Volumen Descarga (m <sup>3</sup> /día) | Volumen Descarga (m <sup>3</sup> /año) |
|-----|----------------|------------------|---------|-----------|--------------------|--------|-----------------------|------------------------------|-------------|-----------------|-----------|--|--|
| 1   | 24°01'40.0000" | -104°36'12.0000" | DURANGO | DURANGO   | PRESIDIO-SAN PEDRO | 0      | ARROYO ACEQUIA GRANDE | RIO LA SAUCEDA - RIO DURANGO | MUNICIPAL   |                 | MUNICIPAL | 132,192.00                             | 48,250,080.00                          |

Fuente: Base de datos del REPDA, <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>



**Figura 270. Ubicación de la descarga de la PTAR Durango Oriente**

La Tabla 3 muestra las condiciones particulares a las que se sujetan las aguas residuales tratadas de la PTAR Oriente conforme al permiso de

descarga. En general, las condiciones particulares de descarga son más estrictas que la NOM-001-SEMARNAT-1996 para cuerpo receptor tipo A, con excepción de algunos metales pesados y cianuros que no fueron incluidos.

Con respecto a la NOM-001-SEMARNAT-2021, las condiciones particulares del permiso de descarga son más estrictas para pH, temperatura, grasas y aceites, SST, cadmio y DQO. Se deberá revisar el cumplimiento del nitrógeno total, fósforo total, ya que el permiso reglamenta NTK y nitrógeno amoniacal. Asimismo, se debe considerar la inclusión de nuevos parámetros (toxicidad y color) y los nuevos valores de los límites máximos permisibles de los metales pesados y cianuros para descarga a ríos, arroyos, canales, drenes.

**Tabla 105. Condiciones particulares de descarga (CPD) de PTAR Oriente**

| Parámetro               | Unidades    | CPD       |                | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Ríos - CR A |             | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Ríos, arroyos, canales, drenes |            |
|-------------------------|-------------|-----------|----------------|--------------------------------------|-------------|---|------------|
|                         |             | PM        | MI             | PM                                   | PD          | PM  | PD         |
| <b>pH</b>               | <b>UpH</b>  | -         | <b>6.5-8.5</b> | <b>5-10</b>                          | <b>5-10</b> | <b>6-9</b>  | <b>6-9</b> |
| <b>Temp.</b>            | <b>°C</b>   | -         | <b>32</b>      | <b>NA</b>                            | <b>NA</b>   | <b>35</b>   | <b>35</b>  |
| Conductividad           | µohms/cm    | -         | 2000           | NA                                   | NA          | NA  | NA         |
| <b>G y A</b>            | <b>mg/L</b> | <b>10</b> | <b>15</b>      | <b>15</b>                            | <b>25</b>   | <b>15</b>   | <b>18</b>  |
| Material flotante       | mm          | Ausente   | Ausente        | Ausente                              | Ausente     | NA  | NA         |
| S. Sed.                 | ml/L        | 1         | 1.2            | 1                                    | 2           | NA  | NA         |
| <b>SST</b>              | <b>mg/L</b> | <b>50</b> | <b>75</b>      | <b>150</b>                           | <b>200</b>  | <b>60</b>   | <b>72</b>  |
| DBO <sub>5</sub>        | mg/L        | 50        | 75             | 150                                  | 200         | NA  | NA         |
| DBO <sub>soluble</sub>  | mg/L        | 30        | 40             | NA                                   | NA          | NA  | NA         |
| <b>NT</b>               | <b>mg/L</b> | <b>NA</b> | <b>NA</b>      | <b>40</b>                            | <b>60</b>   | <b>25</b>   | <b>30</b>  |
| <b>NTK</b>              | <b>mg/L</b> | <b>30</b> | <b>42</b>      | <b>NA</b>                            | <b>NA</b>   | <b>NA</b>   | <b>NA</b>  |
| <b>N amoniacal</b>      | <b>mg/L</b> | <b>10</b> | <b>15</b>      | <b>NA</b>                            | <b>NA</b>   | <b>NA</b>   | <b>NA</b>  |
| <b>PT</b>               | <b>mg/L</b> | <b>NA</b> | <b>NA</b>      | <b>20</b>                            | <b>30</b>   | <b>15</b>   | <b>18</b>  |
| P <sub>inorgánico</sub> | mg/L        | 6         | 8              | NA                                   | NA          | NA  | NA         |
| RAS                     | unidades    | -         | 6              | NA                                   | NA          | NA  | NA         |
| SAAM                    | mg/L        | 5         | 8              | NA                                   | NA          | NA  | NA         |



| Parámetro               | Unidades                | CPD                  |   | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Ríos - CR A |            | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Ríos, arroyos, canales, drenes |            |
|-------------------------|-------------------------|----------------------|---|--------------------------------------|------------|---|------------|
|                         |                         | PM                   | MI  | PM                                   | PD         | PM  | PD         |
| As                      | mg/L                    | 0.5                  | 0.75  | 0.2                                  | 0.4        | 0.2   | 0.3        |
| <b>Cd</b>               | <b>mg/L</b>             | <b>0.05</b>          | <b>0.075</b>                                      | <b>0.2</b>                           | <b>0.4</b> | <b>0.2</b>  | <b>0.3</b> |
| CN                      | mg/L                    | NA                   | NA  | 2.0                                  | 3.0        | 1   | 2          |
| Cu                      | mg/L                    | NA                   | NA  | 4.0                                  | 6.0        | 4   | 5          |
| Cr                      | mg/L                    | NA                   | NA  | 1                                    | 1.5        | 1   | 1.25       |
| Cr VI                   | mg/L                    | 0.5                  | 1.0   | NA                                   | NA         | NA  | NA         |
| Hg                      | mg/L                    | NA                   | NA  | 0.01                                 | 0.02       | 0.01  | 0.015      |
| Ni                      | mg/L                    | 1.0                  | 1.5   | 2                                    | 4          | 2   | 3          |
| Pb                      | mg/L                    | 1                    | 2   | 0.5                                  | 1.0        | 0.2   | 0.3        |
| Zn                      | mg/L                    | NA                   | NA  | 10                                   | 20         | 10  | 15         |
| CT                      | NMP/100 ml              | NA                   | 10000   | 1,000                                | 2,000      | NA  | NA         |
| CF                      | NMP/100 ml              | NA                   | 1000  | 1,000                                | 2,000      | NA  | NA         |
| HH                      | H/L                     | NA                   | NA  | NA                                   | NA         | NA  | NA         |
| <b>DQO</b>              | <b>mg/L</b>             | <b>100</b>           | <b>140</b>  | <b>NA</b>                            | <b>NA</b>  | <b>150</b>  | <b>180</b> |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 ml              | NA                   | NA  | NA                                   | NA         | 250   | 500        |
| <b>Color</b>            | <b>Longitud de onda</b> |                      | <b>Coefficiente de absorción espectral máximo</b> |                                      |            |   |            |
|                         | <b>436 nm</b>           |                      | <b>7.0 m-1</b>                                    |                                      |            |   |            |
|                         | <b>525 nm</b>           |                      | <b>5.0 m-1</b>                                    |                                      |            |   |            |
| <b>620 nm</b>           |                         | <b>3.0 m-1</b>       |   |                                      |            |   |            |
| MI: Máxima instantánea  |                         | PM: Promedio mensual |   | PD: Promedio diario                  |            | NA: No aplica   |            |

### 11.3 Análisis de la memoria de cálculo

El organismo operador AMD no proporcionó la memoria de cálculo que se utilizó en el diseño de la planta de tratamiento. No obstante, se realizó la evaluación con las geometrías obtenidas durante el levantamiento y los planos obtenidos a partir del perfil hidráulico y con respecto a los parámetros de diseño recomendados en el MAPAS de CONAGUA. La Tabla

106 muestra los criterios de diseño de las lagunas, los resultados de los monitoreos realizados por el IMTA a la salida de cada una de las lagunas y utilizando como referencia el MAPAS, tomo 27, de la CONAGUA.

**Tabla 106. Parámetros de diseño para la PTAR Durango Oriente**

| Laguna | TRH (d) | Carga orgánica superficial (kg DBO/ha d) | Carga orgánica volumétrica (kg DBO/m <sup>3</sup> d) | Profundidad (m) | Tamaño (ha) |
|--------|---------|--|--|-----------------|-------------|
| A1     | 2.05    | 3.64                                     | 0.09   | 4.5             | 2,570       |
| A2     | 2.0     | 3.72                                     | 0.07   | 4.5             | 2,080       |
| A3     | 2.24    | 2.8                                      | 0.06   | 4.5             | 2,350       |
| B1     | 2.05    | 3.64                                     | 0.09   | 4.5             | 2,570       |
| B2     | 2.0     | 3.22                                     | 0.06   | 4.5             | 2,080       |
| B3     | 2.24    | 2.85                                     | 0.06   | 4.5             | 2,350       |

De acuerdo con el resumen de los diferentes modelos empleados para el diseño de lagunas establecidos en el MAPAS (Tomo 27, sección 3.6, pág. 67), las lagunas de la PTAR Durango Oriente son lagunas aireadas con mezcla completa, ya que no existe recirculación y los lodos se acumulan internamente en cada laguna. En ese sentido, el MAPAS recomienda un TRH entre 3 - 20 d, profundidad entre 2.0 a 6.0 m y se considera una remoción de DBO del 50 al 60%. Como se observa en la Tabla las profundidades se sitúan dentro de los valores recomendados para el diseño, pero no los tiempos de retención hidráulico. De esta forma, la remoción de DBO es muy baja en el sistema, siendo nula en las lagunas B2 y B3.

Por otra parte, de acuerdo con información del perfil hidráulico y considerando los valores de tiempo de retención y volumen de cada laguna, se calculó un caudal total de 1,200 L/s para la PTAR, esto es, de 600 L/s para cada laguna. Este dato no coincide con el caudal (Q) señalado como de diseño de 2,000 L/s por el personal de la PTAR. De hecho, en la visita diagnóstica se pudo corroborar el caudal de las seis bombas que alimentan a las lagunas cuya sumatoria en ese momento fue de 1,987.9 L/s. Así, se puede advertir que la PTAR trabaja con sobrecarga respecto al gasto de diseño (1,200 L/s) indicado en un archivo que presenta el perfil hidráulico. Tanto AMD como CONAGUA consideran una capacidad instalada de 2,000 L/s, reflejado en el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación 2019 y

2020, la cual no coincide con la información analizada. Además, el permiso de descarga contempla una descarga anual de 132,192 m<sup>3</sup>, esto es, 1,530 L/s.

En la Tabla 107 se puede observar una comparativa entre el TRH y el volumen de diseño con tres escenarios: a 1,600 L/s (caudal de operación reportado), 1,987 L/s (caudal verificado por el IMTA en la visita diagnóstico) y 2,000 L/s (caudal reportado como de diseño por la PTAR y aceptado por CONAGUA). Los TRH de diseño son menores a los recomendados por la bibliografía, y al operar las plantas a un caudal mayor a 1,200 L/s éste se reduce aún más.

**Tabla 107. Comparativa entre TRH y caudales de diseño y operación para las lagunas aireadas.**

|  | <b>Laguna A1</b> | <b>Laguna A2</b> | <b>Laguna A3</b> |
|--|------------------|------------------|------------------|
| <b>Caudal de 1,200 L/s, conforme a los datos del perfil hidráulico</b> |                  |                  |                  |
| <b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>   | 106,035          | 103,581          | 116,034          |
| <b>TRH (d)</b>   | 2.05             | 2.00             | 2.24             |
| <b>Q para 1 laguna (m<sup>3</sup>/d)</b>                               | 57,725.7         | 57,790.8         | 51,801.1         |
| <b>(L/s) calculado</b>   | 598.66           | 599.43           | 599.55           |
| <b>Caudal de 1,600 L/s</b>   |                  |                  |                  |
| <b>Q operación (m<sup>3</sup>/d)</b>                                   | 138,240          | 138,240          | 138,240          |
| <b>Q para 1 laguna (m<sup>3</sup>/d)</b>                               | 69,120           | 69,120           | 69,120           |
| <b>(L/s)</b>   | 800              | 800              | 800              |
| <b>THR</b>   | 1.53             | 1.50             | 1.68             |
| <b>Caudal de 2,000 L/s (gasto de diseño reportado)</b>                 |                  |                  |                  |
| <b>Q operación (m<sup>3</sup>/d)</b>                                   | 172,800          | 172,800          | 172,800          |
| <b>(L/s)</b>   | 2,000            | 2,000            | 2,000            |
| <b>Q para 1 laguna (m<sup>3</sup>/d)</b>                               | 86,400           | 86,400           | 86,400           |
| <b>(L/s)</b>   | 1,000            | 1,000            | 1,000            |
| <b>TRH</b>   | 1.23             | 1.20             | 1.34             |
| <b>Caudal de 1,987 L/s (operación durante evaluación)</b>              |                  |                  |                  |
| <b>Q operación (m<sup>3</sup>/d)</b>                                   | 171,677          | 171,677          | 171,677          |

|  | Laguna A1 | Laguna A2 | Laguna A3 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| <b>Q para 1 laguna (m<sup>3</sup>/d)</b> | 85,838    | 85,838    | 85,838    |
| <b>(L/s)</b>                             | 993.4     | 993.4     | 993.4     |
| <b>TRH</b>                               | 1.24      | 1.21      | 1.35      |

Con el volumen de cada laguna y caudales de operación nunca se alcanza el TRH reportado de diseño, que está considerado entre los 2.00 a 2.24 d. Este TRH se utiliza para diseño de lagunas aireadas con recirculación de sólidos (Metcalf & Eddy, 2003, pp. 841), lo cual no se presenta en esta PTAR, ya que no hay recirculación, por lo que se debieron considerar TRH mayores. Para que se obtengan los TRH de diseño, las lagunas deben tener los volúmenes señalados en la Tabla 108. En resumen, para que se consiga el TRH de diseño se debe realizar una ampliación en el volumen de las lagunas o construir unidades complementarias. Cabe señalar que los datos de la Tabla aplican para las lagunas B, ya que el tren A de lagunas es espejo del tren B respecto a geometrías (por ejemplo, la laguna A1 tiene las mismas dimensiones que la B1).

**Tabla 108. Volúmenes requeridos para TRH diseño**

| Volumen de Laguna | A1 (m <sup>3</sup> ) | Déficit A1 (m <sup>3</sup> ) | A2 (m <sup>3</sup> ) | Déficit A2 (m <sup>3</sup> ) | A3 (m <sup>3</sup> ) | Déficit A3 (m <sup>3</sup> ) | Total (m <sup>3</sup> ) | Déficit (m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Real              | 106,035              |                              | 103,581              |                              | 116,034              |                              | 325,650                 |                           |
| Para Q = 1600 L/s | 141,696              | 35,661                       | 138,240              | 34,659                       | 154,829              | 38,795                       | 434,765                 | 109,115                   |
| Para Q = 2000 L/s | 177,120              | 71,120                       | 172,800              | 69,219                       | 193,536              | 77,502                       | 543,456                 | 217,806                   |
| Para Q = 1987 L/s | 175,969              | 69,934                       | 171,677              | 68,096                       | 192,278              | 76,244                       | 539,924                 | 214,274                   |

La carga orgánica superficial y volumétrica fue calculada a partir de los valores de DBO cuantificados por el IMTA en el muestreo y un gasto de operación de 1,987.9 L/s.

#### **11.4 Análisis de la información histórica de calidad del agua**

Los resultados de los análisis de calidad del agua que la PTAR Oriente reportó a la Comisión Nacional del Agua entre los años 2018 y 2021 al mes

de julio se encuentran en la información documental entregada por la planta y la cual se encuentra en la liga <https://drive.google.com/drive/folders/1fywWkaNJhnhMcj2bQjbebeEA9ACXgDeO?usp=sharing> y que será entregada al final del proyecto.

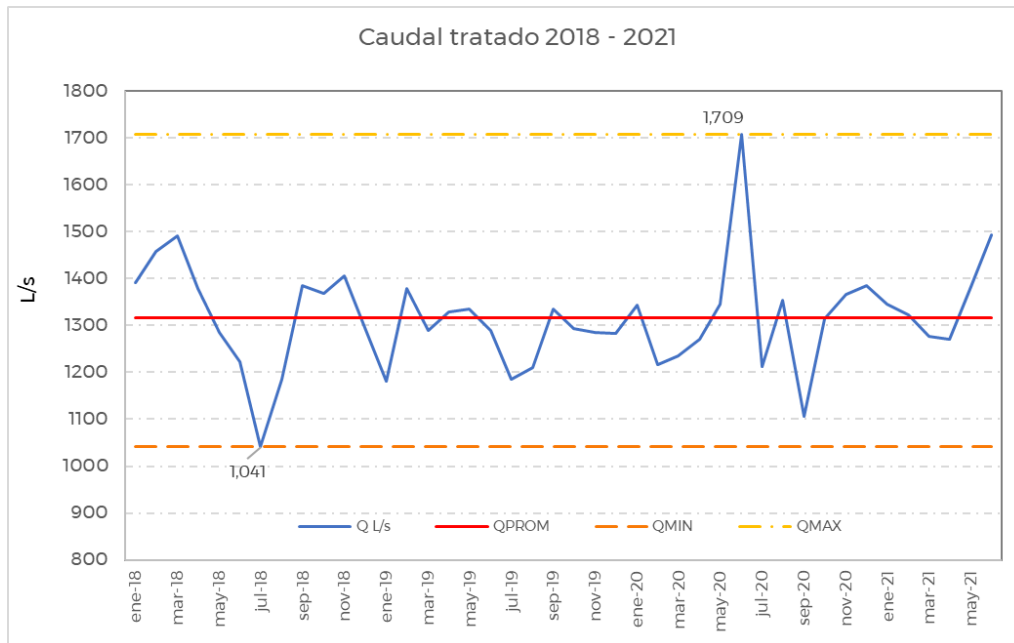
Es importante mencionar que los parámetros que se reportaron son los que contempla la NOM-001-SEMARNAT-1996, y que representan más de los que se estipulan en el título de concesión de descarga.

Por otra parte, para facilitar la interpretación de los resultados de los análisis, solo se graficaron los contaminantes básicos de la norma que presentaron variaciones perceptibles, DQO y caudales.

A continuación, se presenta una discusión de los parámetros que se reportan cada mes a la Comisión Nacional del Agua, tomando como referencia la NOM-001-SEMARNAT-1996 “que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”, y considerando que el agua residual tratada es descargada a un cuerpo receptor tipo A. Adicionalmente, se comparó con la NOM-001-SEMARNAT-2021 debido a la entrada en vigor de esta modificación de la norma el 11 de marzo de 2022.

#### **11.4.1 Caudal**

Si bien la capacidad de tratamiento de la PTAR Durango Oriente es, oficialmente (Inventario de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación de CONAGUA), de 2,000 L/s, de 2018 a 2021, se operó a un caudal promedio de 1,350 L/s, lo que representa el 66.7% de su capacidad. Al observar la Figura 271, el gasto se sitúa entre los 1,000 – 1,400 L/s, con picos extraordinarios en febrero y marzo 2018 (1,459 L/s y 1,492 L/s), así como en junio 2020 y junio 2021 (1,708 L/s y 1,493 L/s, respectivamente). Sin embargo, el personal de la planta declara que se alcanzan gastos superiores a 1,900 L/s y, durante algunos meses de estiaje, se presentan caudales inferiores a 1,200 L/s. El permiso de descarga autoriza 1,530 L/s.

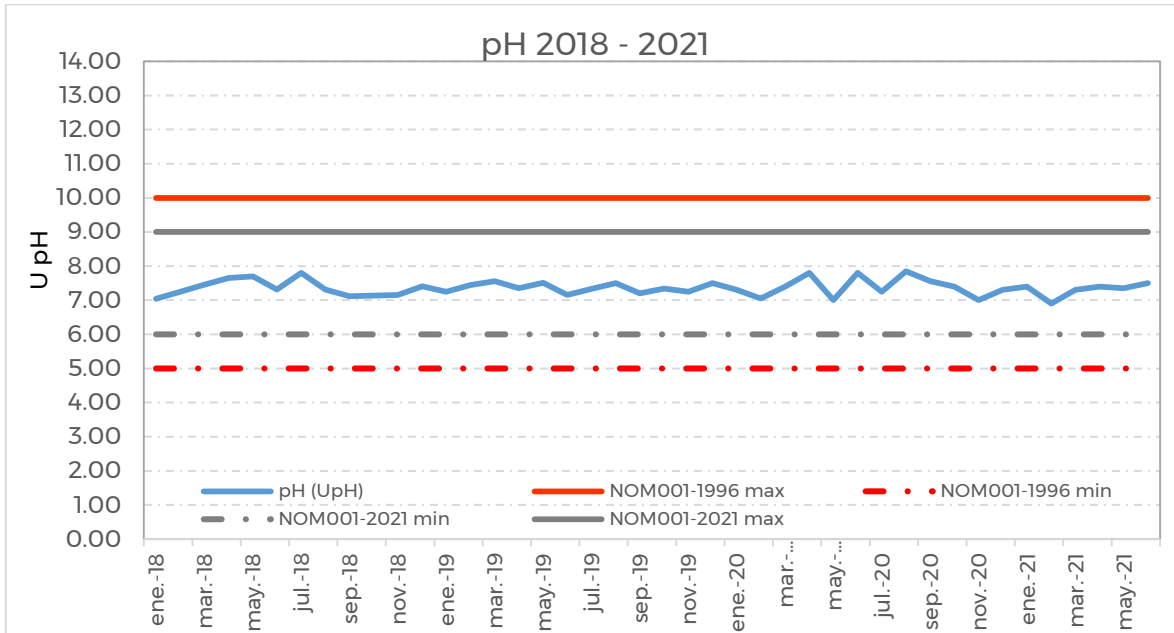


**Figura 271. Tendencia del flujo de 2018 a 2021.**

#### 11.4.2 pH

Al ser un proceso de tratamiento biológico, éste considera el empleo de microorganismos, por lo que para que éstos se desarrollen adecuadamente deben coexistir en un rango de 6.0 a 8.5 unidades de pH. De acuerdo con los datos históricos (2018-2021) (Figura 272), el efluente presenta un pH promedio de 7.36, con un valor mínimo de 6.90 y un máximo de 7.85, lo que indica que en las lagunas existen microorganismos favorables para la estabilización de la materia orgánica.

Por otra parte, en la NOM-001-SEMARNAT-1996, se estipula un intervalo de 5 a 10 unidades, mientras que la NOM-001-SEMARNAT-2021 indica un intervalo de pH de 6 a 9 y las condiciones particulares de descarga, como máximo instantáneo, señalan un intervalo de 6.5 a 8.5, siendo esta la condición más estricta. El permiso no presenta valores para promedio mensual. Por lo anterior, se cumplió con este parámetro en la PTAR.



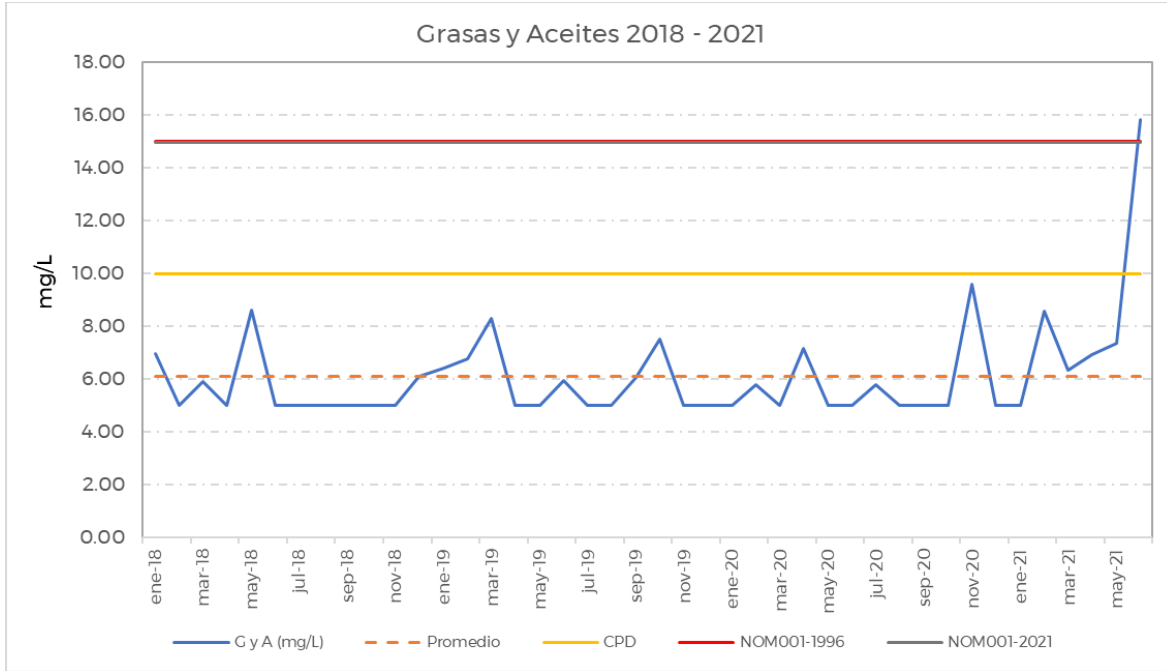
**Figura 272. Tendencia pH, de 2018 a 2021**

### 11.4.3 Coliformes fecales

Se reportan en el efluente, de 2018 a 2021, la presencia de coliformes fecales con un promedio de 3 NMP/100 mL. Por lo tanto, la desinfección del efluente es adecuada para garantizar el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 (con un LMP de 1000 NMP/100 mL en promedio mensual). Con la modificación de la NOM-0001-SEMARNAT-2021, no se hace mención de los coliformes fecales como contaminantes microbiológicos, sin embargo, se tiene que cumplir con límites para *E. coli*, por lo que se recomienda que la PTAR implemente este análisis en su laboratorio.

### 11.4.4 Grasas y Aceites

El permiso de descarga indica un límite máximo permisible de 10 mg/L, mientras que tanto la NOM-001-SEMARNAT-1996 como la NOM-001-SEMARNAT-2021 establecen como límite máximo permisible para promedio mensual un valor de 15 mg/L. Este parámetro presente un valor promedio de 6.12 mg/L, con un valor mínimo de 5 mg/L y un valor máximo (superior a las normas y a las CPD) de 15.83 mg/L. Como se puede observar la Figura 273, salvo para el valor máximo registrado en junio 2021, la concentración de GyA no supera los 10 mg/L.



**Figura 273. Tendencia Grasas y Aceites, 2018 a 2021**



#### **11.4.5 Huevos de Helminto**

En relación a los huevos de Helmintos y debido a los tiempos de residencia que tienen las lagunas, éstos son removidos, por lo que se reportan como menores a 1 H/L. Este valor cumple con el LMP para descargas para uso agrícola establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021.

#### **11.4.6 Materia flotante**

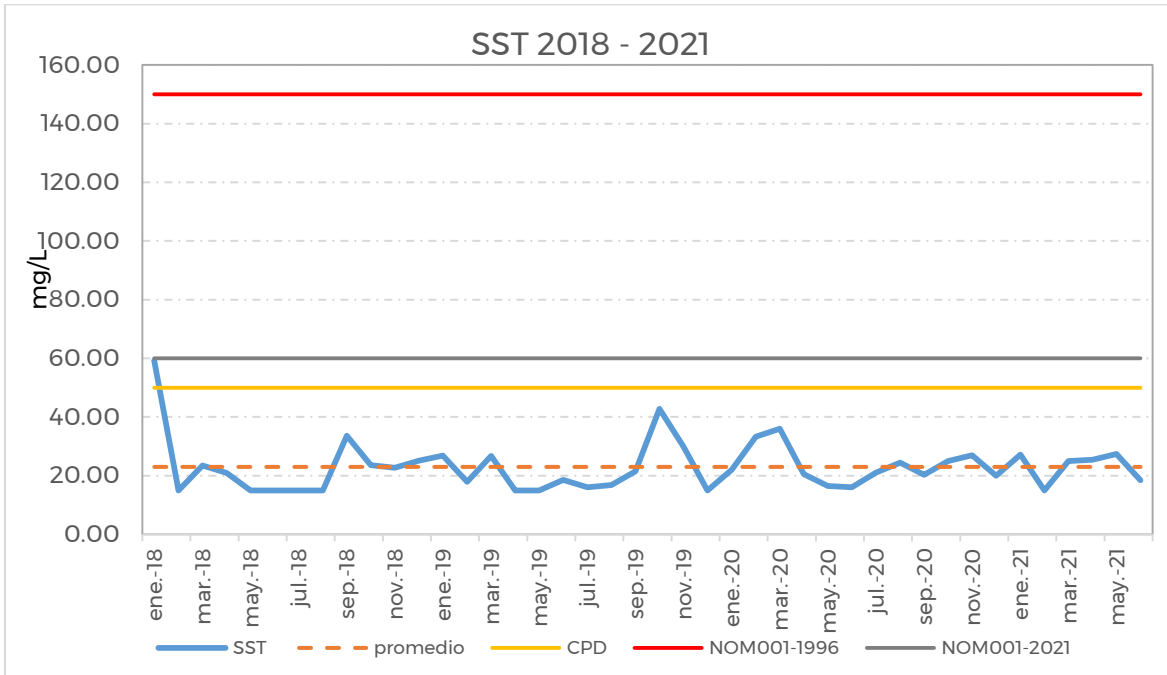
Siempre fue ausente, por lo que se cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996. En la Nom-001-SEMARNAT-2021 no se considera la materia flotante.

#### **11.4.7 Sólidos sedimentables**

La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que para los sólidos sedimentables el LMP es de 1 mL/L y en este caso en el periodo de estudio se reportó un promedio por año de 0.1 mL/L, por lo que se cumple con la normatividad. Para el caso de la NOM-001-SEMARNAT-2021 no se consideran los sólidos sedimentables.

#### **11.4.8 Sólidos suspendidos totales (SST)**

En la Figura 274 se presenta la tendencia de los SST a lo largo del periodo de estudio, con un valor promedio de 23 mg/L, un valor mínimo de 15 mg/L y un valor máximo de 59.22 mg/L. Las condiciones particulares de descarga indican un límite máximo permisible (promedio mensual) de 50 mg/L, el cual se rebasa únicamente cuando se presenta el valor máximo antes mencionado (enero 2018). En general, las concentraciones oscilan entre 20 a 40 mg/L y a partir de mayo 2020 se observa una tendencia de valores inferiores a 30 mg/L. La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que el LMP es de 150 mg/L mientras que con respecto a la NOM-001-SEMARNAT-2021 para la descarga en canales y drenes, el LMP es de 60 mg/L. No obstante, a pesar del LMP más estricto, se estaría cumpliendo con la norma actualizada.

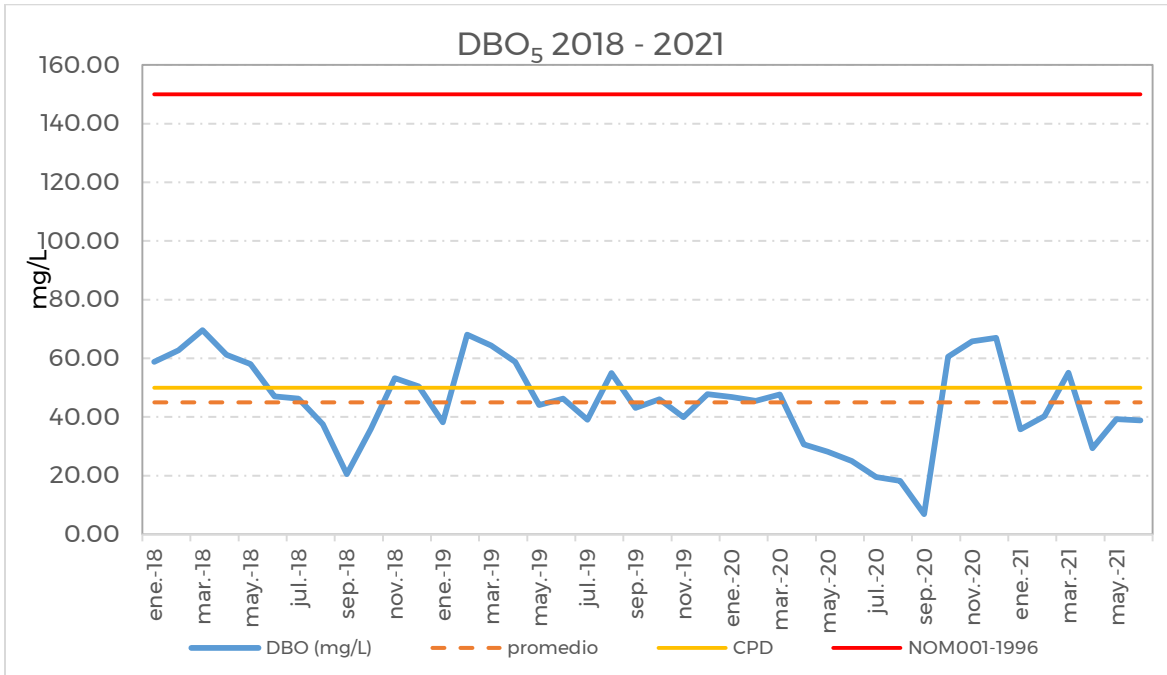


**Figura 274. Tendencia sólidos suspendidos totales, de 2018 a 2021**

#### 11.4.9 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

En la Figura 275 se presentan las tendencias mensuales de la DBO de 2018 a 2021. El valor promedio del periodo es de 45 mg/L, el valor mínimo registrado de 6.92 mg/L y el valor máximo de 69.63 mg/L. En el permiso de descarga se señala un límite máximo permisible (condición particular de descarga, CPD) de 50 mg/L, mientras que la NOM-001-SEMARNAT-1996 permite hasta 150 mg/L. La NOM-001-SEMARNAT-2021 no toma en cuenta la DBO. Cabe señalar que el límite de la CPD para la PTAR Oriente es más estricto que la NOM-001-SEMARNAT-1996. En 2018 y 2019, el límite establecido en el permiso se rebasó de enero a mayo y noviembre a diciembre 2018; febrero a abril y agosto 2019. En las tendencias de DBO para los años 2020 y 2021, se observó que se cumplió con las condiciones particulares de descarga excepto para el periodo octubre a diciembre 2020 y marzo 2021.

El permiso de descarga regula también la demanda bioquímica de oxígeno soluble ( $DBO_{sol}$ ), con un límite máximo permisible de 30 mg/L como promedio mensual, pero este parámetro no es analizado.



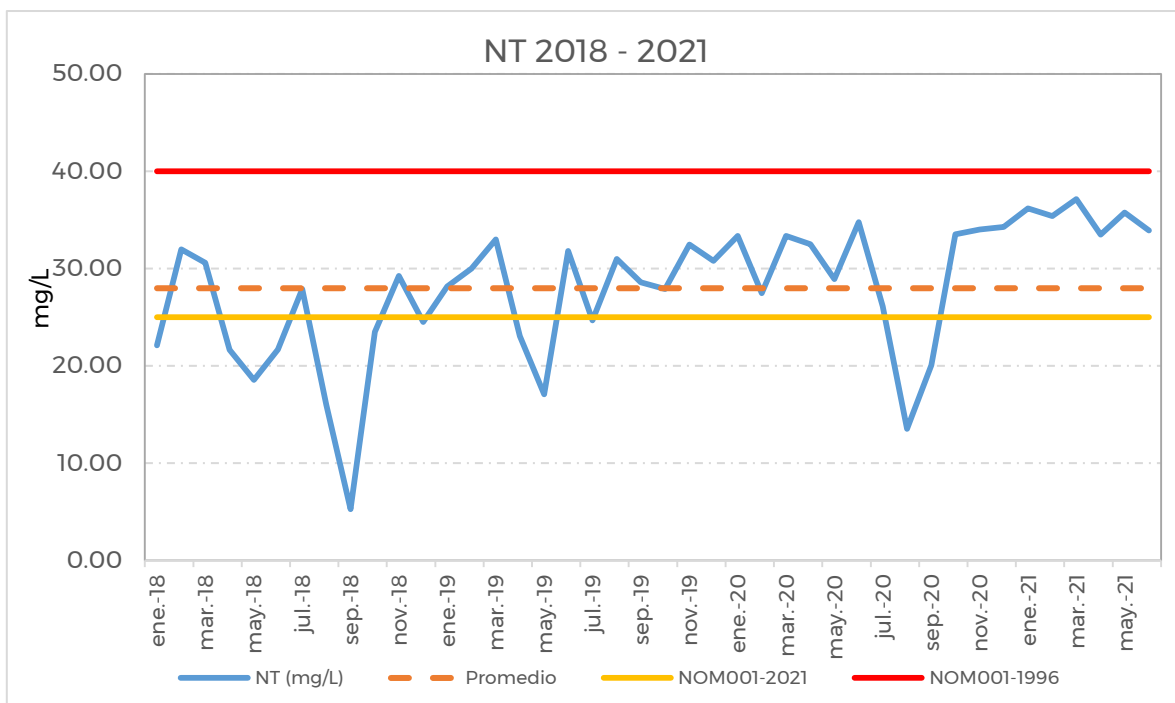
**Figura 275. Tendencia DBO, de 2018 a 2019**

#### 11.4.10 Nitrógeno Total (NT), nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y nitrógeno amoniacal

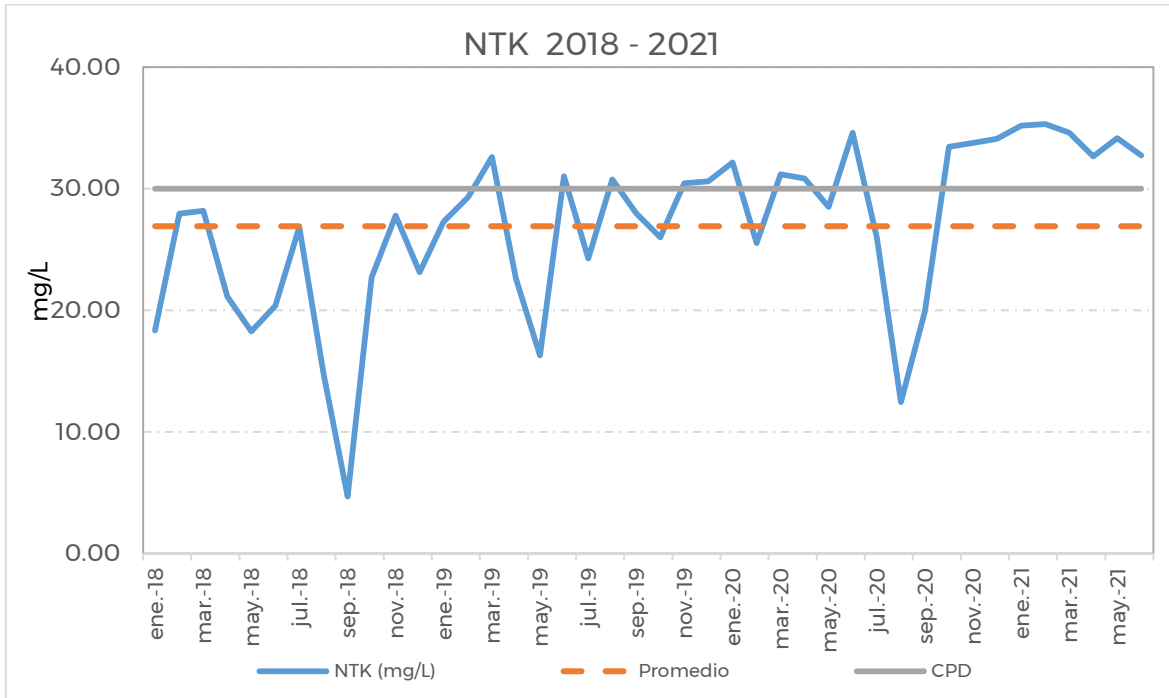
El valor promedio del periodo es de 27.97 mg/L, el valor mínimo registrado de 5.26 mg/L y el valor máximo de 37.13 mg/L. En el permiso de descarga se señala un límite máximo permisible (CPD) de 50 mg/L. En este contexto, solo el NT es considerado para efectos cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece un límite máximo permisible de 40 mg/L como promedio mensual, valor que no es superado durante el periodo analizado. Respecto a la NOM-001-SEMARNAT-2021, se señala que para las descargas en canales y drenes el NT será no mayor a 25 mg/L en promedio mensual. En este caso, el promedio supera este valor durante la mayor parte del periodo. La Figura 276 presenta las tendencias de NT para los años 2018 al 2021. En general, se observa un incremento de las concentraciones con el paso del tiempo.

Por otra parte, las condiciones particulares de descarga del permiso no regulan este parámetro, sino el nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y el nitrógeno amoniacal. El límite máximo establecido en el permiso de descarga para el promedio mensual del nitrógeno amoniacal es de 10 mg/L, pero no se analiza este parámetro.

En el caso del NTK, el valor promedio del periodo es de 26.92 mg/L, el valor mínimo registrado de 4.68 mg/L y el valor máximo de 35.32 mg/L. En el permiso de descarga se señala un límite máximo permisible (CPD) de 30 mg/L. La Figura 277 presenta las tendencias de NTK para los años 2018 al 2021. En general, el límite establecido se supera de manera puntual desde marzo 2019, y se rebasa de forma constante a partir de octubre 2020. Se observa un incremento de las concentraciones con el paso del tiempo,



**Figura 276. Tendencia nitrógeno total, de 2018 a 2021.**

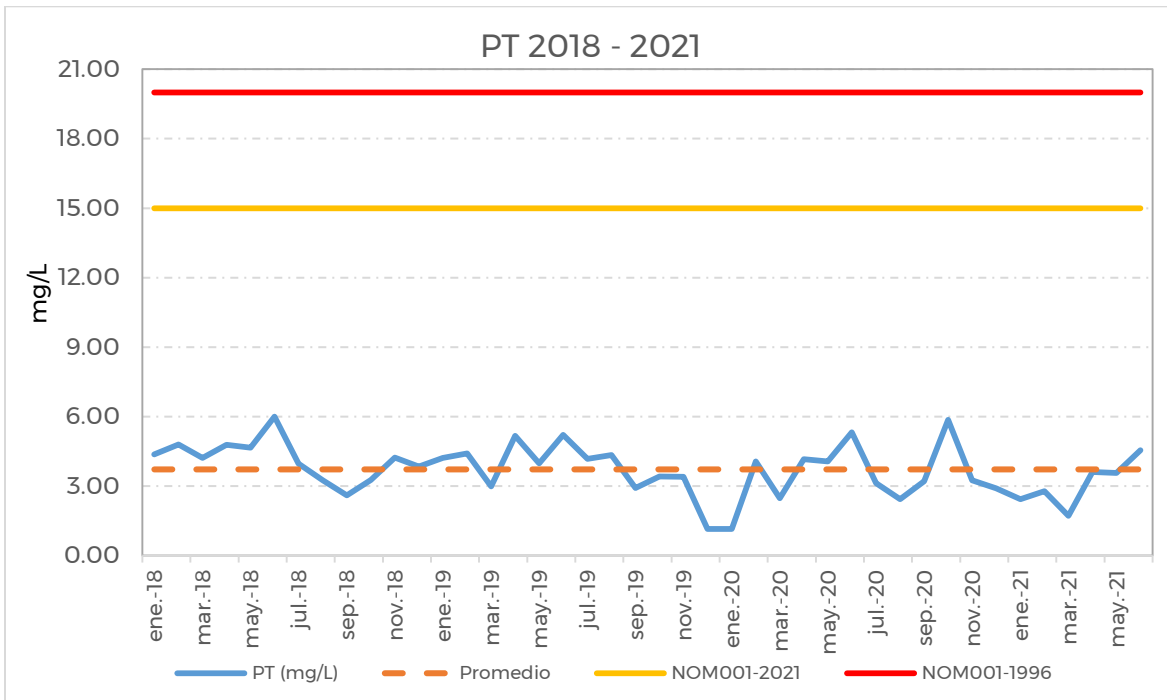


**Figura 277 Tendencia del NTK, de 2018 a 2021.**

#### 11.4.11 Fósforo Total (PT)

La Figura 278 muestra el comportamiento del PT de 2018 a 2021. El valor promedio del periodo es de 3.72 mg/L, el valor mínimo registrado de 1.15 mg/L y el valor máximo de 5.99 mg/L. La tendencia es relativamente estable, en un intervalo de 1 a 6 mg/L. De hecho, en ningún año se rebasó el valor del LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para descarga a cuerpo receptor tipo A (20 mg/L promedio mensual) ni de la respectiva NOM del 2021 (15 mg/L promedio mensual). Si se toma como referencia los valores promedio de PT, se puede concluir que la concentración de salida del sistema lagunar ha tenido poca variación a lo largo de los años, y que el cumplimiento de la normatividad no se verá afectado por la modificación de la norma.

Las CPD del permiso de descarga regulan el fósforo inorgánico, con un límite de 6 mg/L para el promedio mensual, pero no se realizan análisis de este parámetro. Se puede considerar que, al no exceder el valor del fósforo total, no se ha excedido el límite establecido para el fósforo inorgánico.



**Figura 278. Tendencia fósforo total, de 2018 a 2021**

#### 11.4.12 Metales pesados y cianuros

El permiso de descarga de la planta regula **arsénico, cadmio, cromo hexavalente, níquel y plomo**. Los límites de las CPD son más estrictos para cadmio y níquel, pero más laxos para arsénico (2.5 veces con respecto a la NOM-001) y para el níquel (el doble del LMP de la NOM-001). El permiso de descarga no fija condiciones para cianuros, cobre, cromo total, mercurio y zinc; pero todos son evaluados para fines de declaración de derechos de descarga. El análisis para fines de pago por derechos de descarga se realiza para cromo total, no para cromo hexavalente. En este caso, se consideran los límites máximos permisibles para descarga a río, cuerpo receptor tipo A (NOM-001-SEMARNAT-1996), y para la NOM-001-SEMARNAT-2021 para descarga en ríos, arroyos, canales, drenes.

Los límites máximos permisibles de la normatividad se presentan en la Tabla 109, así como los valores promedios anuales para el periodo 2018 a 2021. Los límites de la NOM-001 (1996 y 2021) se mantienen sin cambio, con

excepción de los cianuros y plomo, que son más estrictos en la nueva norma.

**Tabla 109. Concentraciones para metales pesados y Cianuros, promedios anuales**

| Parámetro         | CPD P.M. (mg/L) | NOM-001-SEMARNAT-1996, P.M. (mg/L) | NOM-001-SEMARNAT-2021, P.M. (mg/L) | 2018 mg/L | 2019 mg/L | 2020 mg/L | 2021 mg/L |
|-------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Arsénico          | 0.5             | 0.2                                | 0.2                                | 0.021     | 0.022     | 0.022     | 0.020     |
| Cadmio            | 0.05            | 0.2                                | 0.2                                | 0.020     | 0.020     | 0.020     | 0.020     |
| Cianuros          | NA              | 2.0                                | 1.0                                | 0.028     | 0.030     | 0.030     | 0.030     |
| Cobre             | NA              | 4.0                                | 4.0                                | 0.059     | 0.044     | 0.063     | 0.020     |
| Cromo             | NA              | 1.0                                | 1.0                                | 0.020     | 0.020     | 0.020     | 0.020     |
| Cromo hexavalente | 0.5             | NA                                 | NA                                 | NA        | NA        | NA        | NA        |
| Mercurio          | NA              | 0.01                               | 0.01                               | 0.001     | 0.001     | 0.002     | 0.001     |
| Níquel            | 1.0             | 2.0                                | 2.0                                | 0.024     | 0.020     | 0.018     | 0.020     |
| Plomo             | 1.0             | 0.5                                | 0.2                                | 0.021     | 0.019     | 0.019     | 0.020     |
| Zinc              | NA              | 10.0                               | 10.0                               | 0.053     | 0.053     | 0.035     | 0.184     |

P.M. Promedio mensual

NA: No aplica

Como se puede apreciar en Tabla, las concentraciones reportadas de los metales pesados y cianuros fueron muy inferiores a los límites máximos permitidos de las dos normas, NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021 así como para las CPD.

En la Tabla 110 se presentan los valores promedio, valor mínimo y valor máximo para estos parámetros durante el periodo analizado.

**Tabla 110. Concentraciones promedio, mínimos y máximos para metales pesados y cianuros**

| Parámetro | Promedio (mg/L) | Valor mínimo (mg/L) | Valor máximo (mg/L) |
|-----------|-----------------|---------------------|---------------------|
| Arsénico  | 0.0216          | 0.0200              | 0.0497              |
| Cadmio    | 0.0200          | 0.0200              | 0.0200              |
| Cianuros  | 0.0295          | 0.0249              | 0.0316              |
| Cobre     | 0.0505          | 0.0200              | 0.5362              |
| Cromo     | 0.0200          | 0.0200              | 0.0200              |
| Mercurio  | 0.0012          | 0.0010              | 0.0105              |
| Níquel    | 0.0207          | 0.0105              | 0.0661              |
| Plomo     | 0.0198          | 0.0105              | 0.0296              |
| Zinc      | 0.0666          | 0.0111              | 0.8300              |

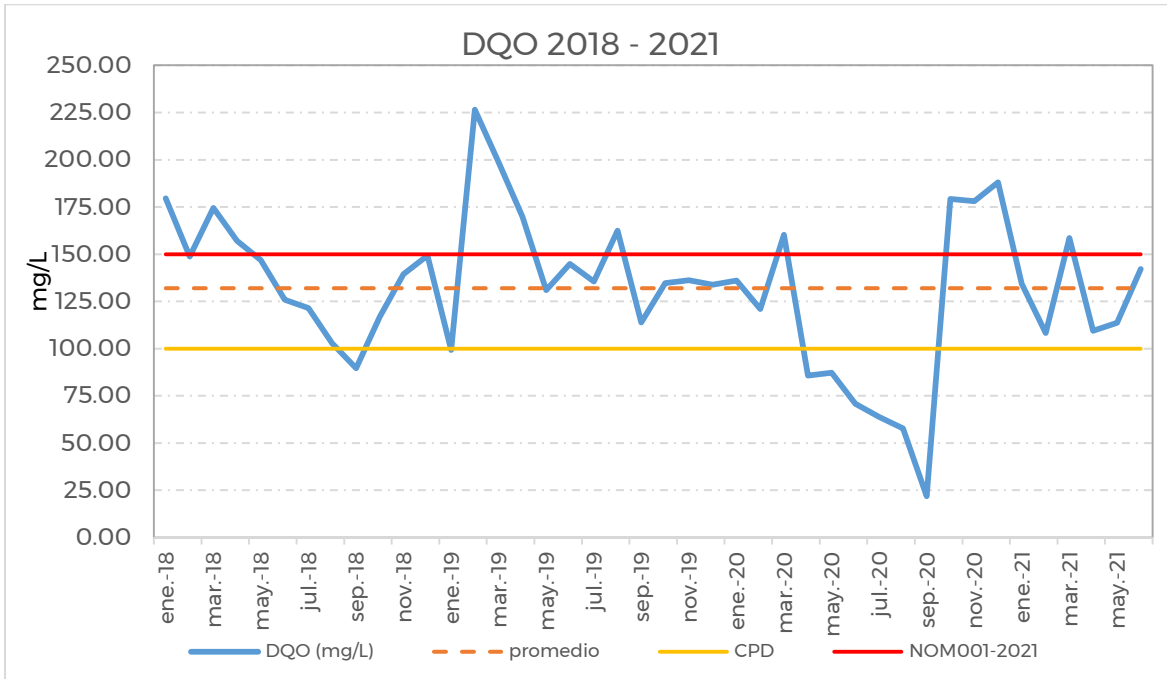
#### **11.4.13 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Si bien este parámetro no está considerado en la NOM-001-SEMARNAT-1996, en el permiso de descarga tiene un límite máximo permisible de 100 mg/L para promedio mensual, y está incluido en la NOM-001-SEMARNAT-2021, con un límite máximo permisible de 150 mg/L para descarga a canales, drenes y ríos. La Figura 279 muestra el comportamiento de la DQO del 2018 al 2021. El valor promedio de este periodo es de 132.26 mg/L, con un valor mínimo de 21.85 mg/L y un valor máximo de 226.46 mg/L.

En 2018 se observó que la concentración de DQO fluctuó ente 89 a 180 mg/L con un descenso constante de marzo a septiembre y un posterior incremento hasta diciembre. En febrero 2019 se presenta el valor máximo observado. mientras que en septiembre 2020 se presenta el valor mínimo, con valores mayores de octubre a diciembre. En 2021 los valores mensuales de DQO oscilaron entre 108 a 160 mg/L, parecidos a los valores de 2018. Cabe señalar que, salvo en ocho meses (periodo mayo - septiembre 2020 y un par de valores puntuales; septiembre 2018 y enero 2019) las concentraciones han sido superiores a la concentración promedio señalada en el permiso de descarga.

Al contrastar los valores promedio mensuales con el límite máximo permisible de la NOM-001-SEMARNAT-2021, este se rebasa durante 12 meses del periodo analizado (42 meses), esto es, el 28%.





**Figura 279. Tendencia Demanda Química de Oxígeno, de 2018 a 2021**

Por otra parte, el permiso de descarga también regula las sustancias activas al azul de metileno (SAAM), conductividad y la relación de adsorción de sodio (RAS), pero no se cuenta con análisis de estos parámetros.

Se proporcionaron los valores históricos del influente para 2020. En la Tabla 111 se presentan los parámetros analizados por el laboratorio de la planta de tratamiento, el valor promedio, el intervalo, y los valores mínimos y máximos observados para el año mencionado.

**Tabla 111. Valores históricos del influente reportados en 2020**

| Parámetro        | Unidades | Influente 2020 | Promedio mg/L | Mínimo mg/L | Máximo mg/L |
|------------------|----------|----------------|---------------|-------------|-------------|
| pH               | UpH      | 6.9 - 7.7      | 7.30          | 6.9         | 7.7         |
| Temperatura      | °C       | 20 - 26        | 23.22         | 20.95       | 26.15       |
| S. Sed.          | ml/L     | 1.5 - 3.8      | 2.46          | 1.5         | 3.75        |
| SST              | mg/L     | 112 - 166      | 138.78        | 112.15      | 166.0       |
| DBO <sub>5</sub> | mg/L     | 168 - 285      | 211.51        | 168.5       | 284.5       |
| NT               | mg/L     | 29 - 45        | 36.6          | 29.25       | 44.75       |

|     |      |           |        |      |       |
|-----|------|-----------|--------|------|-------|
| PT  | mg/L | 8.8 - 18  | 14.53  | 8.85 | 18.15 |
| DQO | mg/L | 300 - 573 | 439.19 | 300  | 573   |

## **11.5 Análisis de la información del Proceso**

### **11.5.1 Análisis rutinarios**

La PTAR cuenta con un laboratorio en operación donde se realizan análisis de laboratorio. El encargado de laboratorio proporcionó el programa de calibración de los equipos y el listado de equipos de laboratorio. Asimismo, se compartió los reportes de análisis realizados por laboratorio externo del año 2020 y hasta septiembre del 2021.

### **11.5.2 Manual de operación**

La PTAR proporcionó los manuales de operación del pretratamiento, cárcamo de bombeo, área de sopladores y área de cloración, sin embargo, no se proporcionó el manual de operación completo de la PTAR.

### **11.5.3 Reportes de operación (bitácoras)**

Con relación a los reportes de operación, el personal de la PTAR no proporcionó la información de la bitácora de operación escaneada, solo se compartieron seis ejemplos de bitácoras (del 01 al 06 de junio de 2021) de manejo de residuos sólidos de manejo especial que provienen de la operación del pretratamiento (rejillas y desarenadores), por lo cual no se cuenta con información del mantenimiento rutinario o de reparación del sistema de tratamiento.

### **11.5.4 Mantenimiento**

Se proporcionó el programa de mantenimiento anual, para el pretratamiento, cárcamo de bombeo, sopladores, lagunas, cloración, edificio de administración y herramientas. La fecha de emisión de los programas es del 2006 con una fecha de actualización del 2018. La PTAR también proporcionó los manuales de operación del pretratamiento, cárcamo de bombeo, sopladores y del proceso de desinfección. Por parte del mantenimiento, se presentaron manuales de engrasado y lubricación de equipos electromecánicos, sistema de aireación, luminarias, pintura y planta de emergencia.

## 12 ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

### 12.1 Descripción del proceso

El agua residual que proviene del municipio de Durango ingresa a la PTAR por un cauce libre y como primer tratamiento pasa por una rejilla de gruesos (rejilla de desbaste) con una separación entre barras de 0.05 m (Figura 280).



**Figura 280. Rejillas gruesas**

Después de las rejillas gruesas, el agua residual pasa a través de tres compuertas deslizables que conectan el caudal con dos unidades mecánicas de rejillas finas (Aframex) semiautomáticas las cuales se limpian manualmente por los operadores cada 30 minutos y se va alternando la operación (Figura 281). Posteriormente la planta cuenta con tres desarenadores que dividen el flujo en tres canales, sin embargo, solo dos de ellos están en operación. El desarenador fuera de operación carece de

cangilones para la extracción de arena del fondo del canal y por lo tanto permite el flujo libre del caudal.

Los desarenadores de geometría rectangular vertical poseen una limpieza mecánica por barrido del fondo a través de cangilones. Cada cangilón hace un recorrido completo cada 20 minutos y cada desarenador posee 15 cangilones ubicados cada 3 m. La arena extraída se descarga a una tolva de arenas a través de una banda transportadora. La velocidad de diseño es de 0.3 m/s. Cada desarenador mide 2.10 m de ancho y 20.0 m de largo (Figura 282). La limpieza de los desarenadores se hace con retrocaudal y no hay equipo de apoyo.



**Figura 281. Rejillas finas**



**Figura 282. Desarenadores**

Una vez que el agua residual pasa por el pretratamiento, es enviada a un cárcamo de bombeo en el cual se encuentran seis bombas sumergidas de 90 HP (1), 100 HP (4) y 135 HP (1), cada bomba puede generar corrientes de 300 a 400 L/s para otorgar una capacidad de bombeo total alrededor de 1,800 L/s. Generalmente se tienen en operación cinco bombas y una en reserva.

En 2016 se realizó un mantenimiento correctivo de todos los equipos, no obstante, a la fecha la planta no cuenta con programa de mantenimiento. El agua bombeada entra a una caja reguladora y a través de una tubería de 2.5 m de diámetro se conecta con tres vertedores rectangulares que controlan la entrada del flujo por gravedad al sistema lagunar la planta, específicamente a las lagunas A1 y B1 (Figura 283).



**Figura 283. Cárcamo de bombeo y caja distribuidora**

La planta de tratamiento, en su parte biológica, está compuesta de seis lagunas rectangulares aireadas (tres en serie en dos trenes en paralelo) divididos en los módulos A (tres lagunas: A1, A2 y A3) y B (tres lagunas: B1, B2 y B3) (Figura 284). Las lagunas A1, A2 y A3 son espejo de las B1, B2 y B3 respecto a dimensiones y tienen un gasto de diseño global de 2,000 L/s, un gasto global de operación de 1,303 L/s con un volumen nominal de 106,035, 103,581 y 106,035 m<sup>3</sup> para las lagunas A1/ B1, A2/B2 y A3/B3, respectivamente. El tiempo de residencia hidráulica global de diseño, de acuerdo con el perfil hidráulico entregado por personal de la PTAR, es de 6.29 d, con TRH de operación para las lagunas 1, 2 y 3 de 1.88, 2.02 y 1.84 d, respectivamente. La concentración de DBO promedio de 180 (lluvias) a 240 (estiaje) mg/L. La carga orgánica global de operación es de 0.084 kg DBO/m<sup>3</sup>d Para cada

laguna se cuenta con tres vertederos que para el influente y efluente. En la Tabla 112 se indican las coordenadas para cada una de las lagunas.



**Figura 284. Vista aérea y esquemática (tomada del plano general de la planta) del sistema lagunar de la PTAR Oriente**

**Tabla 112. Coordenadas de las seis lagunas de la PTAR Durango Oriente**

| Laguna                              | Latitud       | Longitud        |
|-------------------------------------|---------------|-----------------|
| A1                                  | 24° 1'33.08"N | 104° 36'33.63"O |
| B1                                  | 24° 1'29.79"N | 104° 36'32.12"O |
| A2                                  | 24° 1'34.55"N | 104° 36'26.26"O |
| B2                                  | 24° 1'31.39"N | 104° 36'24.00"O |
| A3                                  | 24° 1'36.27"N | 104° 36'18.49"O |
| B3                                  | 24° 1'33.17"N | 104° 36'17.08"O |
| Almacenamiento                      | 24° 1'34.89"N | 104° 36'7.89"O  |
| Unidades de recepción del desazolve |               |                 |
| Laguna I                            | 24° 1'28.53"N | 104° 36'22.08"O |
| Laguna II                           | 24° 1'30.25"N | 104° 36'13.33"O |

Las lagunas tienen una dimensión de 220 m de largo y 110 m de ancho con una profundidad de 4.5 m, el área superficial máxima y otras dimensiones de las lagunas se señalan en la Tabla 113.

En la imagen satelital se aprecian otros cuerpos de agua que semejan a un tren adicional de lagunas. Ese espacio se preparó, parcialmente, para una posible ampliación del sistema lagunar. En la actualidad se utiliza para el almacenamiento de los lodos extraídos cuando se desazolvan las lagunas en funcionamiento. El espejo de agua no es permanente.

Las lagunas no cuentan con un recubrimiento, únicamente están impermeabilizadas con arcilla en el fondo, lo cual impide el paso del agua hacia el subsuelo (Figura 285).

**Tabla 113. Dimensiones de las seis lagunas aireadas**

|                                     | A1   | A2   | A3   | B1   | B2   | B3   |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Largo (m)</b>                    | 220  | 220  | 220  | 220  | 220  | 220  |
| <b>Ancho (m)</b>                    | 110  | 110  | 110  | 110  | 110  | 110  |
| <b>Área superficial máxima (ha)</b> | 2.57 | 2.51 | 2.81 | 2.57 | 2.51 | 2.81 |
| <b>Área</b>                         | 2.5  | 2.08 | 2.35 | 2.5  | 2.08 | 2.35 |



|   |        |        |        |        |        |        |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>de fondo (ha)</b>                        |        |        |        |        |        |        |
| <b>Volumen de operación (m<sup>3</sup>)</b> | 106035 | 103581 | 116035 | 106035 | 103581 | 116035 |



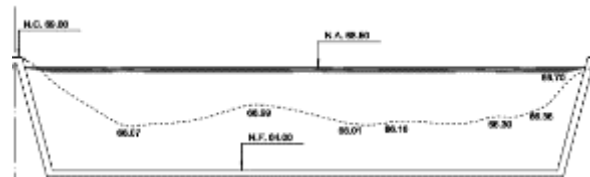
**A1**



**A2**



**A3**



**Figura 285. Lagunas A1, A2, A3 y esquema**

El sistema de lagunas tiene dos salidas posteriores a la desinfección: 1) laguna de almacenamiento; y 2) en un canal paralelo a la planta, el arroyo Acequia Grande.

1) La laguna de almacenamiento, a su vez, tiene dos salidas, la primera es al distrito de riego 052 Guadalupe Victoria módulo 3 y la segunda es a Fenosa, los volúmenes aprovechados por esta empresa se muestran en la Tabla 114. Los agricultores del Distrito de Riego 052 extraen regularmente agua de la laguna. No existe medidor de flujo para ese caudal, pero el personal de la PTAR y del distrito de riego señalan que durante el ciclo otoño - invierno, en

promedio se envía 700 L/s, mientras que en el ciclo primavera - verano 1,000 a 1,100 L/s.

2) El canal paralelo a la planta, el arroyo Acequia Grande, cuya agua es aprovechada por los agricultores del poblado 20 de noviembre, durante el ciclo otoño - invierno se destinan, en promedio, 800 L/s, mientras que durante el ciclo primavera - verano solamente 300 L/s.

**Tabla 114. Volúmenes anuales de agua de reúso canalizada hacia Fenosa**

| Año  | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|------|---------------------------|
| 2018 | 321,483                   |
| 2019 | 289,607                   |
| 2020 | 278,724                   |
| 2021 | 343,916                   |



**Figura 286. Canal arroyo Acequia Grande y laguna de almacenamiento**

La aireación para las lagunas se suministra por medio de cuatro sopladores (400 HP cada uno), de los cuales se utilizan dos o tres, quedando siempre al menos uno en reserva (Figura 287). Los sopladores se conectan con las lagunas a través de una tubería de aireación de 6 pulgadas. El sistema de difusión de aire dentro de las lagunas está conformado por líneas de conducción flotantes unidos con mangueras de 1.5 pulgadas a los difusores de membrana de poro fino. La Figura 288 muestra las líneas de suministro de aire en las lagunas, su mantenimiento y detalles de su estructura. El viento tiene una dirección oeste respecto al flujo de entrada del agua residual.



**Figura 287. Sopladores para las lagunas**

El personal que opera la planta de tratamiento indica que las lagunas se desazolvan cada 5 años, o cuando la batimetría presenta un azolve de 1.5 a 2 m. Al momento de la visita se comentó que las seis lagunas se habían desazolvado, comenzando las labores en agosto 2020 y finalizando en marzo 2021. De acuerdo con el Ing. el volumen desazolvado estimado es de 156,225 m<sup>3</sup>. En los días que duró la visita se pudo observar a personal de mantenimiento de la PTAR realizar labores de cambio y reparación de los difusores de aire. De acuerdo con el Ing. García, uno de los problemas recurrentes es el rompimiento de los conectores del tubo extrupak con el cuerpo metálico de los difusores, lo cual ocasiona una fuga del aire y la aparición de borbollones que no aportan suficiente oxígeno disuelto como si lo hacen las burbujas finas de los difusores.





**Figura 288. Sistema de aireación para las lagunas**

## 12.2 Estado de las unidades de proceso

Se realizó un recorrido preliminar de dos días (visita prospectiva) y posteriormente se efectuó la visita de diagnóstico, con duración de cinco días. En todo momento, el personal de la PTAR proporcionó acompañamiento y su participación en el proceso fue muy importante. Durante el recorrido en campo para el llenado de formatos y la evaluación *in situ* de la PTAR, se pudo percibir un olor a ácido sulfhídrico en las secciones más cercanas a las lagunas de la planta, lo cual puede ser indicativo de una aireación insuficiente en las lagunas.

Comenzando con el pretratamiento y de acuerdo con personal de la planta, se generan de tres a cuatro contenedores de 14 toneladas a la semana con residuos de las rejillas y desarenadores. Estos residuos sólidos se almacenan

temporalmente en un área confinada (Figura 289) y se disponen en un relleno sanitario.



**Figura 289. Área de confinamiento de los residuos sólidos del pretratamiento**

Se encontró que un desarenador se encuentra fuera de operación debido a la falta de una sección de recolección de arenas, es decir, en ese desarenador no se cuenta con cangilones para la extracción de arena del fondo del canal (Figura 290). Sin embargo, el agua proveniente de las rejillas atraviesa ese desarenador inhabilitado, lo cual incrementa la cantidad de arenas que llegan a las primeras lagunas (A1 y B1).



### **Figura 290. Canal desarenador fuera de operación (primer canal de izquierda a derecha en vista frontal)**

En general, el estado de la obra civil del pretratamiento es bueno, y por cuestiones de presupuesto, solamente se proporciona mantenimiento correctivo. Para paliar este inconveniente, los operadores continuamente realizan las actividades de limpieza. Se constató las dimensiones de las rejillas gruesas, que fue de 4.75 m con 32 espacios (de 13 cm) entre barras circulares de 1.5 cm de diámetro, asimismo, la rejilla gruesa tiene un ángulo de 70°. Las tres compuertas que preceden a las rejillas gruesas tienen un ancho de total (cada una de ellas) de 1.5 m y una altura de 1.5 m, pudiéndose abrir hasta una altura de 1.10 m.

Respecto a las rejillas finas, se observó que son semiautomáticas con un ancho del equipo mecánico de 1.83 m cada una, pero con un ancho de la rejilla de 1.65 m que cuenta con barras verticales de 0.5 cm de espesor y claro entre ellas de 1 cm. Se verificó las dimensiones de cada canal desarenador, registrando anchos de 2.08, 2.07, 2.13 y 2.13 m para los canales 1, 2, 3 y 4 (vistos desde la descarga y de izquierda a derecha) y separados por muros de 0.20 m. Los cuatro canales tuvieron un largo de 19.83 m, una altura nominal de 2.06 m y con un tirante de agua de 1.48 m. En la salida de los cuatro desarenadores se tienen sus respectivos canales Parshall, y con ellos se verifica en caudal de salida una vez a la semana.

Respecto al mantenimiento preventivo, la planta cuenta con un programa anual del mismo hasta 2013. El jefe de la planta comentó que desde 2018 solo realizan mantenimiento correctivo (con proveedores externos) debido a la disminución del presupuesto. Sin embargo, se realiza limpieza de cadenas y motores en pretratamiento, solo no se rebobinan motores. El estado de las instalaciones metálicas es regular, ya que se pudo observar en ciertas zonas del pretratamiento corrosión de barandales, tapas y piso metálico. La Figura 291 muestra un estado físico general de las instalaciones del pretratamiento.



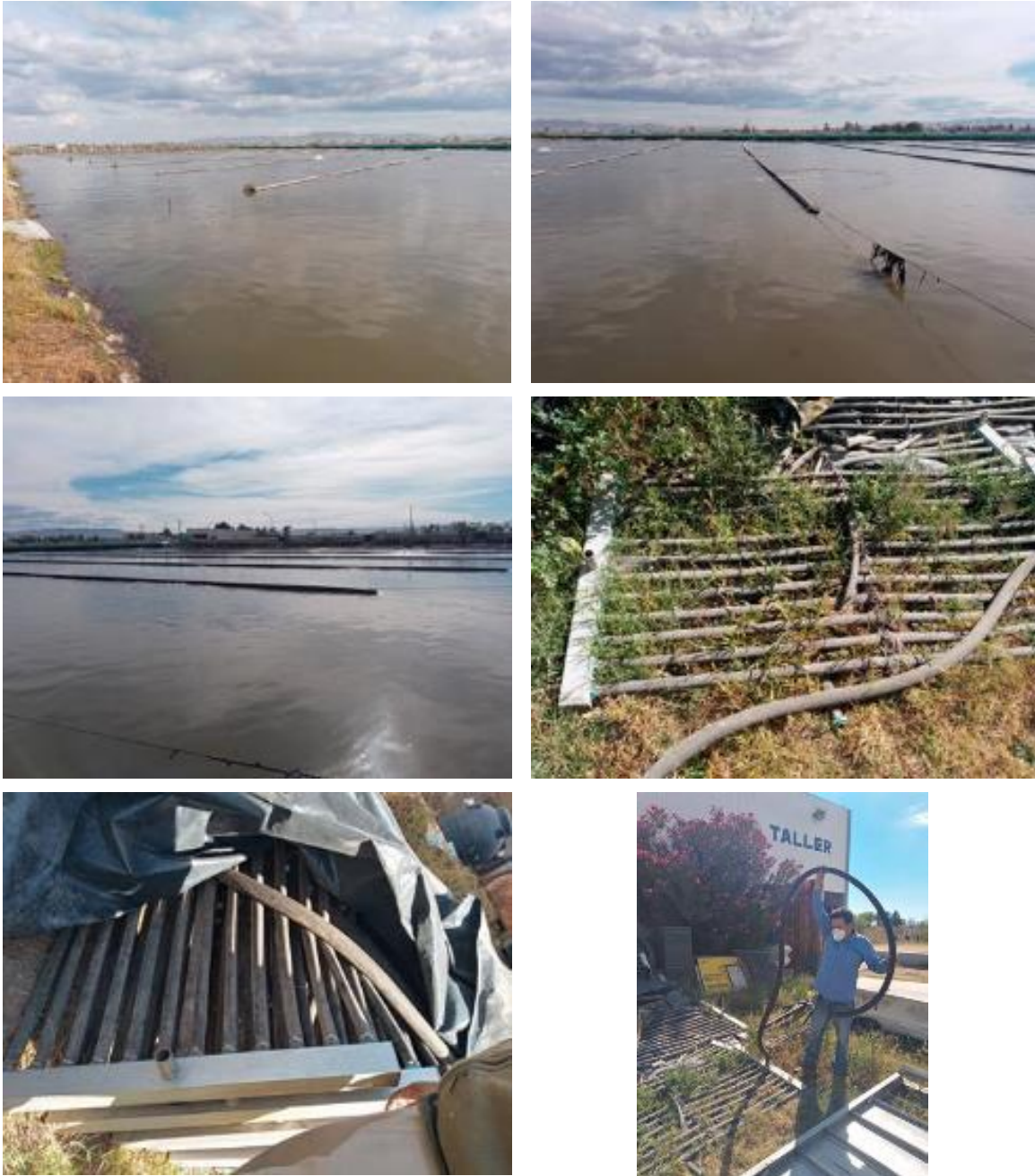


**Figura 291. Estado físico del pretratamiento**

Respecto a las lagunas aireadas, se pudo observar que todas se encuentran en operación y siguen un orden en la intensidad del suministro de aire, de tal manera que las lagunas A1-B1, A2-B2 y A3-B3 reciben teóricamente un 100, 66 y 33% de aireación, respectivamente.

Lo anterior está relacionado con el número de líneas o distribuidores flotantes (tubos que suministran el aire hacia los difusores sumergidos con 6 pulgadas de diámetro) de cada laguna. Se tienen 17, 11 y 7 líneas de distribución flotantes para las lagunas A1-B1, A2-B2 y A3-B3, respectivamente. Cabe señalar que cada línea flotante tiene nueve paneles de aireación para las lagunas A1-B1 (153 aireadores en total), para A2-B2 se tienen siete paneles (77 aireadores) y las lagunas A3-C3 poseen seis paneles (42 aireadores). La Figura 292 muestra cómo están ubicados las líneas de distribución flotantes en las lagunas y el aspecto de los paneles sumergidos que tiene unidos los difusores (se tomó fotografía de los paneles en reparación).





**Figura 292. Ubicación de líneas de distribución flotantes en las lagunas y estructuras de los paneles sumergidos que sostienen a los difusores**

Entre 2013 y 2014 se realizó el cambio de sistemas de difusión de aire, sustituyendo por los actuales de burbuja fina. Un problema recurrente es el

desprendimiento de los paneles de la línea de distribución flotante, lo cual ocasiona la presencia de borbollones en varias secciones de las seis lagunas, además del hundimiento de las líneas especialmente en las lagunas A3 y B3 (Figura 293). Se comenta que se incrementa este desprendimiento cuando se presenta presencia de vientos fuertes sobre las lagunas.



**Figura 293. Líneas de distribución hundidas**

Las vialidades internas son regulares, son caminos de terracería y no presentan indicaciones viales además de carecer de banquetas para el paso de peatones. No obstante, tienen el ancho suficiente para que se pueda transitar en vehículo a las seis lagunas. (Figura 294). En general, el estado de la obra civil de la zona de lagunas es bueno, los bordos de las lagunas y caminos se encuentran en buen estado, aunque se nota que el deshierbe no se hace con tanta frecuencia y hay zonas con maleza alta en los límites de las vialidades internas y zonas con azolvamiento.

Las lagunas tienen tres vertedores de alimentación y tres vertedores de salida. En promedio, los vertedores tienen un ancho de 1.85 m y en la caja interior un ancho efectivo de 1.60 m. En la dirección del flujo, el primer vertedor se encuentra a 35 m de la orilla de la laguna, con 20 m de espacio entre los vertedores primero y segundo, y segundo y tercero, con una separación de 28 m entre el tercer vertedor y a la orilla de la laguna.



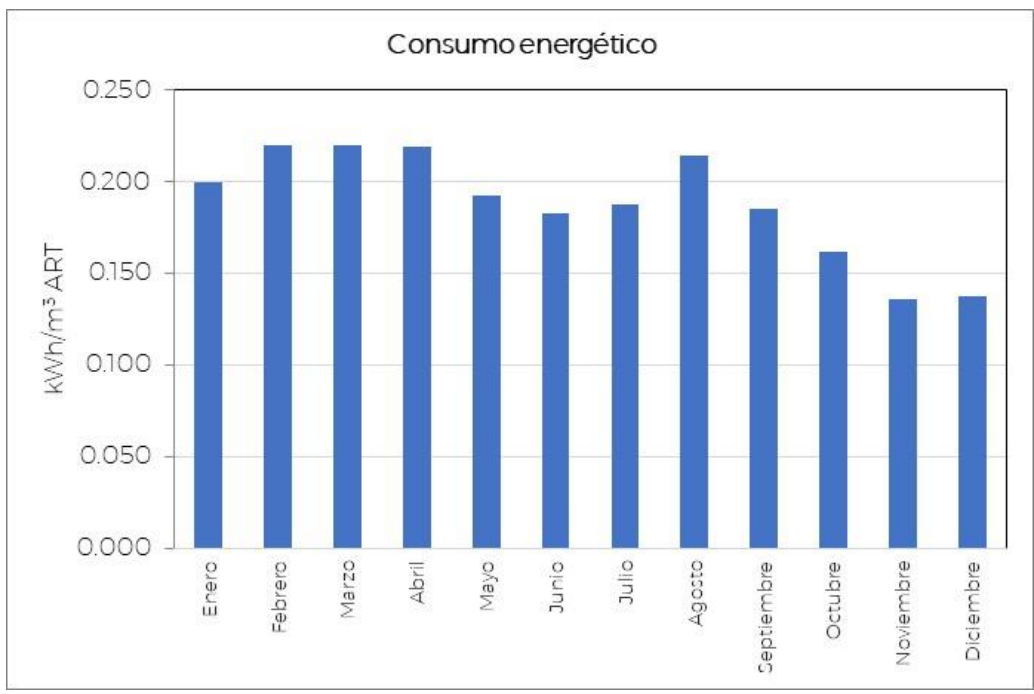
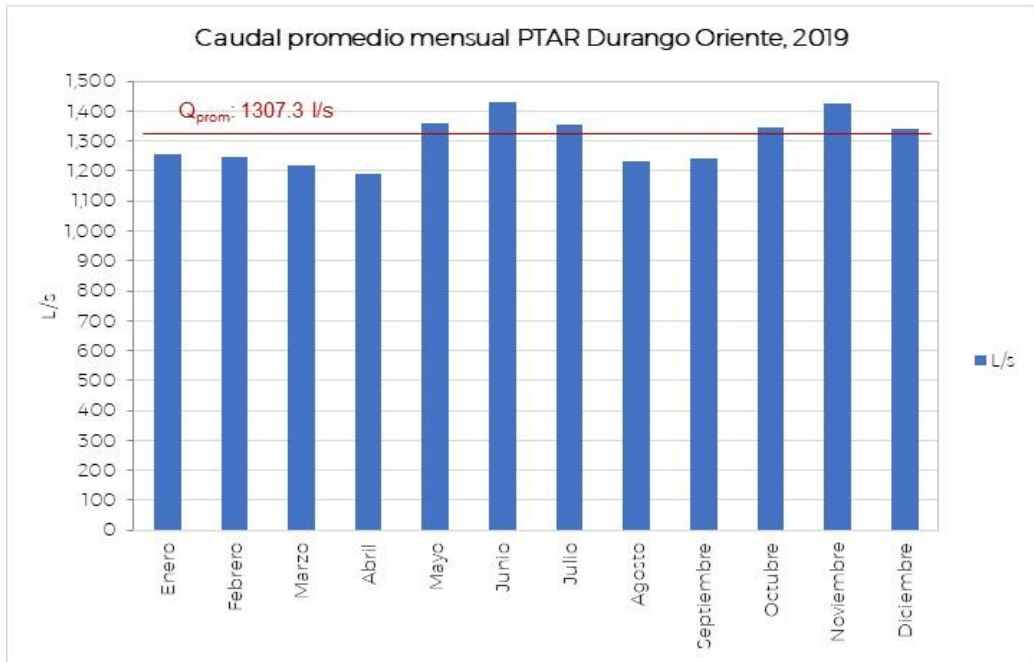
**Figura 294. Vialidades internas en la PTAR**

Para el mantenimiento de las líneas de distribución se hace uso de una balsa o panga, en la cual los trabajadores realizan la sustitución de paneles de difusión. Esta balsa transporta de una laguna a otra a con ayuda de la retroexcavadora y se mueve en remolque (Figura 295). Este mantenimiento correctivo se lleva durante todo el año, y se cuenta con una cuadrilla especializada en esta actividad. Se requieren refacciones de manera continua.



**Figura 295. Uso de barcaza para el mantenimiento de las líneas flotantes de distribución de aire**

De acuerdo con un presupuesto estimado que compartió el personal de la planta, en 2019 se realizó un gasto anual promedio de \$0.414/m<sup>3</sup> de agua residual tratada por concepto de pago de energía eléctrica, considerando que el monto total fue de \$17 062 044.00. La Figura 296 señala los caudales y consumos energéticos asociados al cálculo de metro cúbico de agua residual tratada en 2019.



**Figura 296. Caudal mensual 2019 (a) y consumo energético por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de agua residual tratada (b)**

En el caso del estado físico de la sección de desinfección en el que confluyen los efluentes de los trenes A y B de las lagunas, la desinfección se realiza por la adición de cloro gas en una serie de canales de desinfección tipo serpentín. En cada serpentín hay siete canales de 3.9 m x 13 m con un bordo libre de 1.65 m. El agua es enviada a la laguna de almacenamiento para su posterior envío al distrito de riego 052 y/o Fenosa, o al arroyo Acequia Grande. Se encontró que el estado de la obra civil es bueno (Figura 297), sin embargo, las instalaciones metálicas y tuberías se observan corroídas lo que implica una falta de mantenimiento en dicha zona.





**Figura 297. Estado físico de la sección de desinfección de la PTAR**

### 12.2.1 Equipos electromecánicos

Se realizó el levantamiento de los equipos electromecánicos de la PTAR Durango Oriente. La relación de equipos se divide en áreas, las cuales se muestran en la Tabla 115. Se encontró que, en general, se da mantenimiento de tipo correctivo a medida que se presentan fallas y descomposturas de equipos e infraestructura.

Afortunadamente, al no tener una gran cantidad de equipos electromecánicos, ya que la mayoría solo se utilizan en el área de pretratamiento, suministro de aire a lagunas y bombeo, el personal de la planta es eficiente para la reparación de equipos. Sin embargo, en ocasiones se ven limitados por la escasez de presupuesto para la compra de refacciones y pago a proveedores de servicio. Como se observa en la Tabla, existen 17 equipos fuera de servicio, algunos con dos y tres años sin ser reparados. De acuerdo con el personal de la PTAR, los retrasos en la rehabilitación de equipos se deben a la falta de recursos para la compra de refacciones y partes de repuesto.

**Tabla 115. Relación de número de equipos de acuerdo con cada sección de la PTAR**

| Área              | Número de equipos | Equipos fuera de servicio |
|-------------------|-------------------|---------------------------|
| Pretratamiento    | 15                | 5                         |
| Cárcamo de bombeo | 20                | 4                         |
| Sopladores        | 27                | 8                         |
| Cloración         | 15                | 0                         |

| Área              | Número de equipos       | Equipos fuera de servicio |
|-------------------|-------------------------|---------------------------|
| Aireación lagunas | 6 (cadenas con paneles) | 0                         |

La PTAR cuenta con un Centro de Control de Motores (CCM), transformador, planta de emergencia (dentro de la caseta del CCM) y subestación eléctrica ubicadas en zona aledaña al área de bombeo. El estado físico de estos equipos electromecánicos y la obra civil donde se resguardan es bueno, a pesar de no haberse cambiado desde el arranque de la PTAR (Figura 298). En general, las instalaciones del CCM y de la subestación eléctrica están en un estado físico general adecuado, aunque es necesario contar con un programa de mantenimiento preventivo.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 298. Planta de emergencia (a, b y c) y subestación eléctrica (d)**



En la zona de CCM se encuentran los respectivos medidores de caudal ultrasónicos (Figura 299) asociados a las seis bombas que alimentan a las lagunas aireadas, que al momento de la visita (06 diciembre de 2021 a las 14 horas) presentaron los caudales que se presentan en la Tabla 116. Los medidores fueron calibrados en noviembre de 2019.

**Tabla 116. Caudales registrados en la visita diagnóstico para las 6 bombas que alimentan las lagunas de aireación**

| Bomba        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Caudal (L/s) | 266.9 | 416.7 | 376.0 | 395.0 | 248.2 | 285.1 |



**Figura 299. Medidores de caudal de las seis bombas que alimentan a las lagunas aireadas**

De igual modo, las salidas de la desinfección la PTAR (dos canales) cuentan con dos medidores de caudal, de las marcas Hydrocontrol y Greyline. Ambos medidores, de tipo ultrasónico, fueron calibrados por personal externo en el año 2019. El medidor Hydrocontrol está asociado a la salida del tren de lagunas A y el medidor Greyline al tren B, en la Figura 300 se muestran la portada de los informes de calibración y de los medidores.



(a)



(b)



(c)

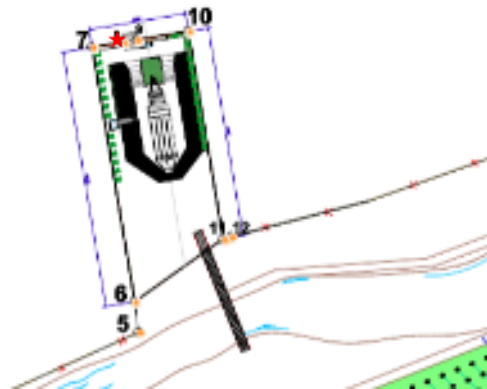
**Figura 300. Medidores de caudal (Hydrocontrol y Greyline) a la salida de las lagunas aireadas y portadas de los informes de calibración**

### 12.3 Muestreo y calidad del agua residual

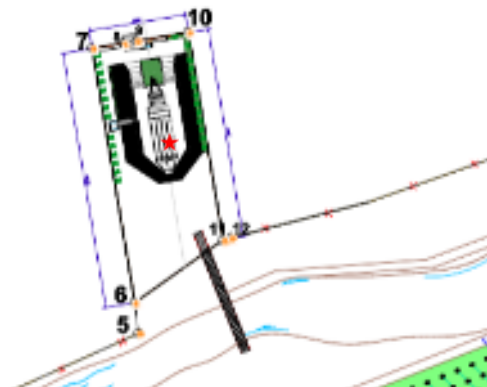
Para realizar el muestreo del agua residual en la PTAR se realizó inicialmente un recorrido a las instalaciones con personal de la planta, con la finalidad de seleccionar los puntos de muestreo más adecuados y seguros.

Los puntos de muestreo seleccionados se muestran en la Figura 301 fueron divididos como: 1) Influyente, 2) Salidas de rejillas finas, 3) Salida desarenadores, 4) Entrada general Lagunas aireadas, 5) Salida de lagunas de aireación, 6) Entrada a cloración, 7) Efluente a la acequia (canal paralelo a la PTAR) y 8) Salida de la laguna de almacenamiento (la estrella indica el punto de muestreo).

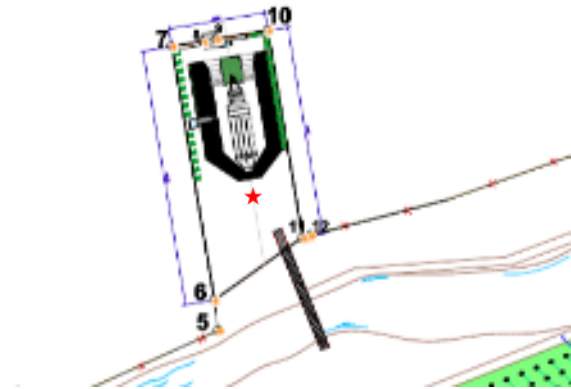
Punto de muestreo 1 - Influyente (sección de pretratamiento)



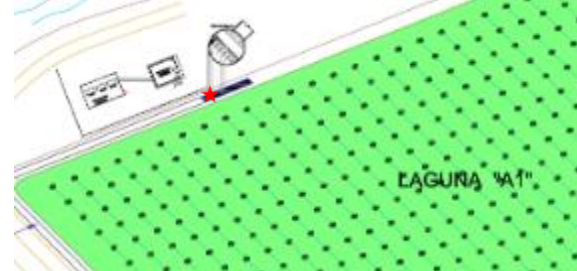
Punto de muestreo 2 - salida de rejillas finas (sección de pretratamiento)



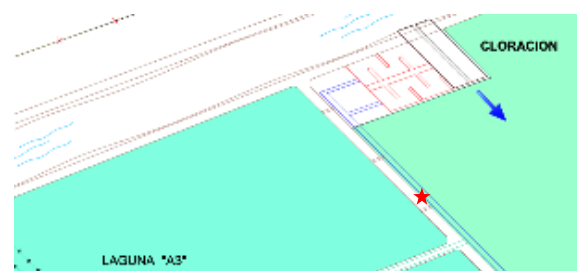
Punto de muestreo 3 - salida de desarenadores (sección de pretratamiento)



Punto de muestreo 4 - entrada general a lagunas aireadas (sección de bombeo)



Punto de muestreo 5 - salida de lagunas aireadas (entre laguna A3 y sección de desinfección)



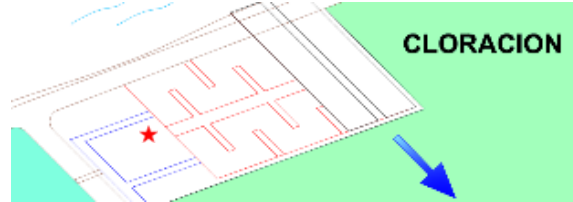
★ Punto de muestreo



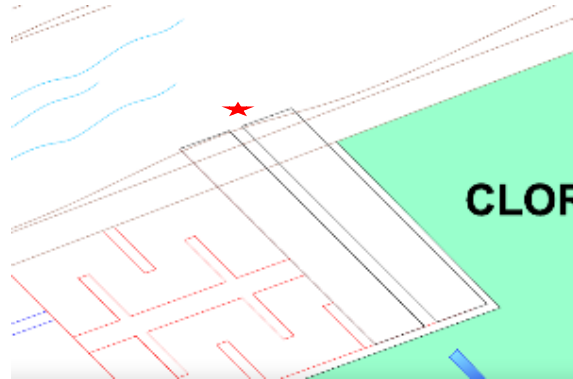
**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



Punto de muestreo 6 – entrada a cloración (sección de desinfección)



Punto de muestreo 7 –efluente a la acequia (salida de desinfección)



Punto de muestreo 8 – efluente de la laguna de almacenamiento



**Figura 301. Puntos de muestreo PTAR Durango Oriente**

En la Tabla 117 se muestran los parámetros evaluados en cada punto, los cuales se seleccionaron de acuerdo con los parámetros de diseño de cada unidad de proceso de la PTAR. El muestreo fue realizado por el Laboratorio de Calidad del Agua del IMTA, el cual es un laboratorio acreditado.

Se realizó una inspección visual durante el muestreo y, en general, en las visitas (prospectiva y diagnóstico) se pudo percibir un olor en sulfuro de hidrógeno en las lagunas (en especial en las primeras A1 y B1). En general, la infraestructura se encuentra en buen estado, pero se requiere invertir en el sistema de aireación de las lagunas.

No se observó un crecimiento excesivo de flora acuática, con excepción de alguna acumulación en las orillas, y sobre las líneas de aireación. No se observó la presencia de insectos o larvas en exceso en ninguna de las lagunas. En las últimas lagunas (A3 y B3) se advirtió que el color de agua seguía de un marrón ligero y con sólidos suspendidos. Se advirtió una acumulación de sólidos flotantes y ligera vegetación acuática en las esquinas de las lagunas, lo cual puede estar relacionado con zonas muertas.

**Tabla 117. Parámetros evaluados**

| Parámetros                         | Descripción         | Muestra 1<br>Influyente | Muestra 2<br>Salida<br>rejillas<br>finas | Muestra 3<br>Salida<br>desarenadores | Muestra 4<br>Entrada general<br>a lagunas de<br>aireación | Muestra 5<br>Salida<br>lagunas de<br>aireación | Muestra 6<br>Entrada a<br>cloración | Muestra 7<br>Efluente<br>acequia | Muestra 8<br>Salida de<br>laguna<br>regulación |
|------------------------------------|---------------------|-------------------------|--|--------------------------------------|---|--|-------------------------------------|----------------------------------|--|
|                                    | No. de<br>muestras  | 1                       | 1  | 4                                    | 1   | 6  | 1                                   | 1                                | 1  |
| NOM-001-<br>SEMARNAT-<br>1996      | pH                  |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | Temp                |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | Materia<br>flotante |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | Sól. Sed.           |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | GyA                 |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | SST                 |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | DBO                 |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | NT                  |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | PT                  |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | Metales             |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | HH                  |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | CF                  |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
| PROY-NOM-001-<br>SEMARNAT-<br>2017 | DQO                 |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | Toxicidad<br>aguda  |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | Color<br>verdadero  |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
|                                    | E. coli             |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |
| Diseño                             | DBOs y DQOs         |                         |  |                                      |   |  |                                     |                                  |  |





|                         |                  |                             |                 |                 |                 |                 |                 |                             |                 |
|-------------------------|------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|
|                         | <b>Clorofila</b> |                             |                 |                 |                 |                 |                 |                             |                 |
| <b>Tipo de muestreo</b> |                  | Compuesto, 24 h, 6 muestras | Muestreo simple | Muestreo simple | Muestreo simple | Muestreo simple | Muestreo simple | Compuesto, 24 h, 6 muestras | Muestreo simple |

### 12.3.1 Resultados del muestreo compuesto

Se presentan los resultados de los análisis del laboratorio certificado que se realizaron durante la evaluación a la PTAR.

En primer término, se muestran los resultados de las muestras simples del influente y del efluente: el valor mínimo y el valor máximo registrado, así como el promedio para el caudal, temperatura, pH; promedio ponderado para grasas y aceites, y media geométrica para coliformes fecales y *E. coli*.

**Tabla 118. Valores de las muestras simples.**

| Influente            | Unidad     | Promedio | Valor mínimo | Valor máximo |
|----------------------|------------|----------|--------------|--------------|
| Q <sub>inf</sub>     | L/s        | 1625.00  | 934.00       | 2242.00      |
| pH <sub>inf</sub>    | UpH        | 7.43     | 7.30         | 7.50         |
| T <sub>inf</sub>     | °C         | 22.00    | 19.00        | 25.00        |
| GyA <sub>inf</sub>   | mg/L       | 39.70    | 17.00        | 50.90        |
| CF <sub>inf</sub>    | NMP/100 mL | 7.59E+03 | 4            | 2.40E+06     |
| Ecoli <sub>inf</sub> | NMP/100 mL | 1.11E+04 | 11           | 1.10E+06     |

| Efluente            | Unidad     | Promedio | Valor mínimo | Valor máximo |
|---------------------|------------|----------|--------------|--------------|
| Q <sub>ef</sub>     | L/s        | 744.00   | 560.00       | 849.00       |
| pH <sub>ef</sub>    | UpH        | 7.53     | 7.50         | 7.60         |
| T <sub>ef</sub>     | °C         | 19.83    | 17.00        | 23.00        |
| GyA <sub>ef</sub>   | mg/L       | 55.96    | 13.10        | 183.00       |
| CF <sub>ef</sub>    | NMP/100 mL | 3.67E+03 | 3            | 2.40E+05     |
| Ecoli <sub>ef</sub> | NMP/100 mL | 3.22E+03 | 3            | 1.10E+05     |

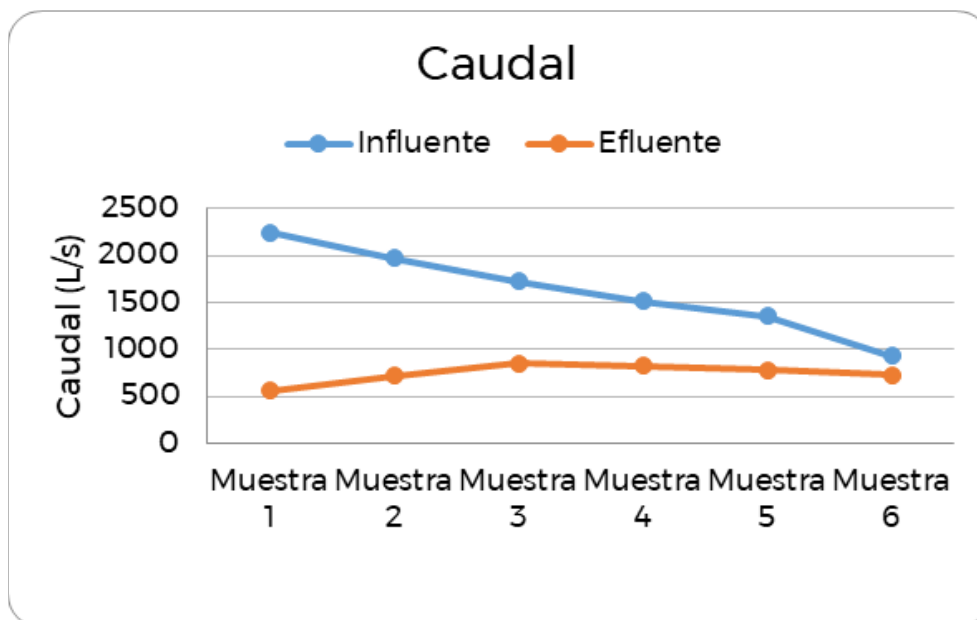
El caudal en el influente se mantuvo entre 934 y 2,292 L/s, el cual coincide con los reportados por la PTAR respecto a las capacidades de las bombas en el cárcamo. En el influente se constató los caudales de las bombas en el cárcamo a través de los medidores ultrasónicos (Figura 302) cuya sumatoria para seis bombas fue de 1,987.2 L/s, valor que fue tomado a las 14 horas. De lo anterior, se deduce que hay un aumento de caudal en comparación con

el caudal de operación global reportado de 1,400 L/s, lo cual oscila dentro de las variaciones de las horas pico.

Es de notar la diferencia del caudal en los valores mínimo, máximo y promedio entre el influente y el efluente. Esto, tal como se señaló en el apartado 3.1, se explica porque el sistema de lagunas tiene dos salidas posteriores a la desinfección:

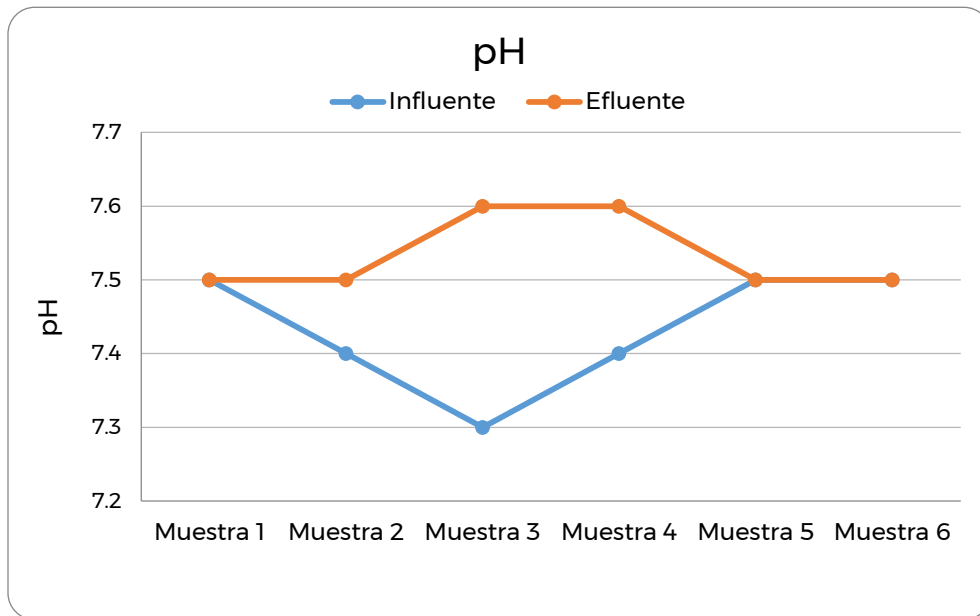
1) La laguna de almacenamiento, a su vez, tiene dos salidas, la primera es al distrito de riego 052 Guadalupe Victoria módulo 3 y la segunda es a Fenosa, los volúmenes aprovechados por esta empresa se muestran en la Tabla 114. Los agricultores del Distrito de Riego 052 extraen regularmente agua de la laguna. No existe medidor de flujo para ese caudal, pero el personal de la PTAR y del distrito de riego señalan que durante el ciclo otoño - invierno, en promedio se envía 700 L/s, mientras que en el ciclo primavera - verano 1,000 a 1,100 L/s.

2) El canal paralelo a la planta, el arroyo Acequia Grande, cuya agua es aprovechada por los agricultores del poblado 20 de noviembre, durante el ciclo otoño - invierno se destinan, en promedio, 800 L/s, mientras que durante el ciclo primavera - verano solamente 300 L/s.



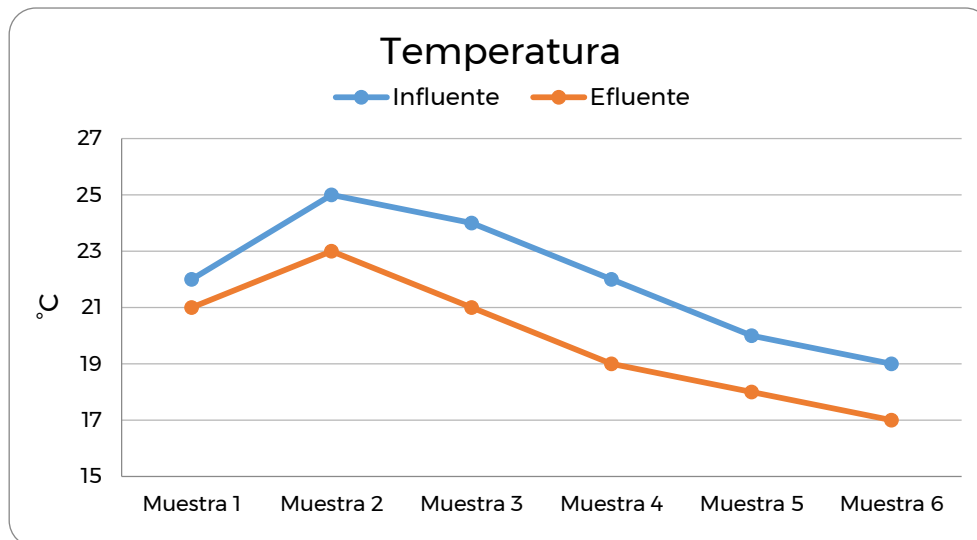
**Figura 302. Caudal**

El pH tuvo variaciones ente 7.3 a 7.5 y de 7.5 a 7.6 para el influente y efluente, respectivamente. En ambos casos, los valores se presentan dentro de la normatividad (Figura 303) y no representan un problema para el proceso de tratamiento.



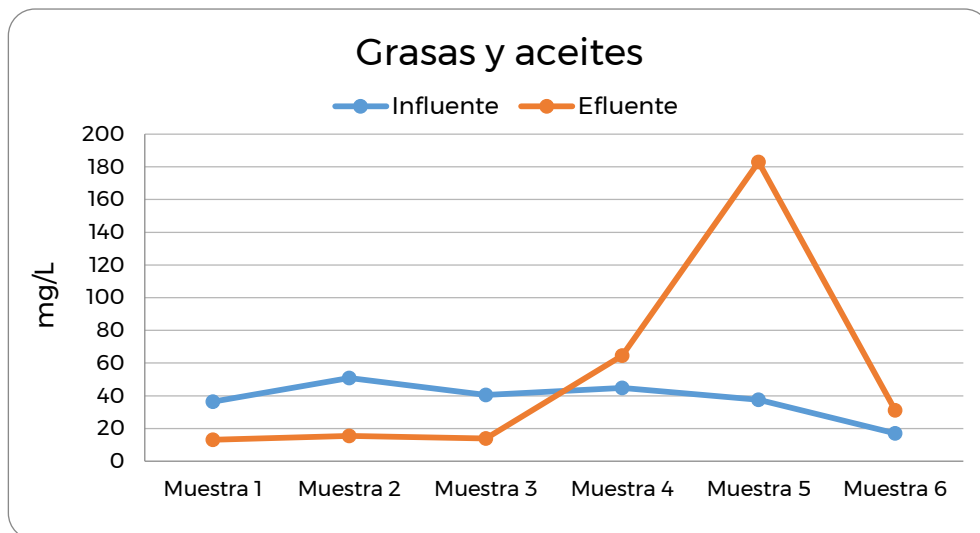
**Figura 303. Tendencias para pH**

Respecto a la temperatura, ésta osciló entre 19 a 25°C, y de 17 a 23°C para el influente y efluente, respectivamente. Estos valores coinciden con las respectivas temperaturas ambientales de día y noche en la zona de Durango capital (Figura 304).



**Figura 304. Tendencias para temperatura**

Las grasas y aceites (GyA) tuvieron variaciones entre los 17 a 50.9 mg/L, con un promedio ponderado de 39.7 mg/L para el influente y de 13.1 a 183 mg/L para el efluente, con un promedio ponderado de 55.96 mg/L. Llama la atención que en el efluente se encontraron valores superiores de GyA que para las muestras 4 y 5. De hecho, el valor pico se presentó en el efluente con 183 mg/L, por lo que es necesario revisar este valor puntual. Sin embargo, los valores observados indican que se presentan valores acordes a descargas de origen municipal en esta instalación (Figura 305).



**Figura 305. Tendencias para Grasas y Aceites**

La Figura 306 muestra el comportamiento de los microbiológicos, donde las coliformes fecales (CF) presentó un valor mínimo de  $2.4 \times 10^6$  NMP/100 mL en el influente, el cual cae en los valores típicos para un agua residual cruda. Sin embargo, en el efluente los CF varían entre los 3 a 240 000 NMP/100 mL, con una media geométrica de  $3.67E+03$ , lo cual refleja que existe un problema en la desinfección. De manera similar, en la determinación de *E. coli* se encontraron valores entre 4 y  $1.10 \times 10^6$  y  $<3$  y  $1.10 \times 10^5$  NMP/100 mL para el influente (media geométrica:  $1.11E+04$ ) y efluente (media geométrica:  $1.11E+04$ ) respectivamente. Los valores de *E. coli* en el efluente confirman la existencia de problemas en el sistema de desinfección, lo cual reduce la eficiencia de la misma. Es necesario revisar

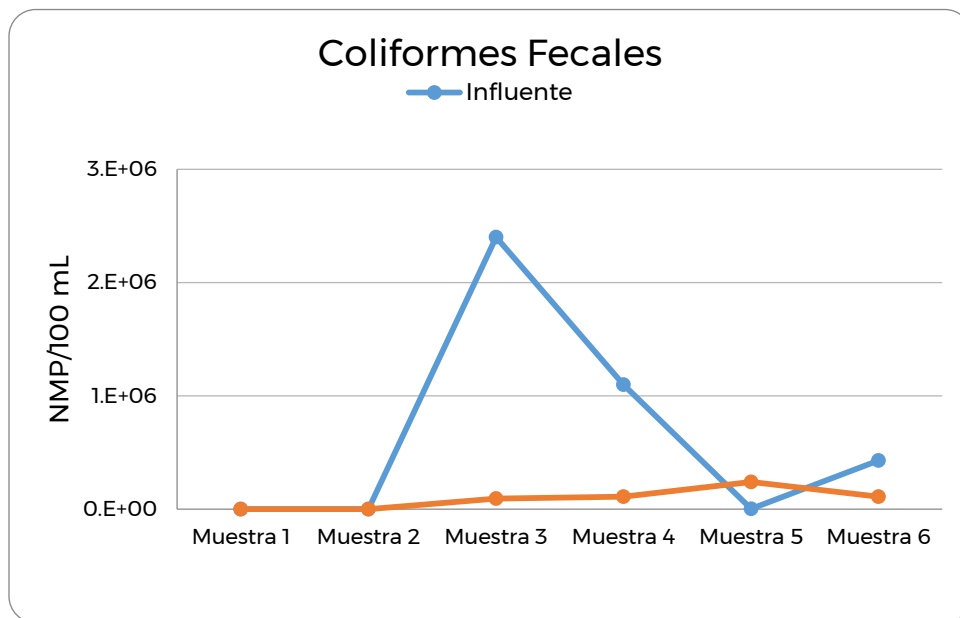
la dosificación del cloro y de los tiempos de retención en el canal de cloración.

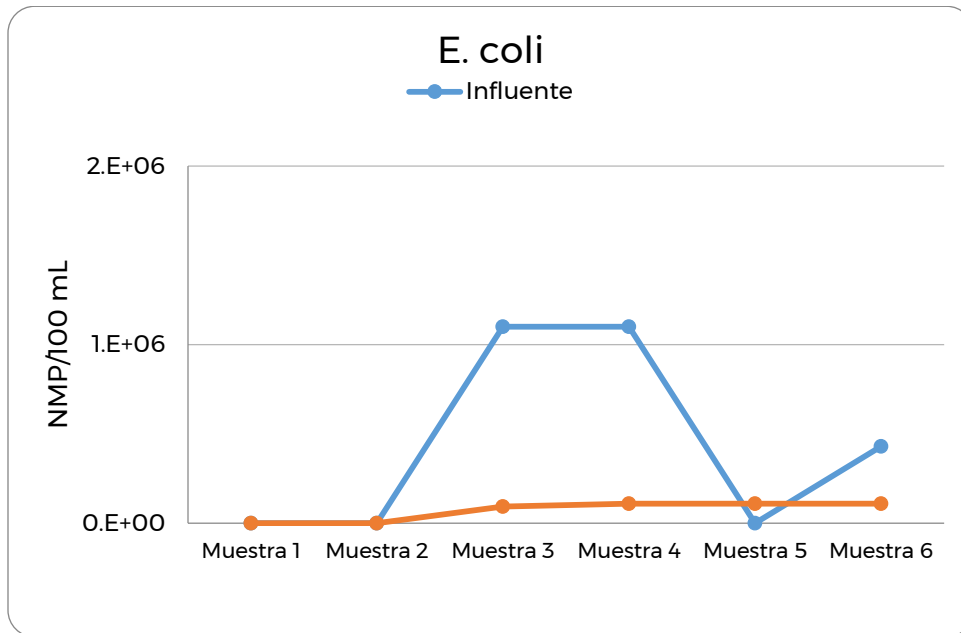
**Tabla 119. Contenido de coliforme fecales y E. coli.**

| <b>Influente</b>     |            | <b>Promedio</b> | <b>Valor mínimo</b> | <b>Valor máximo</b> |
|----------------------|------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| CF <sub>inf</sub>    | NMP/100 mL | 7.59E+03        | 4                   | 2.40E+06            |
| Ecoli <sub>inf</sub> | NMP/100 mL | 1.11E+04        | 11                  | 1.10E+06            |

| <b>Efluente</b>     |            | <b>Promedio</b> | <b>Valor mínimo</b> | <b>Valor máximo</b> |
|---------------------|------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| CF <sub>ef</sub>    | NMP/100 mL | 3.67E+03        | 3                   | 2.40E+05            |
| Ecoli <sub>ef</sub> | NMP/100 mL | 3.22E+03        | 3                   | 1.10E+05            |





**Figura 306. Tendencias para CF y E. coli**

En la Tabla 24 se muestran los valores de los resultados de laboratorio de la muestra compuesta para diferentes parámetros.

**Tabla 120. Resultados de laboratorio de muestra compuesta**

| Parámetro         | Unidades | Muestreo compuesto |          | CPD      | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>CR tipo A | NOM-001-SEMARNAT-2021          |                             |
|-------------------|----------|--------------------|----------|----------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
|                   |          |                    |          |          |                                    | Ríos, arroyos, canales, drenes | Infiltración y otros riegos |
|                   |          | Influente          | Efluente | PM       | PM                                 | PM                             |                             |
| pH                | UpH      | 7.3-7.5            | 7.5-7.6  | -        | 5-10                               | 6-9                            | 6-9                         |
| Temp.             | °C       | 19-25              | 17-23    | -        | NA                                 | 35                             | 35                          |
| G y A             | mg/L     | 17-50.9            | 13.1-183 | 10       | 15                                 | 15                             | 15                          |
| Material Flotante |          | Presencia          | Ausencia | Ausencia | Ausente                            | NA                             | NA                          |
| S. Sed.           | ml/L     | 0.9                | <0.10    | 1        | NA                                 | NA                             | NA                          |
| SST               | mg/L     | 82                 | 10       | 50       | NA                                 | 60                             | 100                         |
| DQO               | mg/L     | 356                | 153      | 100      | NA                                 | 150                            | 150                         |
| DBO               | mg/L     | 81                 | 26       | 50       | NA                                 | NA                             | NA                          |
| NT                | mg/L     | 35.8               | 33.6     | NA       | NA                                 | 25                             | NA                          |
| PT                | mg/L     | 4.77               | 4.16     | NA       | NA                                 | 15                             | NA                          |
| As                | mg/L     | 0.0338             | 0.0322   | 0.5      | 0.2                                | 0.2                            | 0.1                         |
| Cd                | mg/L     | <0.030             | <0.030   | 0.05     | 0.05                               | 0.2                            | 0.1                         |
| CN                | mg/L     |                    |          | NA       | 2.0                                | 1.0                            | 1                           |
| Cu                | mg/L     | <0.050             | <0.050   | NA       | 4.0                                | 4.0                            | 4                           |
| Cr                | mg/L     | <0.10              | <0.10    | NA       | 0.5                                | 1.0                            | 0.5                         |
| Hg                | mg/L     | <0.0005            | <0.0005  | NA       | 0.005                              | 0.01                           | 0.005                       |



| Parámetro     | Unidades   | Muestreo compuesto |            | CPD | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>CR tipo A | NOM-001-SEMARNAT-2021          |                             |
|---------------|--|--------------------|------------|-----|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
|               |  |                    |            |     |                                    | Ríos, arroyos, canales, drenes | Infiltración y otros riegos |
|               |  | Influente          | Efluente   | PM  | PM                                 | PM                             |                             |
| Ni            | mg/L   | <0.10              | <0.10      | 1.0 | 2                                  | 2.0                            | 2                           |
| Pb            | mg/L   | <0.10              | <0.10      | 1   | 5                                  | 0.2                            | 0.2                         |
| Zn            | mg/L   | 0.13               | <0.10      | NA  | 10                                 | 10.0                           | 10                          |
| CF            | NMP/100 ml   | 4-2.4E06           | 3-2.4E05   | NA  | 1,000                              | NA                             | N.A.                        |
| HH            | H/L  | Cero               | Cero       | NA  | 1-5                                | NA                             | 1                           |
| <i>E.coli</i> | NMP/100 ml   | 4-1.10E06          | <3-1.10E05 | NA  | NA                                 | 500                            | 250                         |
| Color         | (Coeficiente de absorción espectral máximo)<br>m <sup>-1</sup> | 3.2                | 4.7        | NA  | NA                                 | 7.0                            | 7.0                         |
| 436 nm        |  |                    |            |     |                                    |                                |                             |
| 525 nm        |  |                    |            |     |                                    |                                |                             |
| 620 nm        |  | 1.6                | 2.0        |     |                                    | 3.0                            | 3.0                         |

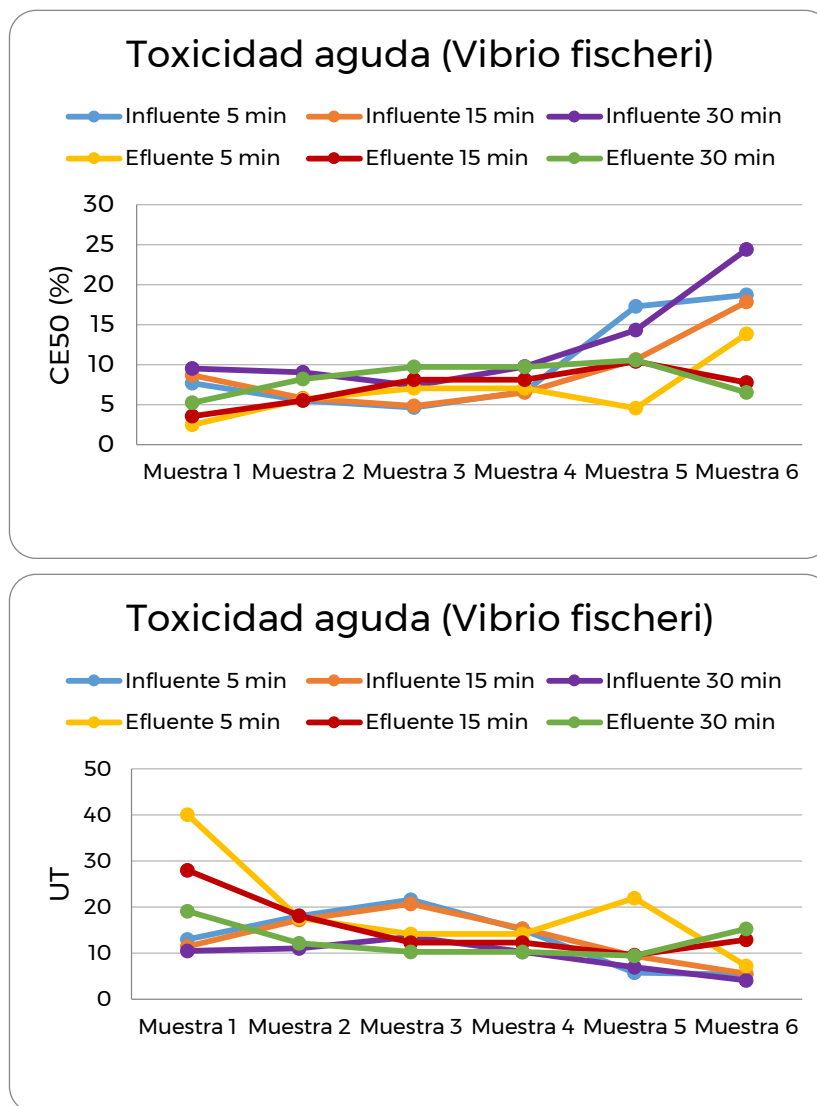
La concentración de materia orgánica, medida como  $DBO_5$  y DQO en el influente, fue de 81 y 356 mg/L, respectivamente, con una relación  $DBO/DQO = 0.227$ ;  $DQO/DBO = 4.4$ . A pesar de que el organismo operador señala que no hay descargas industriales en la red de alcantarillado, el valor de esta relación indica que el agua residual puede contener componentes tóxicos o difícilmente biodegradables.

Sin embargo, al analizar los valores históricos de 2020 para el influente, se obtiene una relación  $DBO/DQO$  promedio de 0.51, con un valor mínimo de 0.42 y un valor máximo de 0.69. La relación  $DQO/DBO$  promedio es de 1.99, con un valor de mínimo de 1.44 y un máximo de 2.36. En este contexto se puede considerar que el agua es biodegradable sin problemas. Es recomendable dar seguimiento a esta relación que puede haberse modificado con el tiempo.

En el efluente los valores fueron de 26 y 153 mg/L, respectivamente. Estos valores representan una remoción del 70% para la  $DBO_5$  y del 57% para DQO. Los valores de  $DBO_5$  y DQO en el efluente son similares a los valores promedio reportados por la PTAR durante los años 2018-2021.

En relación con la concentración de nitrógeno, se observa que la remoción en la planta fue del 6%, lo cual indica que el sistema lagunar existente no se encuentra diseñado para su remoción, además que el LMP señalado en la NOM-001-SEMARNAT-2021 para NT, en promedio mensual en descarga en canales, es de 25 mg/L y el valor en el efluente no cumpliría, además que la concentración de nitrógeno se encuentra dentro del rango máximo (25-45.9 mg/L) reportado en la PTAR durante los años 2020-2021, lo cual hace necesario realizar un ajuste en el proceso biológico de las lagunas para fomentar la nitrificación y desnitrificación. Ahora, si se considerará al cuerpo receptor "Suelo/infiltración y otros riegos" dado que la mayor parte del agua tratada es utilizada en riego agrícola (distrito de riego 052 Guadalupe Victoria - módulo 3 y poblado 20 de Noviembre), el efluente estaría en cumplimiento de todos los parámetros, con excepción de DQO, pero es muy cercano al límite permisible. Al ser una descarga al arroyo Acequia Grande, se deben cumplir con los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para cuerpo receptor tipo A, y la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ríos, arroyos, canales, drenes por lo que para cumplir con la normatividad se requiere el ajuste antes mencionado. La concentración de fósforo total fue de 4.16 mg/L en el efluente, lo que representa una remoción del 12.8%. La concentración de metales y cianuros, tanto en el influente como en el efluente, se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y de la NOM-001-SEMARNAT-2021.

De acuerdo con los análisis realizados se encontró que la toxicidad medida con *Vibrio Fischeri* en el influente se encuentra en un rango entre 5.337 a 21.602 UT en un lapso de 5 a 30 min (Figura 307), mientras que en el efluente se encuentra en un rango entre 7.221 a 40.016 UT, lo que sugiere que en lo que respecta a la toxicidad, ésta disminuye ligeramente por acción de la PTAR. Sin embargo, tanto el influente como el efluente son tóxicos. Cabe señalar que el efluente de la PTAR no cumple con lo establecido en la NOM-001-SEMANRNAT-2021, puesto que el LMP es de 2 a 15 min, y el promedio respectivo del efluente (a los 15 min) fue de 7.2 UT.



**Figura 307 Toxicidad de la muestra compuesta expresada en CE50 (%) y UT.**

En relación con los valores obtenidos de  $CE_{50}$  se puede observar que los valores de toxicidad son variables con respecto al tiempo, sin embargo, tanto en el influente como en el efluente la mayor toxicidad se da en los primeros 5 min de la prueba.

### **12.3.2 Resultados de muestreo simple**

En la Tabla 121 se presentan los resultados obtenidos de las muestras puntuales realizadas en los diferentes puntos de la PTAR. Los SST a la salida de los desarenadores oscilaron entre 62 a 88 mg/L, mientras que para la DBO y DQO a la salida de las diferentes lagunas varió de 50 a 67 mg/L y 177 a 269 mg/L.

Para el caso de la DBO y DQO, la concentración a la entrada de las lagunas fue de 81 y 356 mg/L, respectivamente, lo cual genera una relación  $DBO/DQO=0.227$ . Este valor indica que el agua residual puede contener componentes tóxicos o difícilmente biodegradables, a pesar de que, conforme a los comentarios del responsable de las descargas al sistema de alcantarillado de AMD, no hay descargas de origen industrial a la red.

Se determinó una disminución del 38% para la  $DBO_5$  en el tren A y del 28% para el tren B. En este último, no se observó mejoría de la calidad del efluente durante su paso por las lagunas 2 y 3, el agua sale de ambas lagunas con la misma calidad observada a la salida de la laguna 1. El tren A presenta una ligera mejor eficiencia, pero sigue siendo marginal.

Caso similar para la DQO, ya que se determinó una concentración de 356 mg/L a la entrada del tren de lagunas y se alcanzaron concentraciones en las últimas lagunas de 177 mg/L (A3y B3), esto es, una remoción del 50% de la DQO. En este contexto, la relación  $DBO/DQO$  del efluente tratado es de 0.28 y 0.32, cuando en realidad se esperaría que fuese inferior a la del influente.

Se puede inferir que existe una fracción de la materia orgánica que estaría disponible para los microorganismos de las lagunas a la entrada y la cual no se alcanza a metabolizar. Lo anterior pudiera estar relacionado con un TRH insuficiente o la presencia de compuestos tóxicos en el influente, como se observó en los estudios de toxicidad.

Cabe señalar que la carga orgánica no es elevada, ya que la DBO en el influente presenta valores inferiores al límite permisible de descarga de la NOM-001-SEMARNAT-1996.

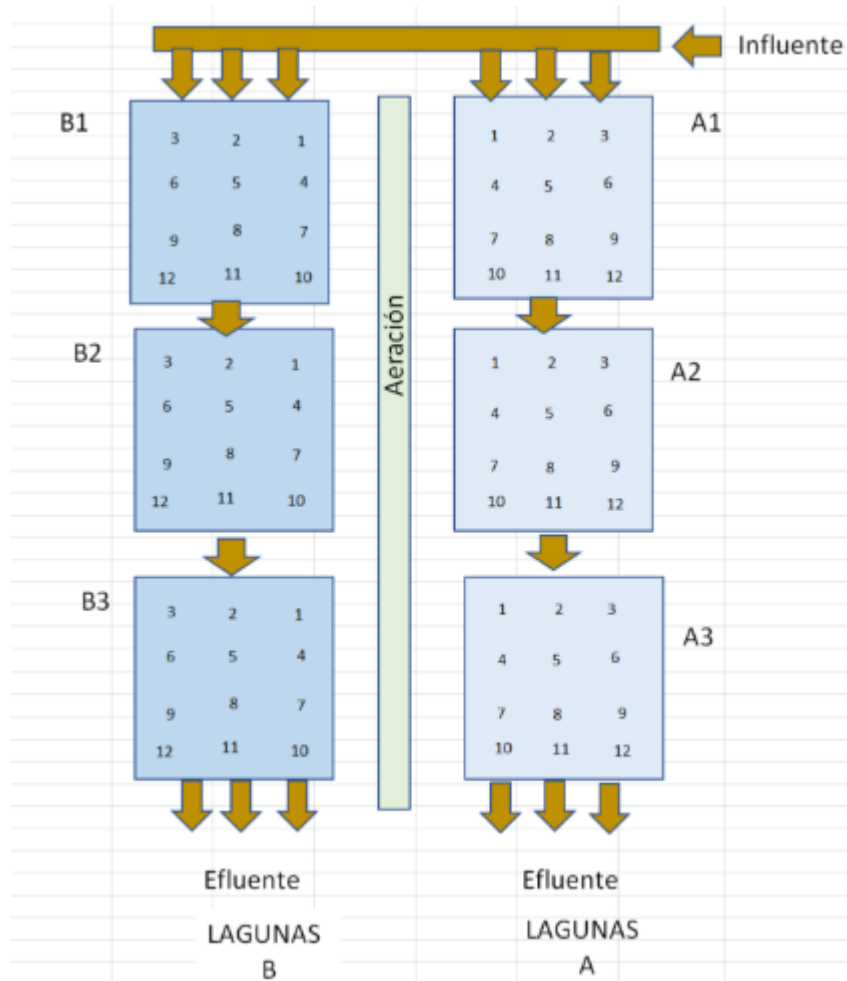
**Tabla 121 Resultados obtenidos de las muestras puntuales**

|                                    | <b>G y A</b><br><b>(mg/L)</b> | <b>SST</b><br><b>(mg/L)</b> | <b>DBO<sub>5</sub></b><br><b>(mg/L)</b> | <b>NT</b><br><b>(mg/L)</b> | <b>DQO</b><br><b>(mg/L)</b> | <b>DBO<sub>sol</sub></b><br><b>(mg/L)</b> | <b>DQO<sub>sol</sub></b><br><b>(mg/L)</b> | <b>Clorofila</b><br><b>(mg/m<sup>3</sup>)</b> |
|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|----------------------------|-----------------------------|---|---|---|
| Salida rejillas medianas           | -                             | 65                          | -                                       | -                          | -                           | -   | -   | -   |
| Salida desarenador 1               | -                             | 88                          | -                                       | -                          | -                           | -   | -   | -   |
| Salida desarenador 2               | -                             | 84                          | -                                       | -                          | -                           | -   | -   | -   |
| Salida desarenador 3               | -                             | 62                          | -                                       | -                          | -                           | -   | -   | -   |
| Salida desarenador 4               | -                             | 75.3                        | -                                       | -                          | -                           | -   | -   | -   |
| Entrada general a lagunas aireadas | 16.9                          | -                           | 81                                      | -                          | 356                         | 59  | 101                                       | -   |
| Salida laguna aireación A1         | -                             | -                           | 67                                      | -                          | 269                         | 27  | 99.6                                      | 5   |
| Salida laguna aireación A2         | -                             | -                           | 57                                      | -                          | 184                         | 20  | 84.3                                      | 4   |
| Salida laguna aireación A3         | -                             | -                           | 50                                      | -                          | 177                         | 27  | 69.6                                      | 7   |
| Salida laguna aireación B1         | -                             | -                           | 58                                      | -                          | 205                         | 28  | 87.1                                      | 12  |
| Salida laguna aireación B2         | -                             | -                           | 58                                      | -                          | 168                         | 32  | 88.3                                      | 6   |
| Salida laguna aireación B3         | -                             | -                           | 58                                      | -                          | 177                         | 25  | 81  | <1  |

|                          | <b>G y A</b><br><b>(mg/L)</b> | <b>SST</b><br><b>(mg/L)</b> | <b>DBO<sub>5</sub></b><br><b>(mg/L)</b> | <b>NT</b><br><b>(mg/L)</b> | <b>DQO</b><br><b>(mg/L)</b> | <b>DBO<sub>sol</sub></b><br><b>(mg/L)</b> | <b>DQO<sub>sol</sub></b><br><b>(mg/L)</b> | <b>Clorofila</b><br><b>(mg/m<sup>3</sup>)</b> |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|----------------------------|-----------------------------|---|---|---|
| Entrada a cloración      | 45.7                          | -                           | -                                       |                            | 154                         | 27  | 97.9                                      | 1   |
| Salida laguna regulación | -                             | -                           | 30                                      | -                          | 150                         | 24  | 69  | 209   |

### 12.3.3 Determinaciones de campo

Además de los análisis realizados por el laboratorio certificado, se realizaron determinaciones de pH, oxígeno disuelto (OD) y manto de lodos en las lagunas aireadas. Para las determinaciones anteriores se siguió un procedimiento para lo cual se seccionó en 12 puntos de muestreo cada laguna, de acuerdo con la Figura 308. El objetivo de la estrategia de medición fue contar con una muestra suficiente de datos para determinar con mayor precisión los valores promedios de pH, OD y lodos en cada laguna.



**Figura 308 Puntos de determinación de pH, OD y manto de lodos dentro de cada laguna**

Los resultados de los parámetros de pH y oxígeno disuelto tomados en campo para las lagunas de los trenes A y B se muestran de la Tabla 122 a la Tabla 127.

Con relación al OD, se tomaron las lecturas a tres diferentes profundidades:

- superficial (OD1)
- 1 m (OD2) y
- 4.5 m (OD3).

Se puede observar que se alcanzaron concentraciones de OD superiores conforme aumentaba la profundidad, debido esto al sistema de aireación

utilizado en las lagunas. Por ejemplo, las lagunas del tren A presentaron valores promedios de 0.19, 0.15 y 0.17 mg OD/L a 4.5 m de profundidad para las lagunas A1, A2 Y A3, respectivamente. Mientras que el OD superficial promedio fue de 0.15, 0.11 y 0.12 mg/L para las mismas lagunas. Esta misma tendencia se observa para el tren de lagunas B, con excepción de la laguna B1 donde el OD promedio en la superficie fue de 0.24 mg/L siendo superior al OD determinado en las profundidades de 1m y 4.5 m.

En general, las concentraciones de OD en las lagunas son inferiores a 0.2 mg/L, lo cual puede ocasionar la tendencia a tener condiciones anaerobias que se reflejan en la percepción de malos olores, además que la falta de OD puede estar relacionada con la baja eficiencia de remoción de materia orgánica.

Las continuas fallas en los difusores (desprendimiento de los paneles de la línea de conducción flotante) pueden ocasionar a mediano plazo una deficiencia de OD. El personal de la PTAR comentó que está actualmente trabajando en reforzar los paneles para alcanzar una mayor ventana de tiempo sin que se presenten fallos ni fugas.

El pH estuvo oscilando entre 6.9 a 7.5, mientras que la temperatura varió entre los 21 a 24 °C, en ambos casos los valores son adecuado para la actividad biológica en las lagunas.

En relación con las mediciones del manto de lodos al fondo de las lagunas, el Jefe de Planta comentó que se realizó un desazolve de las lagunas recientemente (agosto 2020 a maro 2021), por lo cual los valores del tirante de agua fueron cercanos a el valor de la profundidad nominal de 4.5 m. Por ejemplo, para las lagunas del tren B, el tirante de agua fue de 3.69, 3.80 y 4.51 m para las lagunas B1, B2 y B3, respectivamente.

Los resultados sugieren también que las lagunas A1 y B1 son las que padecerán un mayor azolve con el tiempo, ya que sus valores de tirante de agua fueron los menores. Lo anterior concuerda con que las lagunas A1 y B1 son las primeras del tren de lagunas y reciben los sólidos suspendidos que se no se hayan retenido en el pretratamiento. Además, los operadores mencionaron dificultades para realizar la extracción de azolves en las cabeceras de estas lagunas.

### **Tabla 122. Laguna A1**



| Punto | hora  | OD1<br>mg/L | T1<br>°C | OD2<br>mg/L | T2<br>°C | OD3<br>mg/L | T3<br>°C | pH   | H:<br>Lodo<br>m | tirante<br>agua<br>m | prof<br>tot<br>m |
|-------|-------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|------|-----------------|----------------------|------------------|
| 1     | 12:41 | 0.30        | 23.2     | 0.13        | 22.1     | 0.19        | 22.5     | 7.2  | 0.29            | 3.83                 | 4.12             |
| 2     | 12:34 | 0.14        | 22.6     | 0.16        | 22.2     | 0.21        | 22.0     | 7.23 | 0.30            | 3.70                 | 4.00             |
| 3     | 12:22 | 0.14        | 22.1     | 0.18        | 22.2     | 0.20        | 22.2     | 7.19 | 0.31            | 3.80                 | 4.11             |
| 4     | 11:52 | 0.15        | 22.2     | 0.18        | 22.1     | 0.20        | 21.8     | 7.17 | 0.40            | 3.68                 | 4.08             |
| 5     | 11:58 | 0.13        | 22.2     | 0.15        | 22.0     | 0.16        | 21.6     | 1.13 | 0.48            | 3.60                 | 4.08             |
| 6     | 12:06 | 0.12        | 22.5     | 0.14        | 22.4     | 0.17        | 22.3     | 7.17 | 0.22            | 4.00                 | 4.22             |
| 7     | 11:17 | 0.13        | 22.2     | 0.17        | 22.1     | 0.19        | 22.0     | 7.17 | 0.23            | 3.77                 | 4.00             |
| 8     | 11:27 | 0.11        | 22.3     | 0.15        | 22.1     | 0.22        | 21.8     | 7.18 | 0.39            | 3.76                 | 4.15             |
| 9     | 11:33 | 0.12        | 22.3     | 0.15        | 22.2     | 0.19        | 22.1     | 7.16 | 0.37            | 4.00                 | 4.37             |
| 10    | 10:41 | 0.16        | 22.3     | 0.19        | 22.4     | 0.21        | 22.2     | 7.18 | 0.58            | 3.22                 | 3.80             |
| 11    | 10:50 | 0.14        | 22.3     | 0.17        | 22.2     | 0.20        | 22.0     | 6.95 | 0.10            | 3.70                 | 3.80             |
| 12    | 10:58 | 0.13        | 22.3     | 0.15        | 22.3     | 0.19        | 22.0     | 7.16 | 0.10            | 3.70                 | 3.80             |

**Tabla 123. Laguna A2**

| Punto | hora  | OD1<br>mg/L | T1<br>°C | OD2<br>mg/L | T2<br>°C | OD3<br>mg/L | T3<br>°C | pH  | H:<br>Lodo<br>m | tirante<br>agua<br>m |
|-------|-------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-----|-----------------|----------------------|
| 1     | 10:00 | 0.17        | 20.7     | 0.15        | 20.8     | 0.19        | 21.5     | 7.2 | 0.4             | 4.1                  |
| 2     | 10:05 | 0.13        | 21.1     | 0.14        | 20.8     | 0.17        | 20.6     | 7.2 | 0.32            | 4.18                 |
| 3     | 10:15 | 0.08        | 20.8     | 0.1         | 20.9     | 0.12        | 20.6     | 7.2 | 0.57            | 3.93                 |
| 4     | 10:22 | 0.12        | 20.1     | 0.12        | 20.8     | 0.13        | 20.8     | 7.2 | 0.13            | 4.37                 |
| 5     | 10:39 | 0.12        | 20.5     | 0.13        | 20.8     | 0.16        | 20.7     | 7.2 | 0.07            | 4.43                 |
| 6     | 10:45 | 0.11        | 20.7     | 0.12        | 20.8     | 0.15        | 20.6     | 7.2 | 0.23            | 4.27                 |
| 7     | 11:13 | 0.10        | 21.2     | 0.11        | 20.8     | 0.12        | 20.6     | 7.2 | 0.33            | 4.17                 |
| 8     | 11:05 | 0.12        | 21.1     | 0.13        | 20.8     | 0.18        | 20.7     | 7.2 | 0               | 4.5                  |
| 9     | 10:59 | 0.11        | 21       | 0.15        | 20.8     | 0.18        | 20.5     | 7.2 | 0.61            | 3.89                 |
| 10    | 11:22 | 0.10        | 21.4     | 0.12        | 21.0     | 0.14        | 21.7     | 7.2 | 0.53            | 3.97                 |
| 11    | 11:27 | 0.10        | 21.6     | 0.12        | 20.9     | 0.16        | 21.0     | 7.2 | 0.61            | 3.89                 |

| Punto | hora  | OD1<br>mg/L | T1<br>°C | OD2<br>mg/L | T2<br>°C | OD3<br>mg/L | T3<br>°C | pH  | H:<br>Lodo<br>m | tirante<br>agua<br>m |
|-------|-------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-----|-----------------|----------------------|
| 12    | 11:32 | 0.10        | 21.6     | 0.12        | 20.9     | 0.14        | 21.0     | 7.2 | 0.58            | 3.92                 |

**Tabla 124. Laguna A3**

| Punto | hora | OD1<br>mg/L | T1<br>°C | OD2<br>mg/L | T2<br>°C | OD3<br>mg/L | T3<br>°C | pH   | H:<br>Lodo<br>m | tirante<br>agua<br>m |
|-------|------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|------|-----------------|----------------------|
| 1     | 9:35 | 0.11        | 19.1     | 0.14        | 19.1     | 0.19        | 19.1     | 7.51 | 0.10            | 5.00                 |
| 2     | 9:30 | 0.12        | 18.9     | 0.15        | 19.0     | 0.17        | 19.4     | 7.32 | 0.10            | 5.00                 |
| 3     | 9:25 | 0.12        | 19.5     | 0.13        | 19.4     | 0.15        | 19.5     | 7.25 | 0.15            | 5.00                 |
| 4     | 9:15 | 0.16        | 19.1     | 0.17        | 19.1     | 0.21        | 19.1     | 7.5  | 0.00            | 5.00                 |
| 5     | 9:10 | 0.13        | 19.1     | 0.14        | 19.1     | 0.17        | 19.1     | 7.3  | 0.20            | 5.00                 |
| 6     | 9:00 | 0.12        | 19.2     | 0.14        | 19.2     | 0.17        | 19.2     | 7.3  | 0.20            | 5.00                 |
| 7     | 8:50 | 0.10        | 19.7     | 0.12        | 19.7     | 0.16        | 19.7     | 7.29 | 0.15            | 5.00                 |
| 8     | 8:41 | 0.10        | 20.0     | 0.12        | 20.0     | 0.16        | 20       | 7.29 | 0.05            | 5.00                 |
| 9     | 8:30 | 0.11        | 20.3     | 0.12        | 20.3     | 0.15        | 20.3     | 7.32 | 0.20            | 5.00                 |
| 10    | 8:23 | 0.13        | 20.2     | 0.14        | 20.1     | 0.18        | 20.2     | 7.24 | 0.20            | 5.00                 |
| 11    | 8:15 | 0.11        | 20.6     | 0.13        | 20.5     | 0.16        | 20.6     | 7.21 | 0.20            | 4.90                 |
| 12    | 8:05 | 0.11        | 19.9     | 0.12        | 19.6     | 0.14        | 14.9     | 7.26 | 0.20            | 5.00                 |

**Tabla 125. Laguna B1**

| Punto | hora  | OD1<br>mg/L | T1<br>°C | OD2<br>mg/L | T2<br>°C | OD3<br>mg/L | T3<br>°C | pH   | H:<br>Lodo<br>m | tirante<br>agua<br>m |
|-------|-------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|------|-----------------|----------------------|
| 1     | 13:10 | 0.08        | 23.5     | 0.09        | 23.5     | 0.13        | 22.6     | 7.01 | 0.92            | 3.68                 |
| 2     | 13:00 | 1.04        | 23.8     | 0.14        | 23.5     | 0.17        | 21.9     | 7.10 | ND              | N.M.                 |
| 3     | 12:45 | 0.12        | 23.3     | 0.14        | 23.4     | 0.18        | 24.5     | 6.92 | 0.66            | 3.84                 |
| 4     | 12:30 | 0.11        | 23.5     | 0.12        | 23.2     | 0.15        | 22.6     | 7.05 | 0.62            | 3.88                 |
| 5     | 12:21 | 0.13        | 23.4     | 0.13        | 22.9     | 0.19        | 22.5     | 7.00 | 0.48            | 4.02                 |

| <b>Punto</b> | <b>hora</b> | <b>OD1<br/>mg/L</b> | <b>T1<br/>°C</b> | <b>OD2<br/>mg/L</b> | <b>T2<br/>°C</b> | <b>OD3<br/>mg/L</b> | <b>T3<br/>°C</b> | <b>pH</b> | <b>H:<br/>Lodo<br/>m</b> | <b>tirante<br/>agua<br/>m</b> |
|--------------|-------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|-----------|--------------------------|-------------------------------|
| 6            | 12:13       | 0.13                | 23.6             | 0.14                | 23.5             | 0.18                | 24.8             | 6.98      | 0.72                     | 3.78                          |
| 7            | 11:50       | 0.13                | 22.9             | 0.15                | 22.4             | 0.18                | 21.7             | 7.05      | 1.02                     | 3.48                          |
| 8            | 11:39       | 0.13                | 23.0             | 0.14                | 22.5             | 0.17                | 21.9             | 7.03      | 0.9                      | 3.6                           |
| 9            | 11:30       | 0.33                | 23.5             | 0.14                | 22.8             | 0.18                | 24.2             | 6.96      | 0.95                     | 3.55                          |
| 10           | 11:15       | 0.22                | 23.0             | 0.17                | 21.9             | 0.17                | 21.9             | 7.05      | 1.03                     | 3.47                          |
| 11           | 10:50       | 0.15                | 23.0             | 0.12                | 22.3             | 0.16                | 22.3             | 7.05      | 0.86                     | 3.64                          |
| 12           | 10:30       | 0.26                | 23.6             | 0.18                | 22.4             | 0.2                 | 22.3             | 7.03      | 0.88                     | 3.62                          |

**Tabla 126. Laguna B2**

| Punto | hora  | OD1<br>mg/L | T1<br>°C | OD2<br>mg/L | T2<br>°C | OD3<br>mg/L | T3<br>°C | pH   | H:<br>Lodo<br>m | tirante<br>agua<br>m |
|-------|-------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|------|-----------------|----------------------|
| 1     | 17:00 | 0.11        | 22.2     | 0.11        | 22.3     | 0.15        | 22.1     | 7.06 | 1.74            | 2.76                 |
| 2     | 16:45 | 0.11        | 22.2     | 0.12        | 21.9     | 0.16        | 21.9     | 6.98 | 1.06            | 3.44                 |
| 3     | 16:20 | 0.11        | 22.1     | 0.11        | 22.4     | 0.17        | 23.8     | 6.94 | 0.65            | 3.85                 |
| 4     | 16:00 | 0.09        | 22.0     | 0.11        | 22.1     | 0.15        | 21.9     | 7.07 | 0.61            | 3.89                 |
| 5     | 1:50  | 0.09        | 21.9     | 0.10        | 21.9     | 0.16        | 21.8     | 7.10 | 0.00            | 4.50                 |
| 6     | 14:40 | 0.12        | 22.0     | 0.13        | 22.1     | 0.18        | 23.2     | 7.03 | 0.13            | 4.37                 |
| 7     | 14:30 | 0.10        | 22.2     | 0.12        | 22.2     | 0.14        | 21.9     | 7.08 | 0.50            | 4.00                 |
| 8     | 15:10 | 0.10        | 22.3     | 0.11        | 22.1     | 0.14        | 21.7     | 7.08 | 0.65            | 3.85                 |
| 9     | 15:20 | 0.13        | 22.7     | 0.17        | 22.4     | 0.19        | 23.2     | 7.03 | 0.36            | 4.14                 |
| 10    | 15:30 | 0.14        | 22.4     | 0.12        | 22.2     | 0.19        | 22.5     | 7.04 | 1.30            | 3.20                 |
| 11    | 15:35 | 0.11        | 22.4     | 0.08        | 22.3     | 0.09        | 22.1     | 7.05 | 0.80            | 3.70                 |
| 12    | 15:40 | 0.10        | 22.2     | 0.09        | 22.1     | 0.07        | 22.2     | 7.08 | 0.60            | 3.90                 |

**Tabla 127 Laguna B3**

| Punto | hora  | OD1<br>mg/L | T1<br>°C | OD2<br>mg/L | T2<br>°C | OD3<br>mg/L | T3<br>°C | pH   | H:<br>Lodo<br>m | tirante<br>agua<br>m |
|-------|-------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|------|-----------------|----------------------|
| 1     | 12:25 | 0.10        | 21.6     | 0.12        | 20.9     | 0.16        | 20.4     | 7.14 | 0.68            | 4.32                 |
| 2     | 12:18 | 0.11        | 20.9     | 0.12        | 20.9     | 0.16        | 21       | 7.15 | 0.33            | 4.67                 |
| 3     | 12:08 | 0.12        | 20.8     | 0.14        | 20.8     | 0.17        | 21       | 7.08 | 0.45            | 4.55                 |
| 4     | 13:03 | 0.12        | 21.2     | 0.14        | 21.0     | 0.19        | 21.2     | 7.08 | 0.52            | 4.48                 |
| 5     | 12:50 | 0.10        | 21.2     | 0.12        | 20.8     | 0.15        | 20.6     | 7.11 | 0.47            | 4.53                 |
| 6     | 12:45 | 0.13        | 21.4     | 0.16        | 21.0     | 0.2         | 21.3     | 7.11 | 0.50            | 4.50                 |
| 7     | 13:26 | 0.12        | 21.8     | 0.14        | 21.5     | 0.16        | 23.3     | 7.05 | 0.55            | 4.45                 |
| 8     | 13:30 | 0.12        | 21.6     | 0.13        | 21.0     | 0.15        | 21.1     | 7.11 | 0.34            | 4.66                 |
| 9     | 13:36 | 0.10        | 21.4     | 0.11        | 20.8     | 0.15        | 20.8     | 7.11 | 0.40            | 4.60                 |
| 10    | 14:06 | 0.10        | 21.8     | 0.12        | 20.9     | 0.15        | 20.8     | 7.16 | 0.47            | 4.53                 |

| Punto | hora  | OD1<br>mg/L | T1<br>°C | OD2<br>mg/L | T2<br>°C | OD3<br>mg/L | T3<br>°C | pH   | H:<br>Lodo<br>m | tirante<br>agua<br>m |
|-------|-------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|------|-----------------|----------------------|
| 11    | 14:00 | 0.11        | 21.5     | 0.12        | 21.1     | 0.15        | 21.8     | 7.12 | 0.61            | 4.39                 |
| 12    | 13:48 | 0.12        | 21.4     | 0.16        | 21.1     | 0.2         | 21.2     | 7.08 | 0.61            | 4.39                 |

Si se considera que la concentración mínima de oxígeno disuelto para mantener una estabilización en las lagunas aireadas es de 2 mg/L (MAPAS, CONAGUA, Libro 27), la baja concentración de OD en los estratos cuantificados muestran concentraciones que no alcanzan los 0.25 mg/L, lo cual puede ser una limitante para la correcta oxidación de la DBO.

#### 12.3.4 Influencia industrial

De acuerdo con la información proporcionada por el personal de Aguas del Municipio de Durango (AMD), la PTAR "Oriente" trata solo aguas residuales municipales. De acuerdo con el encargado de descargas, Lic. Alberto Rocha, quien maneja el padrón de comercios e industrias establecidas en el municipio Durango que descargan agua residual a la PTAR, no se tiene en el padrón general un registro de industrias que realicen descargas que requieran tratamiento especial o bien que llegue agua por pipas a la planta. En el padrón se destacan comercios, prestadores de servicios en general y maquiladoras cuya agua residual proviene de sanitarios y cocinas principalmente. Por lo anterior se concluye que, de acuerdo con la información recabada, el influente de la PTAR Durango Oriente tiene origen municipal.



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



## **13 DIAGNÓSTICO DE PERSONAL**

### **13.1 Recursos Humanos**

A continuación, se presenta el resultado del análisis del personal que labora en la PTAR Oriente. Esta información corresponde a la obtenida a través del FORMATO 03. RECURSOS HUMANOS que se encuentra en el

## Anexo B.

La plantilla de la PTAR está conformada por 17 personas;

- 2 administrativas
- 12 operadores
- 2 mantenimiento
- 1 laboratorio

De éstas, 17 (70%) tienen una antigüedad mayor a seis años. Los 30% restantes se encuentran entre un rango de seis o menos años. Lo que demuestra que desde que entró en operación la PTAR, se ha tenido continuidad en la plantilla, proporcionando una buena estabilidad en operación y mantenimiento de la PTAR.

En resumen, se puede establecer que el personal que cuenta con estudios universitarios, son cinco, le sigue con secundaria (7), uno con preparatoria y dos con preparatoria trunca, y dos técnicos profesionales, lo que quiere decir que se cuenta con la experiencia para poder trabajar en una planta de tratamiento de aguas residuales.

### 13.2 Evaluación de conocimientos

Este apartado es resultado de la aplicación del Formato 04. Evaluación de conocimientos, de lo cual se observó lo siguiente:

- El jefe de la planta de tratamiento; debido a los años de experiencia presenta muy buenos conocimientos técnicos y conoce muy bien la PTAR.
- Responsable de laboratorio; presenta buenas bases en conocimientos básicos y generales.
- Operadores de la PTAR; tienen conocimientos muy básicos sobre el tratamiento de aguas residuales.

### **13.3 Capacitación**

#### **13.3.1 Cursos de capacitación recibidos**

A continuación, se citan los cursos que ha recibido el personal en los últimos tres años:

- Primeros auxilios
- Combate de incendios
- Fugas de gas cloro
- Uso y manejo de equipo para fugas de gas cloro
- Plantas de tratamiento
- Planta de tratamiento de lodos activados
- Aplicación de las normas vigentes en tratamiento de aguas
- Uso de equipo de rescate autónomo

#### **13.3.2 Temas de capacitación solicitados**

De acuerdo con la información recolectada, el personal de la PTAR mencionó algunos cursos de capacitación de su interés, los cuales se desglosan a continuación:

Electromecánica

- Hidráulica
- Procesos químicos y bioquímicos
- Plantas de tratamiento de lagunas aireadas
- Mantenimiento y operación de plantas de emergencia
- Mantenimiento y operación de sistemas de cloración
- Evacuación
- Tratamiento de aguas residuales
- Rescate acuático
- Lodos activados

En resumen, es necesario implementar un programa de capacitación continua a todo el personal que labora en la PTAR.



### 13.3.3 Material didáctico entregado

Para solventar un poco la problemática sobre material para la capacitación continua, se entregó el siguiente material didáctico en la PTAR

- j) Manuales: El contenido de cada uno de ellos se encuentra en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1m9GYeDsYFscSYAuUpRM5BV8VBsYqT-o8?usp=sharing>
- k) Infografías
- l) Manual de ejercicios prácticos

Los Manuales constan de 6 tomos cuyas temáticas son las siguientes (Figura 257).

- s) Indicadores sensoriales
- t) Indicadores analíticos
- u) Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
- v) Calidad del agua
- w) Control del proceso
- x) Seguridad e higiene





**Figura 309. Portada de los manuales.**

Se elaboraron 15 infografías con la información de los manuales, las cuales se mencionan a continuación (Figura 258):

- tt) Arranque de una PTAR de lodos activados
- uu) Higiene y seguridad
- wv) Indicadores analíticos A
- ww) Indicadores analíticos B
- xx) Indicadores sensoriales A
- yy) Indicadores sensoriales B
- zz) Índice volumétrico de lodos
- aaa) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-001-SEMARNAT-1996
- bbb) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-002-SEMARNAT-1996
- ccc) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-003-SEMARNAT-1997
- ddd) Parámetros de calidad del agua
- eee) Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados
- fff) Problemas frecuentes en un sistema de lodos activados
- ggg) Relación alimento/microorganismos
- hhh) Sistema mecanizado de tratamiento de aguas residuales

# ARRANQUE DE UNA PTAR DE LODOS ACTIVADOS

**Revisión del equipo electromecánico**

Realizar un listado de todos los equipos electromecánicos por unidad de proceso. Realizar una prueba de arranque y paro, verificando el giro de motores y si es posible amparar, esto con la finalidad de que no este obstruido o pegado el motor.

**Revisión hidráulica de los tanques**

Realizar el llenado de las unidades para verificar que no existan fugas o grietas en las paredes.

- El agua será transferida de tanque en tanque.
- Para realizar esta actividad es necesario contar con planos de cada una de las unidades de proceso, para señalar o marcar y describir en estos las fallas que se consideren pertinentes.

**No arrancar si faltan equipos y detalles de construcción**

El arranque de un proceso de lodos activados, se lleva tiempo y deben tenerse ciertos cuidados para lograr su estabilización, así como un buen funcionamiento del proceso. Se recomienda realizarlo en **verano**.

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lodos activados se puede realizar bajo **dos escenarios, con y sin inoculo**, siendo considerado este ultimo como una situación difícil.

**ARRANQUE SIN INOCULO**

**DÍAS**

- Introducir agua residual al reactor biológico hasta un cuarto de su capacidad y arrancar la unidad de aeración. Al no existir microorganismos en el sistema, se generará una gran cantidad de espuma.
- Llenar reactor biológico a un 50% y continuar con la aeración.
- Llenar reactor biológico a un 75% y continuar con la aeración.
- Llenar reactor biológico a un 100% y continuar con la aeración.
- Iniciar con un flujo continuo de agua residual a 25% del flujo de diseño. Iniciar operación en el sedimentador secundario con recirculación al 100%. Analizar SSTLM y SVLM para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras del agua residual cruda y tratada para determinar DBO o DQO y SST, para establecer la eficiencia del proceso.
- Aumentar el flujo de agua residual al 50%.
- Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- Aumentar el flujo de agua residual al 70%.
- Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- Aumentar el flujo de agua residual al 100%.
- Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**ARRANQUE CON INOCULO**

**Calculo de requerimiento de inoculo**

**Datos:**  
El reactor biológico tendrá 5 000 mg/L (15 kg/m<sup>3</sup> de SSTLM) y un volumen de 4 354 m<sup>3</sup>. El inoculo proviene de la recirculación, con una concentración de 8 160 mg/L (8.16 kg/m<sup>3</sup>).

**Cálculos:**  
Masa requerida = 35 kg/m<sup>3</sup> × 4 354 m<sup>3</sup> = 15 239 kg  
Mueven requeridos = 15 239 kg / 8.16 kg/m<sup>3</sup> = 1 738 m<sup>3</sup>  
Se inocula con el 50% = 719 m<sup>3</sup>. En la práctica como máximo se recomienda no menos del 5%.

**Días**

- Llenar el reactor biológico con agua residual, al mismo tiempo agregar el inoculo, y arrancar la unidad de aeración. Iniciar con un flujo de agua residual del 20%.
- La recirculación en el sedimentador secundario debe ser del 100%. Monitorear la formación de la espuma y el contenido de sólidos. Analizar SSTLM y SVLM para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras del agua residual cruda y tratada para determinar DBO o DQO y SST, y establecer la eficiencia del proceso.
- Aumentar el flujo al 50%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- Aumentar el flujo al 100%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**Es difícil determinar cuándo termina el arranque y cuándo inicia la operación normal.**

- Concentraciones de los parámetros de calidad del agua del efluente.
- Distintos volúmenes muy cercanos a los de diseño.

MEDIO AMBIENTE | IMTA

# HIGIENE Y SEGURIDAD

La higiene y seguridad deben iniciar por uno mismo y mantenerse para prevenir enfermedades y accidentes en el lugar de trabajo.

**Comité de higiene y seguridad**

Las actividades del comité son:

- Realizar inspecciones
- Desarrollar el manual de higiene y seguridad
- Proporcionar y sugerir capacitación
- Conducir investigaciones de accidentes y lesiones

La capacitación es importante y sirve de medida preventiva contra accidentes e enfermedades.

**Programas**

Los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento:

- Políticas por escrito de higiene y seguridad
- Comités de higiene y seguridad
- Capacitación en higiene y seguridad

**Medidas de higiene**

- Hepatitis A
- Hepatitis B
- Influenza
- Sarampión
- Papera
- Neumonía
- Tuberculosis
- Difteria

Norma Oficial Mexicana NOM-07-STPS-2009  
Equipo de protección personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

**Objetivo:** Establecer los requisitos para la selección, uso y manejo de equipos de protección personal para proteger a los trabajadores de los agentes del medio ambiente de trabajo que pueden dañar su salud.

**Responsores:** a) los trabajadores cuando se presente personal que cuenta con las siguientes condiciones:  
- Que presente el expediente del trabajador con los agentes de riesgo.  
- Que esté acorde a los requerimientos mínimos de los trabajadores.

Que concuerde con las inspecciones, las recomendaciones de procedimientos del equipo de trabajo en caso de riesgo (infección, lesiones, intoxicación, quemaduras, seguridad y protección PPE).

| Cabeza               | Cuerpo               | Ojos y cara           | Oídos               | Manos   | Respiración                     | Tronco | Extremidades inferiores |
|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---|---------------------------------|--------|-------------------------|
| Casco contra impacto | Camisa contra resaca | Antifaz de protección | Tapones auriculares | Lavarse las manos con jabón, preferentemente con agua caliente, antes de comer o fumar y después de terminar los trabajos | Respirador contra gases tóxicos | Tronco | Extremidades inferiores |
|                      |                      |                       |                     |   |                                 | Overol | Extremidades inferiores |

MEDIO AMBIENTE | IMTA

## INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para: Monitorar el funcionamiento de la PTAR Conocer la eficiencia del proceso Resolver problemas operacionales

### DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (degradar) la materia orgánica.

Es la materia orgánica biodegradable (alimento) que entra y sale de la PTAR.

Demoras de DBO >90% indican que la PTAR opera bien.

Demoras de DBO <80% denotan problemas en la PTAR.

Debe existir un balance entre la cantidad de alimento que entra y los microorganismos presentes en el reactor biológico.

### FLUJO DE AGUA

El operador tiene el control de la cantidad de agua que ingresa a la PTAR.

Se emplea para el control del proceso para calcular el organo-orgánico, AM, TMO, TDR, y el agua de recirculación y agua de lodos y deshidratación de productos químicos.

Contar con un "ray pasador" para cualquier máquina al día de diseño.

Se debe contar con un equipo medidor de gases continuo.

### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que se requieren para oxidar la materia orgánica residual que entra y sale de la PTAR.

La reacción (CDO) se conoce monitoreando los dos parámetros durante un largo periodo de tiempo para establecer su tendencia o comportamiento.

Con esta relación, y al ser conocido la DBO se calcula la DBO, y la DBO se calcula a partir de la DQO.

La DQO indica la carga orgánica industrial poco biodegradable.

Tratamiento físico-químico.

DQO < CDO indica descarga urbana biodegradable.

Tratamiento biológico.

### GRASAS Y ACEITES

En suaves los microorganismos, interfiere con la transferencia de materia orgánica soluble a través de su pared celular, por lo cual muestran por falta de alimento.

CYA entre 100 y 500 mg/L, arrojan a los lodos a la superficie del sedimentador secundario.

CYA > 100 mg/L, se presenta aglomeración de lodos en el reactor biológico, lo que ocasiona pérdidas de SSV y una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica.

### TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO

Tiempo que permanece cierta cantidad de agua en un tanque.

En el tiempo de retención los microorganismos necesitan tiempo de retención para alimentar y generar la materia orgánica soluble.

### NUTRIENTES

Los microorganismos requieren específicamente NITRÓGENO y FOSFÓFORO para su desarrollo.

En las aguas residuales urbanas existen en cantidad suficiente para los microorganismos.

En influencias industriales, en algunos casos, se requiere su adición para su tratamiento por medios biológicos.

| Unidad                  | Mayor  | Menor   |
|-------------------------|--|---|
| Reactor biológico       | Deposición anódica. Genera problemas de sedimentación. | Bajas eficiencias de Tratamiento de DBO                               |
| Sedimentador secundario | Desinterferencia. Anverso SST en el effluente          | El lodo no es el tiempo de sedimentación. Anverso SST en el effluente |

## INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para: Monitorar el funcionamiento de la PTAR Conocer la eficiencia del proceso Resolver problemas operacionales

### TEMPERATURA

Rango óptimo para la actividad bacteriana aerobia: 20 - 35°C

| Actividad de microorganismos | Alta      | Baja        |
|------------------------------|-----------|-------------|
| Refrigeración                | Rápida    | Lenta       |
| Tiempo necesario al reactor  | Disminuir | Incrementar |

El aire de un soplador puede incrementar la temperatura del agua hasta en 2°C. Debido a que puedes salir alrededor de los 100°C.

### OXÍGENO DISUELTUO (OD)

De 1 a 2 mg/L OD residual satisfacen el ingreso de una carga orgánica alta

- La falta de un OD residual, inhibirá la actividad microbiana y disminuirá la remoción de materia orgánica.
- Un OD residual mayor a 5 mg/L, indica excesivamente la presencia de materia orgánica, ya que la microorganismos desperdicia energía y divierte.

### pH

Rango óptimo para asegurar la actividad y el desarrollo de los microorganismos en tanque de aereación: 6.5 - 8.5 unidades.

Por arriba o por abajo de 5.0 a 10.0 unidades la población biológica muere.

En el proceso que refiere se espera un descenso de pH 0.2 a 0.5 unidades, entre el agua de entrada y la de salida.

### CONSUMO DE OXÍGENO

Permite conocer la actividad microbiana en el reactor biológico al medir la velocidad de consumo de oxígeno.

- Actividad microbiana alta o ingreso una alta carga orgánica o hay demasiados microorganismos.
- Comportamiento ideal, consumo en los primeros minutos alto, pero con el tiempo es asintótico y al llegar a un valor de cero.
- Consumo de oxígeno lento y rápidamente se hace asintótico, denota presencia de pocos microorganismos, o una toxicidad química que limita su respiración.
- Si no existe consumo de oxígeno, la actividad microbiana es nula, indica que ocurrió una toxicidad aguda.

### SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y VOLÁTILES

Los SST se emplean para los ajustes de recirculación y de purga de lodos.

Los SSV indican indirectamente la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de aereación. Los SSV se emplean para calcular la relación alimento/microorganismos (A/M) y el tiempo medio de retención celular (TMRCC).

| Unidad                  | Mayor  | Menor   |
|-------------------------|--|---|
| Reactor biológico       | Deposición anódica. Genera problemas de sedimentación. | Bajas eficiencias de Tratamiento de DBO                               |
| Sedimentador secundario | Desinterferencia. Anverso SST en el effluente          | El lodo no es el tiempo de sedimentación. Anverso SST en el effluente |

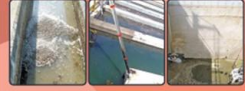
## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS



### Material flotante

- Indicador de altas concentraciones de grasas y aceites.
- Interfiere con la sedimentación y puede causar bajas eficiencias de remoción de DBO.



### Acumulación de sólidos

- Su origen se debe a una operación ineficiente del clarificador o del sedimentador primario o secundario.
- Reduce el volumen efectivo de las unidades de proceso afectando su eficiencia.
- Generan zonas anaerobias que provocan problemas de sedimentación y mal olor.



### Traectoria de flujos

- La observación de la trayectoria del flujo se utiliza para detectar cortocircuitos.
- Los cortocircuitos son visibles al observar el movimiento de la espuma, sólidos suspendidos o material flotante.
- Problemas: reducción de tiempos de retención hidráulico, generando operación inadecuada.



### Mezcla y turbulencia

- Un tanque bien mezclado presenta uniformidad de concentraciones en todo su volumen.
- Indicadores de mezclado en el reactor biológico: Formación de depósitos de sólidos en las esquinas, Zonas con concentraciones de CO<sub>2</sub> de cero, Diferencia de concentraciones entre zonas en CO<sub>2</sub> o de SS.
- Turbulencias no uniformes o de baja turbulencia pueden ser causadas por: Difusores obstruidos, Difusores dañados, Exceso de aereación.



### Burbujeo

- En el sedimentador secundario indican que el lodo tiene mucho tiempo de retención (desnitrificación) si se observan incrementos en la reculación de lodo.
- En canales, desarenadores y tanque de contacto de cromo con limpieza deficiente se presenta acumulación de sólidos y condiciones anaerobias, que generan burbujas y rastros de sólidos.

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS



### Color

- Lodo activado aerado en buenas condiciones: Color café achocolatado.
- Es un indicativo del estado de salud del lodo.
- Las condiciones de alimento proporcionan diferentes tonalidades.
- Las condiciones ambientales le dan diferente tono de color café.



### Olor

- Una PTAR bien operada no genera malos olores.
- Un proceso de lodos activados saludable tiene un ligero olor a humedad (tierra mojada).
- Un lodo séptico, cambia su color a oscuro y el olor es similar al del huevo podrido.



### Tacto

- Una Temperatura o vibración excesiva en equipos electromecánicos y tuberías advierten un mal funcionamiento.



### Algas

- Su crecimiento en las paredes de los tanques o en las canales recolectoras indica que altos niveles de nutrientes.



### Turbiedad del efluente

- Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario o en el tanque de contacto de cloro indican un mal funcionamiento de la PTAR.



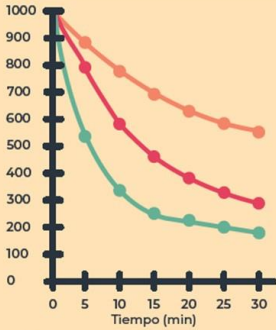
### Espuma

- Color café obscuro: Se puede presentar en el reactor biológico y en el sedimentador secundario y se debe a un alto contenido de grasas y aceites que encierran a los microorganismos y los flojan.
- Color café claro: Los niveles de sólidos no son adecuados. El lodo no tiene la edad requerida, es joven.
- Color blanco: En tanques de regulación, reactor biológico y afluente alta concentración de detergentes. Es una condición específica del arranque de una planta, se presenta en los reactores por las mullas y con mayor impacto en invierno, debido a que la temperatura afecta la actividad metabólica de los microorganismos y no degradan los detergentes.



# ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)

- IVL (mL/g) = Volumen de lodos sedimentados (mL/L) / concentración de SSTLM (g/L)
- El volumen de lodos sedimentados se determina en una probeta de 1 L después de 30 minutos
- Los valores de IVL están comprendidos dentro del intervalo 150 a 35 mL/g



- Demasiado viejo**
- Aumentar la recirculación
  - Eliminar la purga
- Edad adecuada**
- Demasiado viejo**
- Reducir al mínimo la recirculación
  - Aumentar la purga

- Se registra el volumen del lodo cada 5 minutos
- Los datos se graficarán para obtener una curva de sedimentabilidad, que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el reactor biológico.
- Durante la prueba se podrá apreciar la forma del floculo, su color y olor
- El aspecto final de la prueba da una idea de lo que se espera en el sedimentador secundario
- La información de esta prueba ayudará a conocer el comportamiento del sistema y a detectar problemas operacionales

## NORMATIVA MEXICANA DE AGUA RESIDUA

NOM-001-SEMARNAT-1996

« Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. »

« Con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. »

| PARAMÉTRICOS                          | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS |                        |                                  |                            |                        |  |                |                 |                            |                        | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANURADOS |                        |                                  |                            |                        |  |                  |                 |  |  |
|---------------------------------------|--|------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------|--|----------------|-----------------|----------------------------|------------------------|---|------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------|--|------------------|-----------------|--|--|
|                                       | RÍOS   |                        | EMBALES NATURALES Y ARTIFICIALES |                            | AGUAS COSTERAS         |  | SUELO          |                 | PARAMÉTRICOS (1)           |                        | RÍOS  |                        | EMBALES NATURALES Y ARTIFICIALES |                            | AGUAS COSTERAS         |  | PARAMÉTRICOS (2) |                 |  |  |
|                                       | Uso en riesgo agrícola (A)                             | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C)  | Uso en riesgo agrícola (B) | Uso público urbano (C) | Explotación, pastoreo, riego, etc. (D) | Recreación (E) | Explotación (F) | Uso en riesgo agrícola (A) | Uso público urbano (B) | Uso en riesgo agrícola (A)                                    | Uso público urbano (B) | Explotación de vida acuática (C) | Uso en riesgo agrícola (B) | Uso público urbano (C) | Explotación, pastoreo, riego, etc. (D) | Recreación (E)   | Cualitativo (F) |  |  |
| Contaminantes orgánicos totales (COT) | NA   | NA                     | 40                               | 40                         | 40                     | 40                                     | 40             | 40              | 40                         | 40                     | 40  | 40                     | 40                               | 40                         | 40                     | 40                                     | 40               | 40              |  |  |
| Cianuro (CN)                          | 15   | 25                     | 15                               | 25                         | 15                     | 25                                     | 15             | 25              | 15                         | 25                     | 15  | 25                     | 15                               | 25                         | 15                     | 25                                     | 15               | 25              |  |  |
| Metales pesados (mg/L)                | Asignados  |                        |                                  |                            |                        |  |                |                 |                            |                        |   |                        |                                  |                            |                        |  |                  |                 |  |  |
| Mercurio (Hg)                         | 1  | 2                      | 1                                | 2                          | 1                      | 2                                      | 1              | 2               | 1                          | 2                      | 1   | 2                      | 1                                | 2                          | 1                      | 2                                      | 1                | 2               |  |  |
| Cadmio (Cd)                           | 100  | 200                    | 75                               | 125                        | 40                     | 60                                     | 75             | 100             | 40                         | 60                     | 75  | 100                    | 40                               | 60                         | 75                     | 100                                    | 40               | 60              |  |  |
| Cromo (Cr)                            | 150  | 300                    | 75                               | 150                        | 30                     | 60                                     | 75             | 150             | 300                        | 75                     | 150   | 300                    | 75                               | 150                        | 300                    | 75                                     | 150              | 300             |  |  |
| Cobalto (Co)                          | 40   | 60                     | 40                               | 60                         | 15                     | 25                                     | 40             | 60              | 15                         | 25                     | 40  | 60                     | 15                               | 25                         | 40                     | 60                                     | 15               | 25              |  |  |
| Níquel (Ni)                           | 40   | 60                     | 40                               | 60                         | 15                     | 25                                     | 40             | 60              | 15                         | 25                     | 40  | 60                     | 15                               | 25                         | 40                     | 60                                     | 15               | 25              |  |  |
| Plomo (Pb)                            | 0.5  | 1                      | 0.5                              | 1                          | 0.5                    | 1                                      | 0.5            | 1               | 0.5                        | 1                      | 0.5   | 1                      | 0.5                              | 1                          | 0.5                    | 1                                      | 0.5              | 1               |  |  |
| Zinc (Zn)                             | 10   | 20                     | 10                               | 20                         | 5                      | 10                                     | 10             | 20              | 5                          | 10                     | 10  | 20                     | 5                                | 10                         | 10                     | 20                                     | 5                | 10              |  |  |

### NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

NOM-002-SEMARNAT-1996

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal

• Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C.

Los límites máximos permisibles para los parámetros DBO y SST, son los establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

El rango permisible de pH de 10 y 5.5 unidades.

La materia flotante debe estar ausente.

No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos considerados peligrosos, conforme a la regulación.

| Parámetros<br>(miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | Promedio mensual | Promedio diario | Instantáneo |
|--|------------------|-----------------|-------------|
| Grasas y aceites   | 50               | 75              | 100         |
| Sólidos sedimentables (milímetros por litro)                             | 5                | 7.5             | 10          |
| Arsénico total   | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cadmio total   | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cianuro total  | 1                | 1.5             | 2           |
| Cobre total  | 10               | 15              | 20          |
| Cromo hexavalente  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Mercurio total   | 0.01             | 0.015           | 0.02        |
| Níquel total   | 4                | 6               | 8           |
| Plomo total  | 1                | 1.5             | 2           |
| Zinc total   | 6                | 9               | 12          |

gob.mx/imta

### NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

NOM-003-SEMARNAT-1997

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público

• Con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.

**REUSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO**

Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. Se consideran los siguientes reusos:

- Llenado de lagos y canales artificiales recreativos con:
  - Paseos en lancha
  - Dama
  - Canotaje
- Equi
- Fuentes de ornato
- Lavado de vehículos
- Juegos de parques y jardines.

**REUSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL**

Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. Se consideran los siguientes reusos:

- Lagos artificiales no recreativos
- Barreras hidráulicas de seguridad
- Puentes
- Juegos de jardines y canchales en autosport y en arroyos
- Fuentes de ornato
- Campos de golf
- Abastecimiento de hidrantes de sistemas de extinción contra incendio

| TIPO DE REUSO   | PROMEDIO MENSUAL               |                        |                         |                         |            |
|---|--------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
|   | Coliformes Totales (NMP/100ml) | Hierro de Hierro (ppb) | Grasas y aceites (mg/l) | DBO <sub>5</sub> (mg/l) | SST (mg/l) |
| Servicios al público con contacto directo               | 240                            | ≤ 1                    | 15                      | 20                      | 20         |
| Servicios al público con contacto indirecto u ocasional | 1,000                          | ≤ 5                    | 15                      | 30                      | 30         |

- La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada.
- El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

gob.mx/imta





### PROBLEMAS FRECUENTES EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

| Problema   | Causas   | Observación  |
|--|--|--|
| Effluente turbio, ausencia de flocúlos sedimentables o dispersos en el medio o esponjosos  | Alta A/M, elevada temperatura de entrada, fase inicial del sistema, elevada DBO                            | Ausencia de flocúlos, células dispersas en el medio líquido, no ocurre biofloculación  |
| Pérdida permanente de pequeños flocúlos con el efluente final, I.V.I. bajo (<100 mL/g)   | Excesiva turbulencia o tiempo de retención celular elevado, lodo mineralizado, baja F/M                    | Flocúlos muy pequeños, débiles, como cabeza de alfiler   |
| Estrato de lodo espeso en la superficie del sedimentador   | Surgimiento del lodo desde el fondo del sedimentador por desnitificación, exceso de turbulencia, algas     | Flocúlos ricos en burbujas de gas con o sin filamentos, espuma y lodo de igual aspecto   |
| Espuma sutil, blanquecina, inestable sobre la superficie del agua  | Presencia de sustancias difícilmente biodegradables, tensoactivas  | Ninguna influencia sobre las estructuras de los flocúlos   |
| Espuma espesa amarillada, estable principalmente en el tanque aerobio  | Presencia de bacterias filamentosas u hongos actinomicetos. Formación de espuma                            | Espuma rica de Noocardia, Microthrix parvicella o Tipo 1863  |
| Lodo de consistencia gelatinosa, I.V.I. alto, espuma grisácea en el tanque aerobio, pérdida de flocúlos en el efluente final   | Agglomerado viscoso o no filamentosos, carencia de nutrientes y alto F/M                                   | Flocúlos ricos en formas zoogeales y presencia de polidispersados exocelulares evidenciados con la prueba de tinta china. Presencia de Thauera sp.   |
| I.V.I. alto o muy alto (>150 mL/g), dificultad para separar fase líquida de sólida, inicio con un efluente limpio de excelente calidad hasta la pérdida masiva de flocúlos. Lodo de recirculación poco concentrado | Presencia de bacterias filamentosas en exceso. Las causas varían en relación al tipo de organismo presente | Flocúlos con crecimiento de filamentosos desde la periferia hacia el líquido circundante, puentes entre flocúlos o filamentosos creciendo en el interior y definiendo la forma de los flocúlos, o en tramas que dejan espacios vacíos en su estructura |



Figura 310. Infografías.

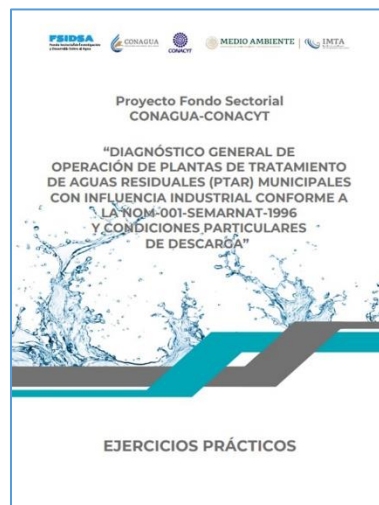
En el Manual de ejercicios prácticos (Figura 259) se presentan una serie de ejercicios prácticos que están clasificados por niveles, de tal manera que el operador podrá resolverlos inicialmente por él mismo. Posteriormente, la complejidad de los ejercicios le requerirá hacer uso de materiales de apoyo, o recurrir a sus colegas para dar una solución adecuada, y finalmente en un nivel superior, para poder resolver el ejercicio tendrá que recurrir a la ayuda del instructor.

Para la ejecución de estos ejercicios se hará uso de:

- Preguntas de opción múltiple
- Preguntas directas
- Presentación de problemas operacionales
- Preguntas de reflexión, con problemas que desde un punto de vista pueden presentar múltiples interacciones entre los procesos.

Estos ejercicios están relacionados a su vez con conocimientos generales, teóricos y prácticos de la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por lo anterior, lo que pretende este manual es que el operador al final cuente con los conocimientos que le permita discernir los niveles de problemas operacionales que se pueden presentar en una PTAR y, a su vez, tener una herramienta que le permita jerarquizarlos para obtener la mejor y correcta solución.

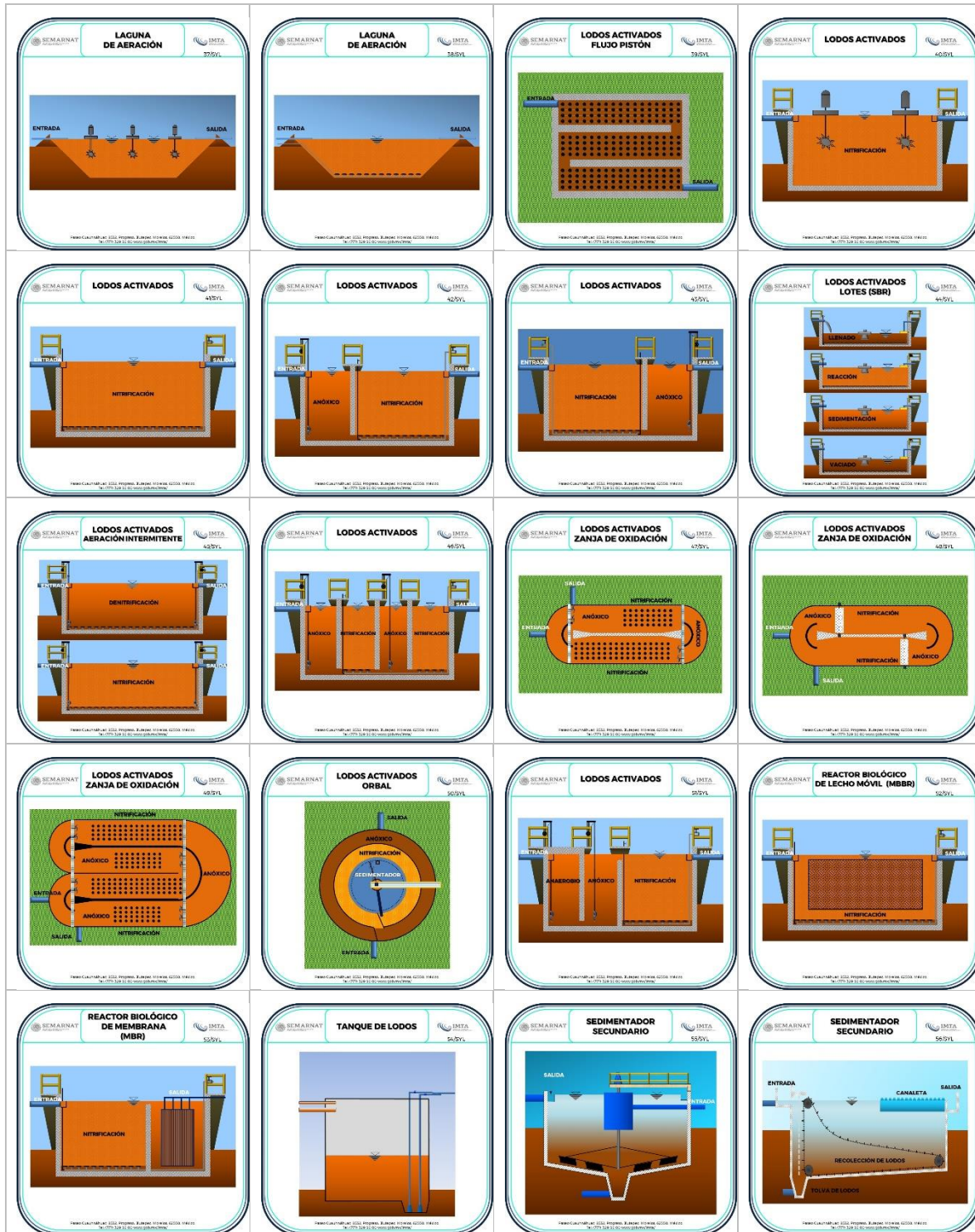


**Figura 311. Manual de ejercicios prácticos.**

Este manual va acompañado de un kit de imágenes (Figura 260) que representan todos los posibles procesos que pueden estar presentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.





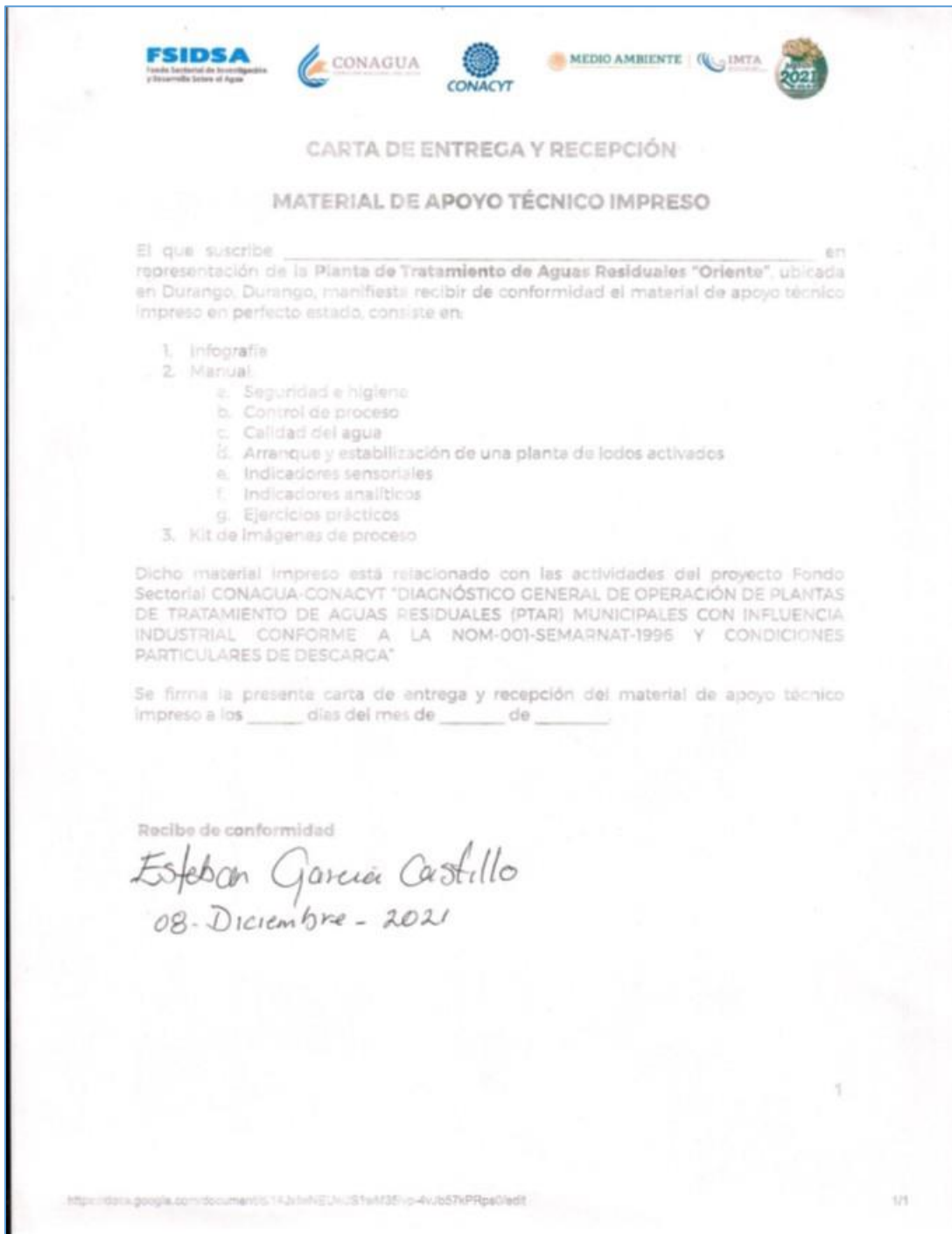






**Figura 312. Kit de figuras.**

En la Figura 81 se muestra el oficio de entrega.



FSIDSA  
Fondo Sectorial de Investigación  
y Desarrollo sobre el Agua

CONAGUA  
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

CONACYT

MEDIO AMBIENTE

IMTA

2021

### CARTA DE ENTREGA Y RECEPCIÓN

#### MATERIAL DE APOYO TÉCNICO IMPRESO

El que suscribe \_\_\_\_\_ en  
representación de la **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Oriente"**, ubicada  
en Durango, Durango, manifiesta recibir de conformidad el material de apoyo técnico  
impreso en perfecto estado, consiste en:

1. Infografía
2. Manual:
  - a. Seguridad e higiene
  - b. Control de proceso
  - c. Calidad del agua
  - d. Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
  - e. Indicadores sensoriales
  - f. Indicadores analíticos
  - g. Ejercicios prácticos
3. Kit de imágenes de proceso

Dicho material impreso está relacionado con las actividades del proyecto Fondo  
Sectorial CONAGUA-CONACYT "DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA  
INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES  
PARTICULARES DE DESCARGA"

Se firma la presente carta de entrega y recepción del material de apoyo técnico  
impreso a los \_\_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Recibe de conformidad  
*Esteban García Castillo*  
08-Diciembre-2021

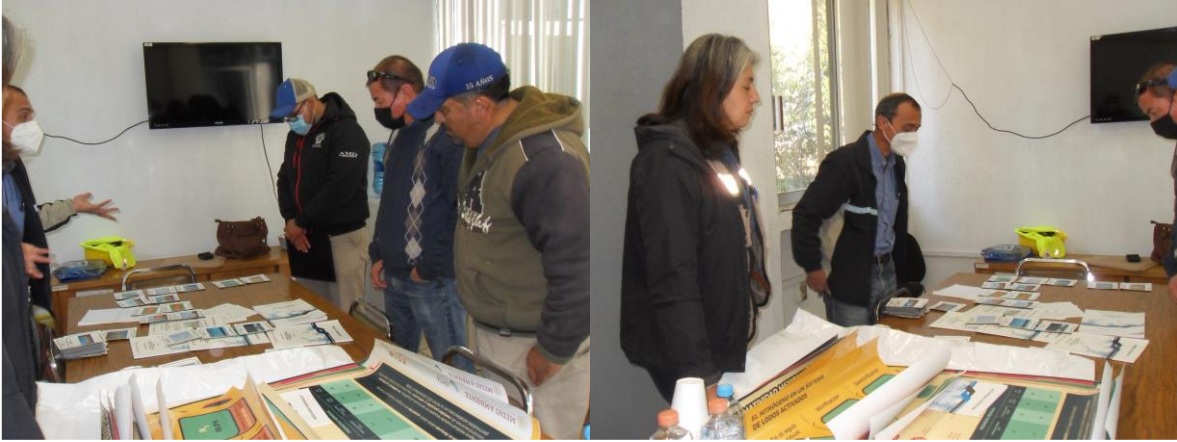
<https://docs.google.com/document/d/143r3hNEUNuS1eM351p-4vjb57xPRps0ledt>

1/1

**Figura 313. Entrega de material didáctico.**

En la Figura 314, se muestra la entrega del material didáctico.





**Figura 314. Entrega y recepción de materiales de apoyo técnico impreso**

## 14 SEGURIDAD E HIGIENE

De acuerdo con la información recabada en campo, si se cuenta con un estudio de análisis de riesgos en la PTAR, realizado por una empresa externa y se está programando una por Protección Civil. Se tiene que las zonas de riesgo están relacionadas con riesgo sanitario, riesgo de incendios, riesgos inundaciones, riesgo de derrames, riesgos químicos, riesgos eléctricos, riesgo con sopladores, y riesgos de ingreso de personal no autorizado.

Dentro del área de oficinas y en las instalaciones de la PTAR, se encuentran las señalizaciones relacionadas a la seguridad e higiene (Figura 315).



**Figura 315 Señalización en oficinas**

Se encontró que en la planta se cuenta con planes de contingencia para atención a incendios, sismos, atención a persona, sabotaje, contingencias técnicas, transporte y almacenamiento de combustibles y sustancias químicas, prácticas para la realización de simulacros y derrames de

combustibles, así como la realización de simulacros, los cuales son impartidos por personal externo. Para el caso de contingencias técnicas, éstas están relacionadas generalmente con problemas de electricidad. En específico, no hay un coordinador de seguridad e higiene en la planta, sino que el jefe de planta asume también esta actividad.

Dentro de la organización de la planta se cuenta con una brigada de evacuación, una brigada de primeros auxilios, brigada de prevención y combate de incendio, brigada de búsqueda y rescate y brigada de derrames químicos.

Existen dentro de la planta disposiciones de seguridad tales como el uso de equipo de protección, como overol, botas, chaleco, mascarilla, tapones para los oídos (Figura 316). También cuentan con disposiciones de seguridad para el personal que ingresa a la planta, se solicita pruebas de COVID-19, para evitar contagios.





**Figura 316 Equipo de seguridad**

Como medidas preventivas para los riesgos generales asociados a la PTAR, se tiene control de las vacunas de los trabajadores de la planta y desparasitación. Debido a que en el tren de tratamiento de la planta no se utilizan reactivos químicos no existen medidas preventivas o correctivas relacionadas.

## 15 LABORATORIO

La PTAR cuenta con un laboratorio de análisis bien equipado. Cuenta únicamente con una persona, QFB. Gilberto Gamaliel Andrade Ortega. La mayoría de los análisis se realizan por métodos HACH, solo coliformes es por la normativa mexicana.

Los análisis realizados en el laboratorio son: pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites, fósforo total, nitrógeno total, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales. Estos se realizan de 2 a 3 veces por semana para verificar el funcionamiento de la planta y su cumplimiento con la NOM-001-Semarnat-1996 y 2021.

Los equipos con los que cuenta el laboratorio son: dos refrigeradores, una incubadora para DBO, un calentador para aparatos soxhel, una balanza analítica, tres autoclaves, un microscopio, un horno de secado, dos bombas de vacío, tres parrillas de agitación, una bomba para pecera, cuatro desecadores de vidrio, una campana de extracción de gases, una campana de flujo laminar, una mufla, una estufa incubadora, una estufa de secado, tres multiparámetros, siete termómetros, un laboratorio portátil para coliformes, un marco de pesas analíticas, un reactor para DQO (Figura 317). De los cuales algunos tienen un mantenimiento semanal o anual.



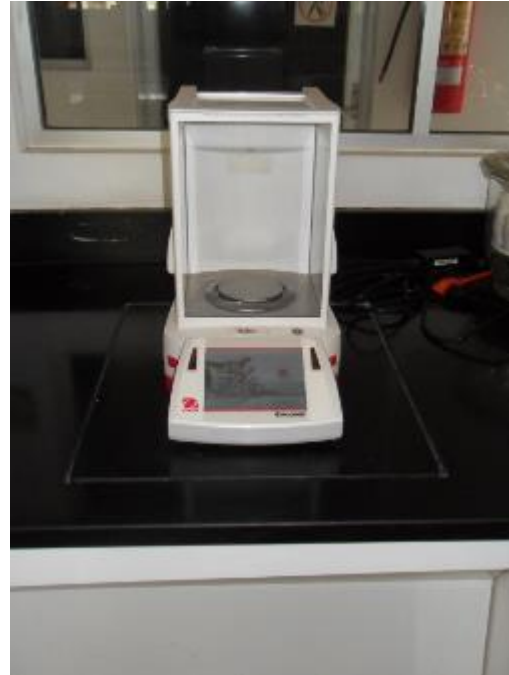
Autoclaves



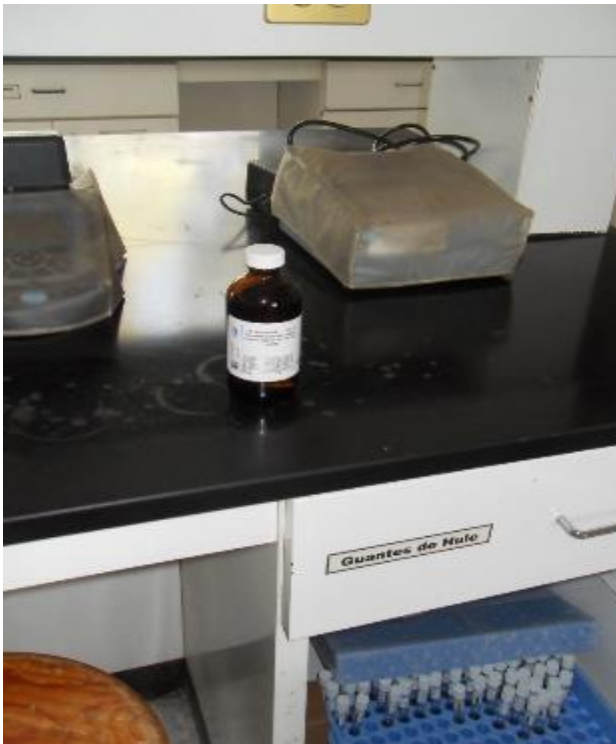
Incubadoras



Campana de flujo laminar



Balanza analítica



Multiparámetro



Campana extractor de gases



Incubadora



Refrigerador



Crisoles



Incubadoras HACH



Horno de secado e incubadora



Mufla



Soxhel



Microscopio

**Figura 317. Equipos de medición e instrumentos para análisis ubicados en el laboratorio**

La capacitación que ha recibido el personal de laboratorio, se muestra a continuación:

- ISO 1400,
- Auditores,
- ISO 9000,
- Primeros auxilios,
- Manejo de gas cloro,
- Vigilancia ambiental



En este caso se recomienda que tome un curso en sistema de garantía de calidad y empezar a implementarlo en el laboratorio.

## 16 CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR

### 16.1 Causas

Para poder ponderar las causas que influyen de manera negativa en el desempeño de la PTAR, se hace uso de una clasificación que consta de tres niveles de impacto, a saber:

#### Nivel I

Son los que presentan un mayor efecto y con problemas físicos difíciles de resolver de las unidades de proceso más importantes.

#### Nivel II

Son los que contribuyen rutinariamente al bajo desempeño o producen mayores efectos en una base periódica o estacional.

#### Nivel III

Son los que presentan mínimos efectos, fáciles y económicos de resolver, normalmente de operación y administración.

Así, tomando como base la información obtenida de los capítulos anteriores, y la clasificación de las causas que influyen en el desempeño de la PTAR, se elabora la Tabla 37.

**Tabla 128. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR**

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño   | Atención      |
|-----|-------|---|---------------|
| 1   | I     | Muy baja concentración de oxígeno disuelto en las lagunas, tanto en profundidades superficial, media y fondo. | Corto plazo   |
| 2   |       | Rompimiento constante de la unión de los difusores con el tubo extrupak.                                      | Corto plazo   |
| 3   |       | Caudal de operación es mayor que el caudal de diseño  | Mediano plazo |
| 4   |       | Exceso de nitrógeno en el efluente  | Mediano plazo |

|   |     |   |               |
|---|-----|---|---------------|
| 1 | II  | Un canal desarenador fuera de operación | Corto plazo   |
| 1 | III | Evitar zonas muertas                    | Mediano plazo |

## 16.2 Descripción de la causa y recomendaciones

### 16.2.1 Nivel I

| Causa  | Recomendación   |
|--|---|
| <p><b>1. Baja concentración de oxígeno disuelto en las lagunas</b></p> <p>Como se observó en los recorridos por las seis lagunas por la periferia y dentro de las lagunas por medio de una balsa, se notaron una deficiencia de aireación en varias líneas de suministro. Estas deficiencias están relacionadas con la aparición de borbotones que son consecuencia de fugas debido al rompimiento de las conexiones de la manguera de 1 ½ pulgadas con el cuerpo de los difusores y que posiblemente es por el desgaste de las abrazaderas.</p> | <p>Como lo comentó el Ing. Esteban García, responsable de la PTAR, se está realizando paulatinamente el cambio de conectores entre las mangueras de 1 ½ pulgadas y los difusores, la recomendación es aumentar la velocidad de cambio de los conectores puesto que, a la velocidad actual, conforme se repara/cambia un difusor se producen nuevas fugas de aire.</p> |
| <p><b>2. Rompimiento de la unión de las mangueras de 1 ½ pulgadas con el cuerpo de los difusores.</b></p> <p>De acuerdo con la información del Ing. Residente de la PTAR las abrazaderas que une la manguera con el cuerpo metálico de los difusores no son adecuadas ya que el mismo peso del difusor</p>   | <p>Realizar el cambio de los conectores un sistema más robusto.</p>   |

| <b>Causa</b>   | <b>Recomendación</b>  |
|--|---|
| <p>produce cortes en la manguera por la abrazadera.</p>  |   |
| <p><b>3. Caudal de operación mayor al caudal de diseño</b></p> <p>La sobrecarga hidráulica se origina por la entrada a la PTAR de un caudal superior al caudal reportado en el perfil hidráulico (1200 L/s), que no coincide con el caudal de diseño que tienen considerado los responsables de la operación (2,000 L/s) y, por lo tanto, se modificaría el tiempo de residencia y la eficiencia de remoción de contaminantes. De esta manera, los TRH de las lagunas son inferiores a los recomendados por la literatura.</p> | <p>Al comparar el gasto de operación medido durante el diagnóstico y el caudal de diseño se determinó una sobrecarga hidráulica de 788 L/s. La primera opción es modificar el tamaño de las lagunas, aunque para el caso de la PTAR Oriente se plantea poco probable está solución debido a la limitación de espacio disponible para la ampliación de las lagunas. En todo caso, se requiere la construcción de un módulo adicional para poder alcanzar el caudal de 2,000 L/s y para respetar el TRH mínimo recomendado por la bibliografía (al menos tres días) ya que no hay recirculación. Además de rebasar el caudal de diseño, se requiere la optimización de la aireación en el proceso. Se sugiere un estudio donde se evalúe las opciones como utilizar los espacios donde se disponen los lodos del azolve para la implementación de una serie extra de lagunas.</p> |
| <p><b>4. Exceso de nitrógeno en el efluente</b></p> <p>El efluente no cumplirá con los límites de nitrógeno con la modificación de la norma, ya que las lagunas no están diseñadas para ello, ya que no hay recirculación.</p>   | <p>Independientemente de los problemas con las fugas de aire en el sistema, las lagunas no están diseñadas para la eliminación de nitrógeno. Se propone modificar el patrón de aireación de las lagunas para generar una zona anóxica en el primer tercio de las lagunas y</p>  |

| <b>Causa</b> | <b>Recomendación</b>   |
|--------------|--|
|              | favorecer la remoción del nitrógeno y cumplir con la modificación de la norma. En este contexto, cada laguna tendría una zona anóxica en el primer tercio, y mantener la aireación en los dos tercios restantes. |

### 16.2.2 Nivel II

| <b>Causa</b>  | <b>Recomendación</b>   |
|---|--|
| <p><b>1. Canal desarenador fuera de operación</b></p> <p>En el pretratamiento se cuenta con tres canales desarenadores, sin embargo, un desarenador está fuera de operación. El motivo principal es que el desarenador carece de cangilones y del mecanismo de recolección de sedimentos.</p> | <p>La gerencia de la PTAR debe realizar la petición de compra del mecanismo de recolección de sólidos y sedimentos, así como su instalación.</p> |

### 16.2.3 Nivel III

| <b>Causa</b>  | <b>Recomendación</b>  |
|---|---|
| <p><b>1. Zonas muertas</b></p> <p>La desviación de la idealidad del flujo en las lagunas ocasiona zonas muertas en las lagunas que a su vez alteran el tiempo de retención.</p> | <p>Mejorar la distribución y evitar zonas muertas y el azolve mediante un estudio con trazadores (para determinar las áreas de mezclado) y la revisión de las esquinas con el fin de mantenerlas redondeadas.</p> |

## 17 CONCLUSIONES

### 41) Título de concesión de descarga

- a) Para la PTAR Oriente se tienen Condiciones Particulares de Descarga, entre las que destacan la concentración de SST, DBO, DBO soluble, NTK, RAS, DQO y SAAM. La descarga es cuerpo receptor tipo A (Arroyo Acequia Grande), pero la mayor parte del efluente es utilizado para riego agrícola en las zonas agrícolas aledañas al municipio.

### 42) Memoria de cálculo

- a) Respecto a la construcción actual en comparación con los planos originales de la PTAR no se percibió un cambio en el diseño original. Las dimensiones de la infraestructura coinciden con la documentación revisada.
- b) Se encontró que para cumplir con el TRH de diseño se debe realizar una ampliación en el volumen de las lagunas o construir unidades complementarias. El caudal de diseño reportado no coincide con la capacidad de las lagunas.

### 43) Información histórica de calidad del agua

- a) Se observó en el período de 2018 a 2021 un adecuado acopio de datos por parte de la PTAR ya que se cuentan con los valores mensuales de 24 parámetros. La sugerencia es que se realicen análisis de control en la entrada de DQO, DBO, NT, PT y GyA.
- b) La entrada en vigor de la NOM-SEMARNAT-2021 hace necesario que se ajuste el proceso para cumplir con los LMP, en particular para el NT (que de hecho presenta una baja remoción) y para la toxicidad (que en el efluente rebasa por más del doble al LMP de 2 UT a 15 min de exposición). En general y de acuerdo con la información histórica, durante el primer semestre de 2021, los LMP propuestos en la modificación de la norma se cumplen la mayor parte del tiempo para la DQO, pero es indispensable garantizar los niveles de OD en las lagunas para cumplir cabalmente con este parámetro.
- c) El permiso de descarga regula parámetros para los cuales no se cuentan registros: DBO soluble, RAS, conductividad, fósforo inorgánico, nitrógeno amoniacal y SAAM. Se sugiere se realicen para dar cumplimiento a las condiciones particulares de descarga de la planta de tratamiento.

#### **44) Información del Proceso**

- a) Se cuenta con un programa de mantenimiento anual.
- b) Se llevan bitácoras de operación, sin embargo, éstas no contienen información sobre el mantenimiento rutinario o de reparación del sistema de tratamiento.

#### **45) Funcionamiento de la PTAR**

- a) Con relación a la desinfección se sugiere realizar un muestreo para determinar cloro residual por lo menos dos veces al día. Recordando que la concentración de cloro residual en el agua tratada debería oscilar entre los 0.5 y 1.0 mg/L. Sumado a lo anterior, se pueden implementar pruebas en campo para determinar y verificar la dosificación de cloro, así como el tiempo de contacto.
- b) Realizar las mejoras en los sistemas de difusión de aire, para reforzar los paneles y evitar fallos y fugas constantes. Asimismo, se sugiere rehabilitar las líneas flotantes hundidas que se observaron en algunas lagunas.
- c) Las principales operaciones de la PTAR como el pretratamiento, aireación, bombeo y cloración cuentan con manual de operación, sin embargo, se sugiere que estos documentos sean analizados por los operadores para una mejor operación de los equipos. La situación actual del estado físico de las instalaciones es funcional y permite la operación cotidiana de la PTAR. De hecho, las instalaciones de oficinas y laboratorio se encuentran en excelentes condiciones, no obstante, lo que se conoce como “bodega” es el área que si requiere mantenimiento. Se pudo observar un mantenimiento constante, en especial en la zona de lagunas respecto las líneas de difusión de aire. No se advirtió equipo o instalaciones con signos graves de corrosión, aunque se advirtió que algunas casetas (que albergan centros de control y equipos) necesitan una capa extra de pintura. El edificio principal que alberga las oficinas está en buen estado en general.
- d) Se proporcionó al IMTA un archivo con la relación de los equipos electromecánicos donde se observó que 17 equipos están fuera de servicio por falta de presupuesto para refacciones. Se sugiere que la PTAR sea dotada de recursos para paulatinamente se reparen los equipos fuera de servicio y así se tengan equipos de reserva para lidiar con futuras descomposturas

#### **46) Modificación del patrón de aeración**

- a) Para cumplir con los LMP para nitrógeno, se recomienda revisar la posibilidad de modificar el patrón de aireación de las lagunas, generando zonas anóxicas en el primer tercio de cada laguna y garantizar la correcta aireación en los dos tercios restantes, con el propósito de cumplir con la modificación de la norma actual y la entrada en vigor de la NOM-SEMARNAT-2021.
- b) En lo que respecta a la toxicidad, se reportaron valores muy altos en el influente (5 a 21 UT), a pesar de que el responsable de descargas reporta que no hay descargas industriales. Se recomienda revisar el padrón de usuarios e identificar las posibles descargas generadoras de toxicidad en el influente en la zona de influencia de la red de alcantarillado, y revisar si no hay escurrimientos de las zonas agrícolas que pudieran generar escurrimientos con productos agroquímicos tóxicos (plaguicidas, biocidas, insecticidas, por ejemplo) a la red de alcantarillado.

#### **47) Determinaciones de campo**

- a) Las concentraciones de OD en las lagunas son inferiores a 0.2 mg/L, lo que puede ocasionar tendencias a condiciones anaerobias lo cual se refleja en los malos olores presentes en las lagunas.

#### **48) Influencia industrial**

- a) De acuerdo con la información recabada, el influente de la PTAR Durango Oriente tiene origen municipal. Al evaluar la relación DQO/DBO, la información histórica de 2020 sugiere que es agua residual sin problemas de biodegradabilidad. Sin embargo, la relación que se obtiene en el muestreo diagnóstico realizado en 2021 señala la probable presencia de compuestos tóxicos o poco biodegradables.

#### **49) Evaluación de conocimientos**

- a) Se sugiere realizar una capacitación continua a los operadores de la planta para que conozcan mejor el sistema y puedan alertar sobre el mal funcionamiento de la planta. Se sugiere la vinculación con universidades para que estudiantes de licenciatura de carreras afines realicen tesis o prácticas profesionales en las instalaciones de la planta y con ello dar seguimiento a la operación de la misma.
- b) En relación con la capacitación del personal, este ha solicitado los siguientes cursos:
  - i) Electromecánica
  - ii) Hidráulica

- iii) Procesos químicos y bioquímicos
- iv) Plantas de tratamiento de lagunas aireadas
- v) Mantenimiento y operación de plantas de emergencia
- vi) Mantenimiento y operación de sistemas de cloración
- vii) Evacuación
- viii) Tratamiento de aguas residuales
- ix) Rescate acuático
- x) Lodos activados

Estos cursos de capacitación se deberían de impartir a todos los operadores, no solo a unos cuantos. El curso solicitado de plantas de tratamiento de lagunas aireadas, debería incluir la operación y mantenimiento de las mismas.

## **50) Seguridad**

- a) En cuanto a las prácticas de seguridad e higiene que son aplicadas, se encontró que en la planta si se cuenta con un estudio de análisis de riesgos en la PTAR, realizado por una empresa externa y se está programando una por Protección Civil. Se tiene que las zonas de riesgo están relacionadas con riesgo sanitario, riesgo de incendios, riesgos inundaciones, riesgo de derrames, riesgos químicos, riesgos eléctricos, riesgo con sopladores, y riesgos de ingreso de personal no autorizado. Además, se cuenta con planes de contingencia para atención a incendios, sismos, atención a personal, sabotaje, contingencias técnicas, transporte y almacenamiento de combustibles y sustancias químicas, prácticas para la realización de simulacros y derrames de combustibles, así como la realización de simulacros, los cuales son impartidos por personal externo. Para el caso de contingencias técnicas, éstas están relacionadas generalmente con problemas de electricidad. El problema es que no existe un coordinador de seguridad e higiene en la planta, el jefe de planta realiza también esta actividad, por lo que se les sugiere que exista un coordinador de seguridad e higiene que este al pendiente del cumplimiento de este rubro.

## **51) Laboratorio**

- a) En el caso del Laboratorio, se recomienda que el encargado del laboratorio tome un curso en sistema de garantía de calidad y empezar a implementarlo en el laboratorio. Como se comentó anteriormente, el laboratorio se encuentra en buenas condiciones, el equipo que tienen, también se encuentra en buenas condiciones. La mayoría de las pruebas que realizan son por HACH, las únicas



pruebas que se realizan por normas mexicanas son coliformes totales y fecales. Por lo tanto, se sugiere implementar los análisis restantes por normas mexicanas. Posteriormente buscar la certificación del laboratorio. Los análisis se realizan de dos a tres veces por semana, los resultados solo los analiza el laboratorista y el jefe de planta. Se sugiere que se analicen los resultados junto con los operadores y explicarles el porqué de estos análisis, y cuál es su importancia para la operación de la planta.

**ANEXO E. Formato 3. Recursos Humanos**


| Nombre                           | Puesto              | Escolaridad          | Antigüedad   |              |
|----------------------------------|---------------------|----------------------|--------------|--------------|
|                                  |                     |                      | En la planta | En el puesto |
| <b>Personal administrativo</b>   |                     |                      |              |              |
| José Luis González Vázquez       | Jefe de Saneamiento | Ingeniería Eléctrica | 25 años      | 2 meses      |
| Esteban García Castillo          | Jefe de Planta      | Ingeniería Eléctrica | 20 años      | 20 años      |
| <b>Personal Operativo</b>        |                     |                      |              |              |
| Andrés Ordaz Soto                | Operador            | Preparatoria         | 25 años      | 25 años      |
| David Horacio Santos Serrano     | Operador            | Técnico Profesional  | 8 años       | 8 años       |
| Cleto Flores Barrientos          | Operador            | Preparatoria Trunca  | 25 años      | 25 años      |
| Abisai Martínez Rubio            | Operador            | Técnico Profesional  | 1 años       | 2 meses      |
| Andrés A. Santos Hernández       | Vigilante Operador  | Secundaria           | 12 años      | 12 años      |
| Joel A. Cabrales Domínguez       | Vigilante Operador  | Secundaria           | 9 años       | 9 años       |
| Salvador Rivera Nevarez          | Vigilante Operador  | Secundaria           | 12 años      | 12 años      |
| Victoriano Celaya Núñez          | Vigilante Operador  | Secundaria           | 7 años       | 7 años       |
| Sergio Landeros Alonso           | Vigilante Operador  | Secundaria           | 18 años      | 18 años      |
| Edgar Gerardo Salazar Puebla     | Vigilante Operador  | Preparatoria Trunca  | 6 años       | 6 años       |
| Manuel A- Amaya Sigarroa         | Vigilante Operador  | Secundaria           | 8 años       | 8 años       |
| Erick G. López De Los Santos     | Vigilante Operados  | Secundaria           | 1 mes        | 1 mes        |
| <b>Personal de mantenimiento</b> |                     |                      |              |              |




| Nombre                         | Puesto                              | Escolaridad          | Antigüedad   |              |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------|--------------|--------------|
|                                |                                     |                      | En la planta | En el puesto |
| José Andrés Medrano Ramírez    | Jefe de Operación y Mantenimiento   | Ingeniería Eléctrica | 5 años       | 5 años       |
| Pablo Jesús Cabrales Lares     | Jefe de Operación y Mantenimiento   | Ingeniería Mecánica  | 6 años       | 6 años       |
| <b>Personal de laboratorio</b> |                                     |                      |              |              |
| Gamaliel Ortega Andrade        | Jefe de Laboratorio de Agua Tratada | Licenciatura QFB     | 25 años      | 20 años      |

**ANEXO F. Formato 15. Seguridad e Higiene**

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| Nombre de la PTAR | <b>PTAR Oriente, Durango</b> |
|-------------------|------------------------------|

|                                    |                                |
|------------------------------------|--------------------------------|
| Responsable de seguridad e higiene | <b>Esteban García Castillo</b> |
|------------------------------------|--------------------------------|

| Zonas de riesgo en PTAR   |   |   |
|---------------------------|---|---|
| Evento                    | Zona de riesgo  | Fotografía  |
| Sismo                     | <b>No</b>   |   |
| Inundación                | <b>Desborde de acequia en tiempo de lluvias</b>                           |   |
| Nivel cerámico            | <b>Tres veces al año</b>  |   |
| Explosión                 | <b>NA</b>   |   |
| Incendio                  | <b>Pastizales</b>   |  |
| Disturbio                 | <b>NA</b>   |   |
| Derrame                   | <b>Procesos externos Leche Lala, Combustóleo, Hace 15 años accidental</b> |   |
| Riesgo sanitario          | <b>Hepatitis, Tétanos, cada año, desparasitación del personal</b>         |   |
| Riesgo químico            | <b>Con cloro gas, desechos de laboratorio, disposición por empresa</b>    |   |
| Riesgo de gases orgánicos | <b>No</b>   |   |

| <b>Zonas de riesgo en PTAR</b>    |  |  |
|-----------------------------------|--|--|
| <b>Evento</b>                     | <b>Zona de riesgo</b>  | <b>Fotografía</b>  |
| Riesgo de caídas                  | <b>Si, en taludes del sistema lagunar</b>                        |   |
| Riesgos eléctricos                | <b>Cables de alta tensión, CCM</b>                               |   |
| Riesgos con sopladores            | <b>Si</b>  |  |
| Riesgos con equipos pesados       | <b>NA</b>  |  |
| Ingreso de personal no autorizado | <b>Si, debido a que no está bardeado el perímetro de la PTAR</b> |  |

|  |   |
|--|---|
| Cuentan con un estudio de análisis de riesgos en la PTAR | <b>Se realizó por una empresa externa hace muchos años y se está programando un estudio por parte de protección civil</b> |
|--|---|



| <b>Plan de contingencia</b>          |               |                             |
|--------------------------------------|---------------|-----------------------------|
| <b>Tipo</b>                          | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>        |
| Atención a incendios                 | <b>Si</b>     | <b>Plan de contingencia</b> |
| Atención de derrames de combustibles | <b>Si</b>     | <b>Plan de contingencia</b> |
| Atención a un sismo                  | <b>Si</b>     | <b>Plan de contingencia</b> |






| <b>Plan de contingencia</b>  |               |  |
|--|---------------|--|
| <b>Tipo</b>  | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>   |
| Atención a tormentas eléctricas (rayos)  | <b>No</b>     |  |
| Atención a explosión   | <b>NA</b>     |  |
| Atención a contingencias técnicas  | <b>Si</b>     | <b>Por escrito</b>   |
| Atención de personal   | <b>Si</b>     |  |
| Atención a sabotajes   | <b>Si</b>     | <b>Vandalismo en colectores de llegada en zonas lejanas a la planta, robo de cables y equipo</b> |
| Atención para el transporte y almacenamiento de combustibles y sustancias químicas | <b>Si</b>     | <b>Plan de contingencia</b>  |
| Prácticas para la realización de simulacros  | <b>Si</b>     | <b>Una o dos veces por año</b>   |

|                                       |                                   |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Coordinador del comité de emergencias | <b>Ing. Luis González Vázquez</b> |
|---------------------------------------|-----------------------------------|



| <b>Otras disposiciones</b>  |               |   |
|---|---------------|---|
| <b>Tipo</b>   | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>                                  |
| Teléfonos de emergencia visibles  | <b>Si</b>     |   |
| Teléfono fijo para llamadas de emergencia   | <b>Si</b>     |   |
| Disposiciones de seguridad a empresas tercerizadas que ingresan a la PTAR   | <b>Si</b>     |   |
| Disposiciones de seguridad a personal externo que ingresa a la PTAR   | <b>Si</b>     | <b>Recomendaciones dependiendo del área a visitar</b> |
| Se proporciona equipo de protección personal a los trabajadores   | <b>Si</b>     |   |
| Se proporciona a los trabajadores la capacitación y el adiestramiento necesario para el uso, limpieza, mantenimiento, limitaciones y almacenamiento del equipo de protección personal | <b>No</b>     |   |
| Los trabajadores cuentan con información sobre los riesgos a los que están expuestos y el equipo de protección personal que deben utilizar  | <b>Si</b>     |   |

| <b>Brigadas</b>                                  |                        |                        |                                  |   |
|--|------------------------|------------------------|----------------------------------|---|
| <b>Tipo</b>                                      | <b>No. brigadistas</b> | <b>Jefe de brigada</b> | <b>Equipo con el que cuentan</b> | <b>Capacitación (periodo, duración)</b> |
| Brigada de evacuación                            | <b>9</b>               | <b>1</b>               | <b>Radios</b>                    | <b>No</b>                               |
| Brigada de primeros auxilios                     | <b>11</b>              | <b>1</b>               |                                  | <b>Cruz roja</b>                        |
| Brigadas de prevención y combate de incendio     | <b>12</b>              | <b>1</b>               |                                  | <b>Empresa externa</b>                  |
| Brigada de búsqueda y rescate                    | <b>No</b>              | <b>No</b>              | <b>No</b>                        | <b>No</b>                               |
| Otra<br>Brigada contra fuego y derrames químicos | <b>12</b>              | <b>1</b>               |                                  | <b>Empresa externa</b>                  |
| Otra<br>Brigada comunicación                     |                        |                        |                                  |   |

| <b>Señalización</b>  |               |                      |   |
|--|---------------|----------------------|---|
| <b>Indicador</b>   | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b>   |
| Se ubican las señales de seguridad e higiene de tal manera que puedan ser observadas e interpretadas por los trabajadores a los que están destinados y se evita que sean obstruidas. | <b>Si</b>     |                      |  |
| Se identifican y señalan las áreas en donde se requiera el uso obligatorio del Equipo de Protección personal correspondiente.  | <b>Si</b>     |                      |  |

| Señalización  |           |               |   |
|---|-----------|---------------|---|
| Indicador   | Cumple    | Observaciones | Fotografía  |
| Se garantiza que la aplicación del código de colores, señalización y la identificación en la tubería está sujeta a un mantenimiento que asegure en todo momento su visibilidad y legibilidad. | <b>Si</b> |               |    |
| Se identifican los depósitos, recipientes y áreas que contengan sustancias químicas peligrosas o los residuos de éstas.   | <b>Si</b> |               |    |
| Se encuentran señaladas las rutas de evacuación   | <b>Si</b> |               |   |
| Se encuentran señaladas las zonas de peligro  | <b>Si</b> |               |  |
| Se encuentran señalados la ubicación de los extintores  | <b>Si</b> |               |  |







| Señalización   |           |                          |  |
|--|-----------|--------------------------|--|
| Indicador  | Cumple    | Observaciones            | Fotografía   |
|  |           |                          |   |
| Se encuentran señalados la ubicación de los lavaojos | <b>Si</b> | <b>En el laboratorio</b> |  |



| Riesgos generales                               |   |   |                     |
|---|---|---|---------------------|
| Riesgo  | Origen  | Medidas preventivas en la PTAR                      | Medidas correctivas |
| Infecciones                                     | Contacto de patógenos con piel, ojos, quemaduras, cortadas, raspones y boca       | <b>Vacunación y desparasitación</b>                 |                     |
| Daño físico                                     | Ahogamiento   | <b>Chaleco salvavidas</b>                           |                     |
|   | Caídas y resbalones   | <b>Barandales</b>                                   |                     |
| Fuego   | Almacenamiento inadecuado de materiales y químicos junto a una fuente de ignición | <b>Extintores</b>                                   |                     |
| Exposición a químicos, gases y vapores tóxicos, | Químicos Gas cloro  | <b>Lava ojos, regadera, detector de fuga de gas</b> |                     |
|   | Reacciones químicas   |   |                     |



| <b>Riesgos generales</b> |                                |  |                            |
|--------------------------|--------------------------------|--|----------------------------|
| <b>Riesgo</b>            | <b>Origen</b>                  | <b>Medidas preventivas en la PTAR</b>  | <b>Medidas correctivas</b> |
| corrosivos o nocivos     | Desechos industriales          | <b>No</b>                              |                            |
|                          | Laboratorio                    | <b>Recolección por empresa externa</b> |                            |
| Descargas eléctricas     | Equipo defectuoso              | <b>Mantenimiento</b>                   |                            |
|                          | Aterrizado en forma inadecuada | <b>No</b>                              |                            |
|                          | Aislamiento insuficiente       | <b>Mantenimiento</b>                   |                            |
|                          | Cortocircuito                  | <b>Mantenimiento</b>                   |                            |


| <b>Atención médica</b>                           |               |  |                   |
|--|---------------|--|-------------------|
| <b>Requisito</b>                                 | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>                       | <b>Fotografía</b> |
| Cuenta la PTAR con enfermería                    | <b>No</b>     |  |                   |
| Cuenta la PTAR con médico de planta              | <b>No</b>     |  |                   |
| Cuenta la PTAR con paramédico                    | <b>No</b>     |  |                   |
| Distancia a la atención hospitalaria más cercana | <b>Si</b>     | <b>Cruz roja a 3 kilómetros de la PTAR</b> |                   |

| <b>Riesgos sanitarios</b>             |               |                           |                   |
|---------------------------------------|---------------|---------------------------|-------------------|
| <b>Requisito</b>                      | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>      | <b>Fotografía</b> |
| Esquema de vacunación de trabajadores | <b>Si</b>     | <b>Hepatitis, tétanos</b> |                   |
| Vacuna específica solicitada por PTAR | <b>Si</b>     | <b>COVID</b>              |                   |

| <b>Riesgos sanitarios</b>                 |               |                      |   |
|---|---------------|----------------------|---|
| <b>Requisito</b>                          | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b>   |
| Uso de ropa y zapatos adecuados           | <b>Si</b>     |                      |    |
| Uso de guantes                            | <b>Si</b>     |                      |   |
| Uso de mascarilla                         | <b>Si</b>     |                      |   |
| Uso de lentes transparentes               | <b>Si</b>     |                      |   |
| Uso de casco                              | <b>Si</b>     |                      |   |
| Lugar designado para consumo de alimentos | <b>Si</b>     |                      |  |
| Zonas para fumar                          | <b>Si</b>     |                      |  |


| Riesgos sanitarios                         |        |               |  |
|--|--------|---------------|--|
| Requisito                                  | Cumple | Observaciones | Fotografía   |
| Uso de gel antibacterial                   | Si     |               |  |
| Disposición de guantes y mascarillas       | Si     |               |  |
| Desinfección de material de trabajo y ropa | Si     |               |   |
| Uso de duchas al terminar el turno         | Si     |               |  |

| Riesgos químicos                 |        |               |   |
|----------------------------------|--------|---------------|---|
| Requisito                        | Cumple | Observaciones | Fotografía  |
| Almacén de productos ventilados  | Si     |               |  |
| Separación de productos químicos |        |               |  |


| <b>Riesgos químicos</b>               |               |                      |   |
|---------------------------------------|---------------|----------------------|---|
| <b>Requisito</b>                      | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b>   |
| Uso de máscara con filtros apropiados | <b>Si</b>     |                      |  |
| Uso de guantes de látex o neopreno    | <b>Si</b>     |                      |   |
| Uso de lentes transparentes           | <b>Si</b>     |                      |   |
| Uso de botas de hule                  | <b>Si</b>     |                      |   |



| <b>Riesgos con gases orgánicos</b>                              |               |                      |                   |  |
|---|---------------|----------------------|-------------------|--|
| <b>Requisito</b>  | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b> |  |
| Equipo portátil de medición de concentración de gases orgánicos | NA            |                      |                   |  |
| Arnés de seguridad  | NA            |                      |                   |  |
| Uso de máscara con filtros apropiados                           | NA            |                      |                   |  |
| Trabajo en equipo   | NA            |                      |                   |  |

| <b>Riesgos de caídas</b>      |               |                      |                   |
|-------------------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| <b>Requisito de seguridad</b> | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b> |
| Arnés de seguridad            | Si            |                      |                   |

| <b>Riesgos de caídas</b>      |               |                      |   |
|-------------------------------|---------------|----------------------|---|
| <b>Requisito de seguridad</b> | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b>   |
| Chaleco salvavidas            | Si            |                      |  |
| Trabajo en equipo             | Si            |                      |   |

| <b>Riesgos eléctricos</b>                 |               |                      |                   |
|---|---------------|----------------------|-------------------|
| <b>Requisito de seguridad</b>             | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b> |
| Equipos y tableros aterrizados            | NA            |                      |                   |
| Zapatos aislantes                         | NA            |                      |                   |
| Casco                                     | NA            |                      |                   |
| Lentes de seguridad                       | NA            |                      |                   |
| Herramientas especiales para electricidad | NA            |                      |                   |

| <b>Riesgos con sopladores</b> |               |                      |  |
|-------------------------------|---------------|----------------------|--|
| <b>Requisito de seguridad</b> | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b>  |
| Sonómetro                     | NA            |                      |  |

| <b>Riesgos con sopladores</b> |               |                      |  |
|-------------------------------|---------------|----------------------|--|
| <b>Requisito de seguridad</b> | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b>  |
| Casco                         | Si            |                      |  |
| Protectores auditivos         | Si            |                      |  |
| Cuantes aislantes             | Si            |                      |  |

| <b>Riesgos con equipos pesados</b>      |               |                      |                   |
|---|---------------|----------------------|-------------------|
| <b>Requisito de seguridad</b>           | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b> |
| Zapato de seguridad                     | NA            |                      |                   |
| Casco                                   | NA            |                      |                   |
| Faja                                    | NA            |                      |                   |
| Gautes de carnaza o de malla metálica   | NA            |                      |                   |
| Trabajo en equipo                       | NA            |                      |                   |
| Uso de equipo de levantamiento mecánico | NA            |                      |                   |

| <b>Actividades en PTAR que involucran riesgos</b>   |   |
|---|---|
| Extracción de sólidos en rejillas manuales          |   |
| Frecuencia  | <b>Diario</b>   |
| No. personas que lo realizan                        | <b>12</b>   |
| Describe la secuencia operativa (metodología)       | <b>Estos se retiran con rastrillos de forma manual y se depositan en carritos entre dos trabajadores para depositar en el área asignada para basura</b> |
| Describe el equipo de protección personal utilizado | <b>Cubreboca, guantes látex, zapatos de seguridad y overol</b>  |

| <b>Actividades en PTAR que involucran riesgos</b>             |   |
|---|---|
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área       | <b>Regaderas</b>  |
| Extracción de sólidos en rejillas mecanizadas                 |   |
| Frecuencia  | <b>Diario</b>   |
| No. personas que lo realizan                                  | <b>12</b>   |
| Describa la secuencia operativa (metodología)                 | <b>Se extrae de forma mecánica por medio de una especie de pala dentada que se pone en operación desde el panel de control, esta se desliza hacia arriba por entre las soleras, recogiendo la basura y vaciándola a una tolva y descarga hacia los carritos contenedores, cuando se llenan los carritos se llevan a un área de basura</b> |
| Describa el equipo de protección personal utilizado           | <b>Cubreboca, guantes látex, zapatos de seguridad y overol</b>  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área       | <b>Regadera</b>   |
| Extracción de arena en desarenadores                          |   |
| Frecuencia  | <b>Diario</b>   |
| No. personas que lo realizan                                  | <b>12</b>   |
| Describa la secuencia operativa (metodología)                 | <b>Por lavado mecánico, vaciándola a una tolva y descarga hacia los carritos contenedores, cuando se llenan los carritos se llevan a un área de basura</b>  |
| Describa el equipo de protección personal utilizado           | <b>Cubreboca, guantes látex, zapatos de seguridad y overol</b>  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área       | <b>Regadera</b>   |
| Medición de parámetros en sistemas biológicos                 |   |
| Frecuencia  | <b>2 a 3 veces por semana</b>   |
| No. personas que lo realizan                                  | <b>1</b>  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)                 | <b>Laboratorio, se toman muestras instantáneas y compuesta en el influente y efluente de acuerdo a la NOM-001</b>   |
| Describa el equipo de protección personal utilizado           | <b>Cubreboca, guantes látex, zapatos de seguridad y overol</b>  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área       | <b>Regadera</b>   |
| Mantenimiento y limpieza de agitadores en sistemas biológicos |   |



| <b>Actividades en PTAR que involucran riesgos</b>          |  |
|--|--|
| Frecuencia   | <b>NA</b>  |
| No. personas que lo realizan                               | <b>NA</b>  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)              | <b>NA</b>  |
| Describa el equipo de protección personal utilizado        | <b>NA</b>  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área    | <b>NA</b>  |
| <b>Limpieza de espumas en sistemas biológicos</b>          |  |
| Frecuencia   | <b>Diario</b>  |
| No. personas que lo realizan                               | <b>2</b>   |
| Describa la secuencia operativa (metodología)              | <b>Con un cedazo se recoge la espuma y se lleva a un tambo</b> |
| Describa el equipo de protección personal utilizado        | <b>Cubreboca, guantes látex, zapatos de seguridad y overol</b> |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área    | <b>Regadera</b>  |
| <b>Vaciado de unidad de proceso</b>                        |  |
| Frecuencia   | <b>NA</b>  |
| No. personas que lo realizan                               | <b>NA</b>  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)              | <b>NA</b>  |
| Describa el equipo de protección personal utilizado        | <b>NA</b>  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área    | <b>NA</b>  |
| <b>Control de bombas para diferentes pasos del proceso</b> |  |
| Frecuencia   | <b>Diario</b>  |
| No. personas que lo realizan                               | <b>12</b>  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)              | <b>Control CCM</b>   |
| Describa el equipo de protección personal utilizado        | <b>Cubreboca, guantes látex, zapatos de seguridad y overol</b> |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área    | <b>Regadera</b>  |

| <b>Actividades en PTAR que involucran riesgos</b>         |  |
|---|--|
| <b>Disposición de grasas y aceites</b>                    |  |
| Frecuencia  | <b>Una vez por semana</b>  |
| No. personas que lo realizan                              | <b>12</b>  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)             | <b>Se recogen con un sedal y se llevan a un contenedor y al final se llevan a un relleno sanitario</b> |
| Describa el equipo de protección personal utilizado       | <b>Cubreboca, guantes látex, zapatos de seguridad y overol</b>   |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área   | <b>Regadera</b>  |
| <b>Cámara de mezcla y depósitos de productos químicos</b> |  |
| Productos que se manipulan                                | <b>NA</b>  |
| Tareas que se realizan                                    | <b>NA</b>  |
| No. personas que lo realizan                              | <b>NA</b>  |
| Frecuencia  | <b>NA</b>  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)             | <b>NA</b>  |
| Describa el equipo de protección personal utilizado       | <b>NA</b>  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área   | <b>NA</b>  |
| <b>Control de tableros eléctricos</b>                     |  |
| Frecuencia  | <b>Diario</b>  |
| No. personas que lo realizan                              | <b>12</b>  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)             | <b>Toma de lectura</b>   |
| Describa el equipo de protección personal utilizado       | <b>Cubreboca, guantes látex, zapatos de seguridad y overol</b>   |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área   | <b>Regadera</b>  |

## **PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

### **PROYECTO No.309621**

# **“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA”**

## **DIAGNÓSTICO DE LA PTAR**

### **“ATOTONILCO”**

### **TULA, HIDALGO**

## ÍNDICE

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 1.     | INFORMACIÓN DE LA PTAR.....                                   | 683 |
| 1.1.   | Datos generales.....  | 683 |
| 1.2.   | Ubicación.....  | 684 |
| 1.3.   | Descripción del proceso.....                                  | 685 |
| 2.     | REVISIÓN DOCUMENTAL.....                                      | 690 |
| 2.1.   | Planos.....   | 690 |
| 2.2.   | Permiso de descarga.....                                      | 690 |
| 2.3.   | Análisis de la memoria de cálculo.....                        | 696 |
| 2.4.   | Análisis de la información histórica de calidad del agua..... | 698 |
| 2.4.1. | Caudal.....   | 698 |
| 2.4.2. | Coliformes fecales (CF).....                                  | 700 |
| 2.4.3. | Cloro residual.....   | 700 |
| 2.4.4. | Grasas y Aceites.....   | 701 |
| 2.4.5. | Sólidos suspendidos totales (SST).....                        | 702 |
| 2.4.6. | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....                      | 703 |
| 2.4.7. | Nitrógeno Total (NT).....                                     | 704 |
| 2.4.8. | Fósforo Total (PT).....                                       | 706 |
| 2.5.   | Análisis de la información del Proceso.....                   | 707 |
| 2.5.1. | Análisis rutinarios.....                                      | 707 |
| 2.5.2. | Manual de operación.....                                      | 707 |
| 2.5.3. | Reportes de operación (bitácoras).....                        | 707 |
| 2.5.4. | Mantenimiento.....  | 708 |
| 3.     | ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR.....              | 710 |
| 3.1.   | Descripción de las unidades de proceso.....                   | 710 |
| 3.2.   | Estado físico de las instalaciones.....                       | 718 |
| 3.2.1. | Equipos electromecánicos.....                                 | 725 |
| 3.3.   | Muestreo y calidad del agua residual.....                     | 726 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.3.1. | Resultados del muestreo compuesto.....               | 731 |
| 3.3.2. | Determinaciones de campo.....                        | 739 |
| 3.3.3. | Influencia industrial .....                          | 754 |
| 4.     | DIAGNOSTICO DE PERSONAL.....                         | 755 |
| 4.1.   | Recursos Humanos .....                               | 755 |
| 4.2.   | Evaluación de conocimientos.....                     | 756 |
| 4.3.   | Capacitación.....                                    | 757 |
| 4.3.1. | Cursos de capacitación recibidos.....                | 757 |
| 4.3.2. | Temas de capacitación solicitados.....               | 758 |
| 4.3.3. | Material didáctico entregado.....                    | 759 |
| 5.     | SEGURIDAD E HIGIENE.....                             | 772 |
| 6.     | LABORATORIO .....                                    | 777 |
| 7.     | CAUSAS QUE LIMITAN EL Desempeño de la PTAR.....      | 780 |
| 7.1.   | Causas .....   | 780 |
| 7.2.   | Descripción de la causa y recomendaciones .....      | 781 |
| 7.2.1. | Nivel I.....   | 781 |
| 7.2.2. | Nivel II .....                                       | 782 |
| 8.     | RESUMEN .....  | 783 |
| 9.     | CONCLUSIONES .....                                   | 787 |
|        | ANEXO A. PLANTILLA DE PERSONAL PTAR ATOTONILCO ..... | 789 |

## TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1. Datos generales.....  | 683 |
| Tabla 2. Ubicación y contacto.....   | 684 |
| Tabla 3. Calidad del Agua Tratada de acuerdo con el CPS.....   | 693 |
| Tabla 4. Memorias de cálculo de la PTAR Atotonilco.....  | 696 |
| Tabla 5. Caudal tratado por año.....   | 699 |
| Tabla 6. Sólidos suspendidos totales por año.....  | 702 |
| Tabla 7. Demanda bioquímica de oxígeno promedio por año.....   | 703 |
| Tabla 8. Nitrógeno Total por año.....  | 705 |
| Tabla 9. Fósforo Total por año.....  | 706 |
| Tabla 10. Parámetros y sitio de muestreo en la PTAR Atotonilco.....  | 727 |
| Tabla 11. Resultados de laboratorio de muestra compuesta.....  | 734 |
| Tabla 12. Concentraciones de metales pesados y cianuros en el agua residual tratada en la PTAR Atotonilco..... | 737 |
| Tabla 13. Características de las pruebas de sedimentación.....   | 743 |
| Tabla 14. Índice volumétrico de lodos.....   | 744 |
| Tabla 15. Relación SSV/SST.....  | 746 |
| Tabla 16. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR...                                    | 780 |

## FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1. Caudales de la PTAR Atotonilco .....  | 683 |
| Figura 2. Arreglo general de la PTAR Atotonilco .....                                     | 686 |
| Figura 3. Tren de tratamiento de la PTAR Atotonilco.....                                  | 687 |
| Figura 4. Ubicación de puntos de aforo y de compuertas de la PTAR Atotonilco .....        | 689 |
| Figura 5. Respuesta a solicitud de permiso de descarga.....                               | 691 |
| Figura 6. Ubicación de las descargas de la PTAR Atotonilco .....                          | 696 |
| Figura 7. Capacidad de tratamiento de la PTAR Atotonilco.....                             | 699 |
| Figura 8. Capacidad de los procesos de la PTAR Atotonilco.....                            | 699 |
| Figura 9. Tendencia de Coliformes fecales .....   | 700 |
| Figura 10. Tendencia de Coliformes fecales.....   | 701 |
| Figura 11. Tendencia de grasas y aceites .....  | 702 |
| Figura 12. Tendencia de sólidos suspendidos totales .....                                 | 703 |
| Figura 13. Tendencia de la demanda bioquímica de oxígeno.....                             | 704 |
| Figura 14. Tendencia de nitrógeno total .....   | 705 |
| Figura 15. Tendencia de fósforo total del efluente.....                                   | 706 |
| Figura 16. Ejemplo de la bitácora de operación y mantenimiento de la PTAR Atotonilco..... | 708 |
| Figura 17. Influyente a la PTAR Atotonilco a través de TEC y TEO.....                     | 710 |
| Figura 18. Canal de entrada, rejillas de desbaste y cuchara tipo almeja .....             | 711 |
| Figura 19. Compuertas de entrada de los canales .....                                     | 711 |
| Figura 20. Rejillas gruesas automatizadas.....  | 712 |
| Figura 21. Rejillas finas automatizadas .....   | 712 |
| Figura 22. Compactador de basuras .....   | 712 |
| Figura 23. Desarenadores .....  | 713 |
| Figura 24. Clasificadores de arenas .....   | 713 |
| Figura 25. Sedimentador primario .....  | 714 |
| Figura 26. Reactor biológico - proceso de lodos activados.....                            | 715 |
| Figura 27. Sedimentadores secundarios .....   | 715 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 28. Tanque de cloración .....   | 716 |
| Figura 29. Ubicación de los tanques de cloración del TPC.....                  | 716 |
| Figura 30. Tanques de almacenamiento de cloruro férrico.....                   | 717 |
| Figura 31. Sedimentadores.....   | 717 |
| Figura 32. Bombeo del efluente del TPQ al canal El Salto Tlamaco .....         | 718 |
| Figura 33. Canal de entrada, rejillas de desbaste y cuchara tipo almeja.....   | 719 |
| Figura 34. Compuertas de entrada de los canales .....                          | 719 |
| Figura 35. Rejillas gruesas automatizadas dañadas y fuera de servicio.....     | 720 |
| Figura 36. Rejillas finas automatizadas fuera de operación.....                | 721 |
| Figura 37. Compactador de basuras .....  | 721 |
| Figura 38. Desarenadores en mal estado.....                                    | 722 |
| Figura 39. Clasificadores de arenas.....                                       | 723 |
| Figura 40. Módulo de placas inclinadas .....                                   | 724 |
| Figura 41. Motor del sedimentador secundario con óxido.....                    | 725 |
| Figura 42. Puntos de muestreo en PTAR Atotonilco.....                          | 730 |
| Figura 43. Parámetros de campo de muestra compuesta .....                      | 732 |
| Figura 44. Parámetros microbiológicos de muestra compuesta .....               | 733 |
| Figura 45. Toxicidad aguda de muestra compuesta .....                          | 739 |
| Figura 46. Medición del oxígeno disuelto y pH en los reactores biológicos .... | 739 |
| Figura 47. Perfil de pH.....   | 740 |
| Figura 48. Perfil de OD.....   | 741 |
| Figura 49. Pruebas de sedimentación .....                                      | 742 |
| Figura 50. Fotografía de las pruebas de sedimentación.....                     | 744 |
| Figura 51. Volumen de lodo final, SST e IVL.....                               | 746 |
| Figura 52. Medición de mantos de lodos en los sedimentadores secundarios ..... | 748 |
| Figura 53. Manto de lodos de los sedimentadores 301, 302 y 303 .....           | 748 |
| Figura 54. Lodos flotantes en el sedimentador 302-031.....                     | 749 |
| Figura 55. Manto de lodos de los sedimentadores 304, 305 y 306.....            | 749 |
| Figura 56. Manto de lodos de los sedimentadores 307, 308 y 309.....            | 750 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 57. Lodo biológico flotado sobre los sedimentadores secundarios.....  | 750 |
| Figura 58. Manto de lodos de los sedimentadores 310, 311 y 312 .....   | 751 |
| Figura 59. Manto de lodos de los sedimentadores 313, 314 y 315.....  | 751 |
| Figura 60. Manto de lodos de los sedimentadores 316, 317 y 318 .....   | 752 |
| Figura 61. Manto de lodos de los sedimentadores 319, 320 y 321 .....   | 752 |
| Figura 62. Manto de lodos de los sedimentadores 322, 323 y 324.....  | 753 |
| Figura 63. Esquema del manto de lodos en el sedimentador secundario 317-041.<br>.....  | 753 |
| Figura 64. Portada de los manuales.....  | 760 |
| Figura 65. Infografías.....  | 765 |
| Figura 66. Manual de ejercicios prácticos.....   | 766 |
| Figura 67. Kit de figuras.....   | 771 |
| Figura 68. Entrega de material didáctico.....  | 771 |
| Figura 69. Señales de seguridad e higiene .....  | 773 |
| Figura 70. Señales de las áreas para el uso obligatorio del equipo de protección<br>personal.....  | 773 |
| Figura 71. Señales de aplicación del código de colores, señalización y la<br>identificación en las tuberías.....   | 773 |
| Figura 72. Señales de identificación de los depósitos, recipientes y áreas que<br>contengan sustancias químicas peligrosas o los residuos de éstas ..... | 773 |
| Figura 73. Señales de las rutas de evacuación.....   | 774 |
| Figura 74. Señales de control de velocidad y zonas de peligro .....  | 774 |
| Figura 75. Señales de la ubicación de los extintores.....  | 774 |
| Figura 76. Señales de la ubicación de los lavaojos .....   | 775 |
| Figura 77. Médico de planta y paramédico.....  | 775 |
| Figura 78. Esquema de vacunación de trabajadores.....  | 776 |
| Figura 79. Disposición de guantes y mascarillas.....   | 776 |
| Figura 80. Laboratorio de control de proceso de la PTAR Atotonilco.....  | 777 |
| Figura 81. Manual de limpieza del material común de laboratorio y área<br>exclusiva para recepción de muestras .....                                     | 778 |
| Figura 82. Reglamento del laboratorio, manuales de análisis y de equipo.....   | 779 |



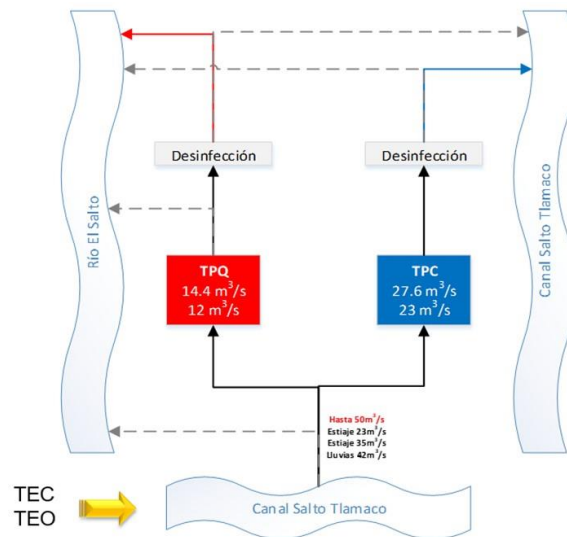
## 17. INFORMACIÓN DE LA PTAR

### 17.1. Datos generales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Atotonilco”, (PTAR “Atotonilco”) recibe el 60% de las aguas residuales que se generan en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), con un caudal de promedio de 35 m<sup>3</sup>/s. La obra inició su construcción en octubre de 2010 y terminó en mayo de 2017, teniendo como fecha de inicio de operaciones diciembre de 2017.

La planta recibe los caudales del Túnel Emisor Oriente (TEO) y el Túnel Emisor Central (TEC), los cuales se mezclan en un canal denominado “de liga”. La planta se encuentra conformada por dos trenes de tratamiento para la línea de agua, el TPQ (Tratamiento Proceso Químico) y el TPC (Tratamiento Proceso Convencional).

El TPC (lodos activados) tiene una capacidad de tratamiento de 23 m<sup>3</sup>/s y un tren de procesos químicos (primario avanzado) con una capacidad adicional de 12 m<sup>3</sup> /s, para la depuración en temporada de lluvia. La planta puede recibir hasta 50 m<sup>3</sup>/s, hasta por 4 horas, en el período de lluvias (mayo-octubre) se tratan en promedio 42 m<sup>3</sup>/s (Figura 318).



**Figura 318. Caudales de la PTAR Atotonilco**

En la Tabla 1 se presentan algunos datos generales de la planta.

**Tabla 129. Datos generales**

|                        |
|------------------------|
| <b>Datos generales</b> |
|------------------------|

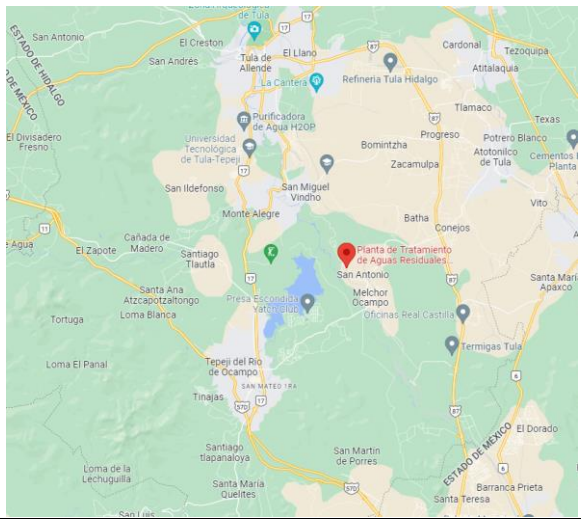
|   |                                    |                     |   |
|---|------------------------------------|---------------------|---|
| Año de construcción                       | <b>Octubre 2010-<br/>Mayo 2017</b> | Inicio de operación | <b>Diciembre 2017</b>   |
| Municipios de los cuales recibe descargas | <b>ZMVM</b>                        | Población servida   | <b>&gt;10.5 millones</b>  |
| Actualización más reciente                | <b>Ninguna</b>                     | Tipo de tratamiento | <b>Tren de tratamiento de agua químico (TPQ): Primario avanzado<br/>Tren de tratamiento de agua convencional (TPC): Lodos activados</b> |
| Gasto de diseño                           | <b>35,000 L/s</b>                  | Gasto de operación  | <b>Estiaje: 23,000 L/s<br/>Lluvia: 35,000 L/s</b>   |

## 17.2. Ubicación

La PTAR “Atotonilco” se encuentra ubicada en el municipio de Atotonilco de Tula, Hidalgo, y ocupa aproximadamente 161 hectáreas. La planta es operada por el consorcio Aguas Tratadas del Valle de México (ATVM) y se encuentra a cargo del Ing. Antonio Atienzar España, director general de Consorcio Operador Atotonilco (COA). En la Tabla 2 se muestran los datos de ubicación y contacto de la PTAR.

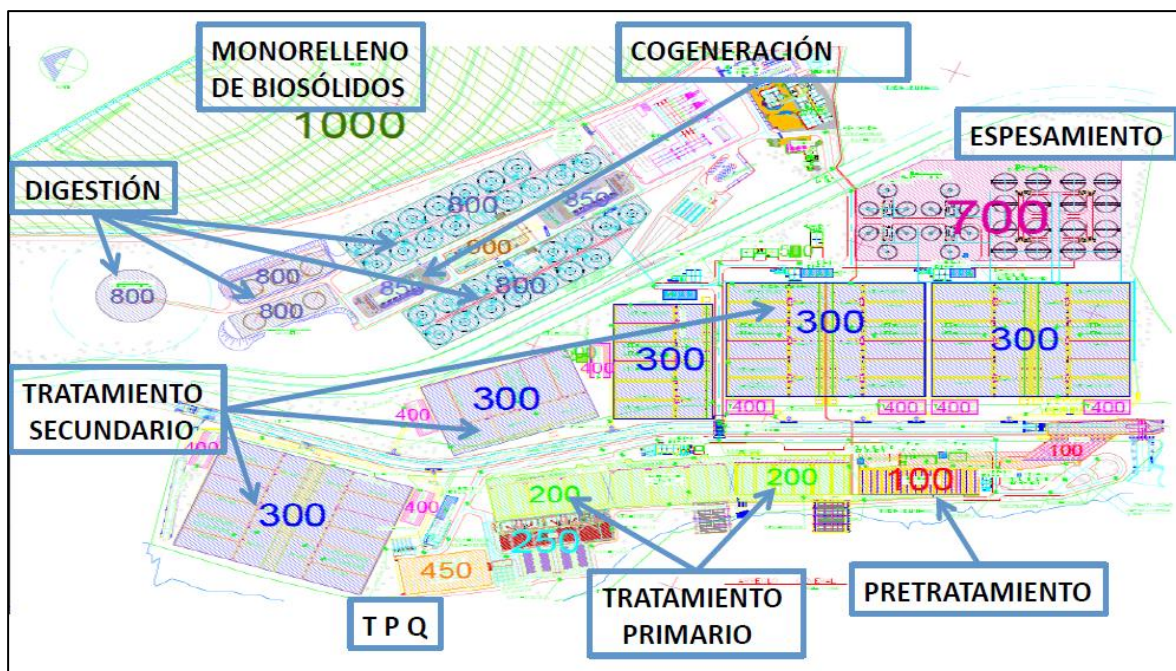
**Tabla 130. Ubicación y contacto**

| <b>Ubicación</b>   |   |                   |
|--------------------|---|-------------------|
| Nombre de la PTAR  | <b>Atotonilco</b>                             | Mapa de ubicación |
| Calle y número     | <b>NA</b>                                     |                   |
| Colonia y C.P.     | <b>42992</b>                                  |                   |
| Municipio y estado | <b>Atotonilco de Tula, Hgo.</b>               |                   |
| Coordenadas        | <b>Lat.19°57'30"N,<br/>Long. -99°17'40" O</b> |                   |

| <b>Ubicación</b>   |                                     |  |  |
|--------------------|-------------------------------------|--|--|
|                    |                                     |  |  |
| <b>Contacto</b>    |                                     |  |  |
| Nombre             | <b>Ing. Antonio Atienzar España</b> | Puesto   | <b>Director General de Consorcio Operador Atotonilco (COA)</b> |
| Correo electrónico | <b>anatienszar@acciona.com</b>      | Teléfono   | <b>778 735 9500</b>  |

### 17.3. Descripción del proceso

La PTAR Atotonilco trata aproximadamente el 60% de las aguas residuales originadas en la Zona Metropolitana del Valle de México. El agua residual llega a través del Túnel Emisor Central (TEC) y del Túnel Emisor Oriente (TEO) e ingresa a través de diez canales al pretratamiento. En la Figura 1 se presenta el arreglo general de la planta.



**Figura 319. Arreglo general de la PTAR Atotonilco**

El pretratamiento (Área 100) está conformado por 10 unidades de rejillas de desbaste de barras paralelas, con una separación entre barras de 12 cm, 10 unidades de rejillas automatizadas gruesas ( $\geq 25$  y  $< 76$  mm), seguidas de 20 unidades de rejillas automatizadas finas ( $\geq 6$  y  $< 35$  mm) y 16 unidades de desarenador ( $< 0.2$  mm). Después del desarenador el agua es enviada a los sistemas de tratamiento TPC y TPQ.

**El tratamiento primario (TP - Área 200)** está conformado por 18 sedimentadores primarios que son alimentados por el agua proveniente de los desarenadores, la cual se mezcla con el agua proveniente de los lixiviados de la deshidratación de los lodos residuales tratados. El efluente de los sedimentadores primarios es enviado a 24 unidades de lodos activados (TPC - Área 300), los cuales están agrupados en módulos de tres, conformando de esta manera ocho módulos de reactores aerobios que trabajan con un TRH de 2.6 a 3.1 h. La edad de los lodos varía de 1.7 a 2.9 d. Cada reactor biológico cuenta con un sedimentador secundario asociado. El efluente de cada bloque de reactores es enviado a un sistema de cámaras de contacto de cloro conformado por 16 unidades (dos por cada bloque de reactores) que cuenta con un tiempo de contacto de 30 min (Área 400).

El TPQ (Área 250) está conformado por cinco líneas de mezcla-floculación-sedimentación que operan con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 25.3 a 29.9 min. Para la floculación se adiciona cloruro férrico. Después de la





**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



El efluente tratado es enviado al Canal Salto Tlamaco, para ser aprovechado en las zonas de riego del Valle del Mezquital y el río Tula.

En la Figura 321 se presenta la ubicación de los puntos de aforo y de compuertas de la PTAR Atotonilco.





**Figura 321. Ubicación de puntos de aforo y de compuertas de la PTAR Atotonilco**

## 18. REVISIÓN DOCUMENTAL

Se recopilaron ocho carpetas de información (102 archivos con un tamaño de 140 MB) relacionados a la PTAR:

1. Planos
2. Memorias de cálculo
3. Manual de operación y mantenimiento
4. Bitácoras de operación y mantenimiento
5. Manuales
6. Programa de mantenimiento
7. Datos mensuales de calidad del agua
8. Históricos de calidad del agua

Los archivos en comentario se pueden consultar en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1NB4sIScbxOUKcQq5xuhOZKnRhAtJ4aLu?usp=sharing> y serán entregados en memoria extraíble al término del proyecto.

### 18.1. Planos

Los planos corresponden a planos generales, funcionales, arquitectónicos e hidráulicos de la PTAR “Atotonilco”.

### 18.2. Permiso de descarga

La PTAR Atotonilco no cuenta con permiso de descarga. Este fue solicitado por el operador (Aguas Tratadas del Valle de México, S.A. de C.V., ATVM) a la Dirección Local Hidalgo, Subdirección de Administración del Agua, Departamento de Atención a Usuarios de la Comisión Nacional del Agua. Esta última, en respuesta al oficio N° ATVM/CONAGUA/1408-2015 del 12 de marzo de 2015 y mediante el Oficio B00.912.01.-02917 del 13 de octubre de 2015, indica que: *“la persona moral denominada “Aguas Tratadas del Valle de México, S.A. de C.V.” no tiene la calidad de usuario, sino de prestador de servicios contratado por la CONAGUA, por lo que en opinión de esta Gerencia se considera que no es necesario el trámite y posterior otorgamiento de un permiso de descarga, para la planta de tratamiento de aguas residuales de Atotonilco, en razón de que como se ha señalado anteriormente, la persona moral denominada “Aguas Tratadas del Valle de México, S.A. de C.V.”, fue contratada por la CONAGUA, para la remediación de la Cuenca de la presa Endhó la cual forma parte el Río El Salto y al Canal El Salto–Tlamaco, de la Región Hidrológica Pánuco”* (Figura 322).

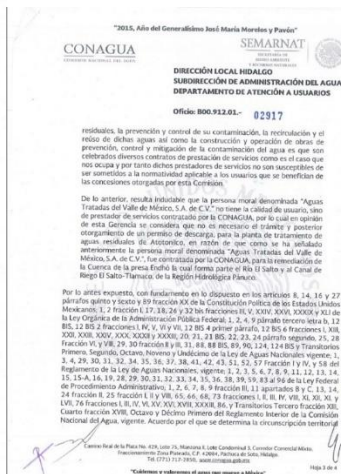
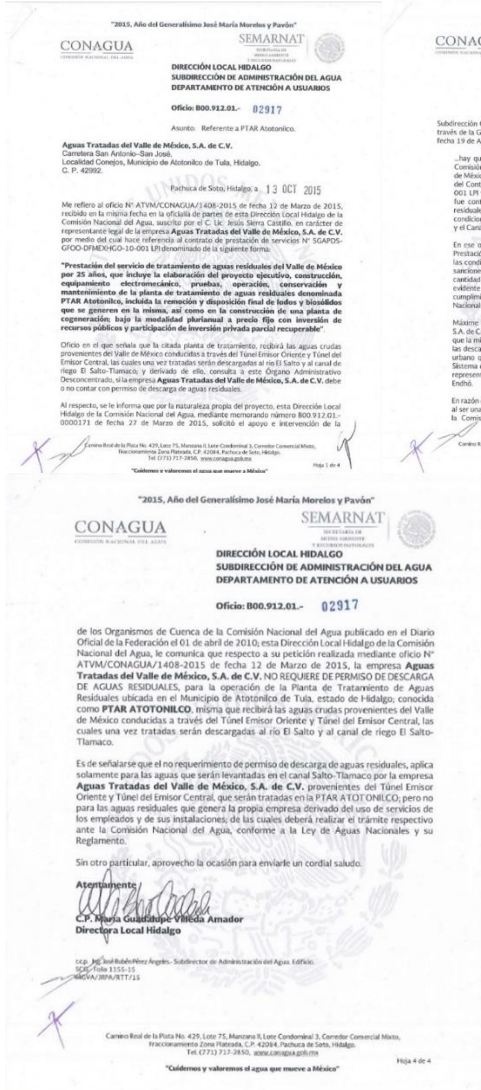


Figura 322. Respuesta a solicitud de permiso de descarga.

En este contexto, los límites máximos permisibles de descarga se establecen en el Contrato de Prestación de Servicios (CPS) número SGAPDS-GFOO-DFMEXHGO-10-001-LPI (anexo 9). En este documento se precisan los requisitos de cumplimiento de calidad del agua tratada (efluentes del TPC y del TPQ), los cuales se presentan en la Tabla 131. En esta tabla se integran los parámetros y límites de la NOM-001-SEMARNAT-1996 (Suelo - uso en riego agrícola, A) y de la NOM-001-SEMARNAT-2021 (Suelo - Infiltración y otros riegos).



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



Asimismo, en el CPS se presentan las sanciones en caso de incumplimiento en la calidad y cantidad de las aguas por parte de la empresa que presta el servicio.

**Tabla 131. Calidad del Agua Tratada de acuerdo con el CPS**

| Parámetro         | Unidades | NOM-001-SEMARNAT-1996 |        | NOM-001-SEMARNAT-2021 |       | Calidad del agua tratada (CPS) |            |             |            |             |            |             |            |
|-------------------|----------|-----------------------|--------|-----------------------|-------|--------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|                   |          | PM                    | PD     | PM                    | PD    | TPC Estiaje                    |            | TPC Lluvias |            | TPQ Estiaje |            | TPQ Lluvias |            |
|                   |          |                       |        |                       |       | PM                             | PD         | PM          | PD         | PE          | PMD        | PE          | PMD        |
| pH                | UpH      | 5 - 10                | 5 - 10 | 6 - 9                 | 6 - 9 | 5-10                           | 5-10       | 5-10        | 5-10       | 5-10        | 5-10       | 5-10        | 5-10       |
| Temp.             | °C       | NA                    | NA     | 35                    | 35    | CN+<br>1.5                     | CN+<br>1.5 | CN+<br>1.5  | CN+<br>1.5 | CN+<br>2.5  | CN+<br>2.5 | CN+<br>2.5  | CN+<br>2.5 |
| G y A             | mg/L     | 15                    | 25     | 15                    | 18    | 15                             | 25         | 15          | 25         | 15          | 25         | 15          | 25         |
| Material Flotante |          | A                     | A      | NA                    | NA    | A                              | A          | A           | A          | A           | A          | A           | A          |
| S. Sed.           | ml/L     | NA                    | NA     | NA                    | NA    | 1                              | 2          | 1           | 2          | 1           | 2          | 1           | 2          |
| SST               | mg/L     | NA                    | NA     | 100                   | 120   | 40                             | 60         | 70          | 105        | 45          | 90         | 75          | 150        |
| DBO               | mg/L     | NA                    | NA     | NA                    | NA    | 30                             | 60         | 35          | 60         | ND          | ND         | ND          | 60         |
| NT                | mg/L     | NA                    | NA     | NA                    | NA    |                                |            |             |            |             |            |             |            |
| PT                | mg/L     | NA                    | NA     | NA                    | NA    |                                |            |             |            |             |            |             |            |
| As                | mg/L     | 0.2                   | 0.4    | 0.1                   | 0.15  | 0.2                            | 0.4        | 0.2         | 0.4        |             |            |             |            |
| Cd                | mg/L     | 0.05                  | 0.1    | 0.1                   | 0.15  | 0.05                           | 0.10       | 0.05        | 0.10       |             |            |             |            |
| CN                | mg/L     | 2.0                   | 3.0    | 1.0                   | 1.50  | 2.0                            | 3.0        | 2.0         | 3.0        |             |            |             |            |
| Cu                | mg/L     | 4.0                   | 6.0    | 4.0                   | 5.0   | 4.0                            | 6.0        | 4.0         | 6.0        |             |            |             |            |
| Cr                | mg/L     | 0.5                   | 1.0    | 0.5                   | 0.75  | 0.5                            | 1.0        | 0.5         | 1.0        |             |            |             |            |
| Hg                | mg/L     | 0.005                 | 0.01   | 0.005                 | 0.008 | 0.005                          | 0.01       | 0.005       | 0.01       |             |            |             |            |
| Ni                | mg/L     | 2.0                   | 4.0    | 2.0                   | 3.0   | 2                              | 4          | 2           | 4          |             |            |             |            |
| Pb                | mg/L     | 5.0                   | 10.0   | 0.2                   | 0.3   | 0.5                            | 1.0        | 0.5         | 1.0        |             |            |             |            |

| Parámetro            | Unidades      | NOM-001-SEMARNAT-1996 |      | NOM-001-SEMARNAT-2021                  |      | Calidad del agua tratada (CPS) |      |             |      |             |      |             |      |
|----------------------|---------------|-----------------------|------|--|------|--------------------------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|
|                      |               |                       |      |  |      | TPC Estiaje                    |      | TPC Lluvias |      | TPQ Estiaje |      | TPQ Lluvias |      |
|                      |               | PM                    | PD   | PM                                     | PD   | PM                             | PD   | PM          | PD   | PE          | PMD  | PE          | PMD  |
| Zn                   | mg/L          | 10.0                  | 20.0 | 10                                     | 15.0 | 10                             | 20   | 10          | 20   |             |      |             |      |
| CF                   | NMP/100 ml    | 1000                  | 2000 |  |      | 1000                           | 2000 | 1000        | 2000 | 1000        | 2000 | 1000        | 2000 |
| HH                   | H/L           | 1                     | 1    | 1                                      | 1    | 1.0                            | 3.0  | 1.0         | 3.0  | 1.0         | 3.0  | 1.0         | 3.0  |
| Cloro residual libre | mg/L          |                       |      |  |      | 0.5                            | 1    | 0.5         | 1    | 0.5         | 1.0  | 0.5         | 1.0  |
| DQO                  | mg/L          |                       |      | 150                                    | 180  |                                |      |             |      |             |      |             |      |
| COT                  | mg/L          |                       |      | 38                                     | 45   |                                |      |             |      |             |      |             |      |
| Escherichia coli     | NMP/100 ml    |                       |      | 250                                    | 500  |                                |      |             |      |             |      |             |      |
| Color                | Long. de onda |                       |      | Coeficiente absorción Espectral máximo |      |                                |      |             |      |             |      |             |      |
|                      |               |                       |      | 7.0 m <sup>-1</sup>                    |      |                                |      |             |      |             |      |             |      |
|                      |               |                       |      | 5.0 m <sup>-1</sup>                    |      |                                |      |             |      |             |      |             |      |
|                      |               |                       |      | 3.0 m <sup>-1</sup>                    |      |                                |      |             |      |             |      |             |      |

A: Ausente

TPQ: Tratamiento proceso químico

PM: Promedio mensual

TPC: Tratamiento proceso convencional

NA: No es aplicable

PD: Promedio diario



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



PE: Promedio estacional

PMD: Promedio máximo diario

CN: Condiciones naturales

Se tienen dos puntos de descarga: hacia el Río El Salto y al Canal El Salto – Tlamaco (Figura 323). Cabe recordar que una de las descargas procede del TPQ y la otra procede del TPC.



**Figura 323. Ubicación de las descargas de la PTAR Atotonilco**

### 18.3. Análisis de la memoria de cálculo

No se cuenta con la memoria de cálculo del proceso. En la documentación proporcionada se presenta el diseño de las bombas y solamente se desarrolla el cálculo de las rejillas automatizadas finas. En la Tabla 132 se presenta la relación de memorias de cálculo de bombas.

**Tabla 132. Memorias de cálculo de la PTAR Atotonilco**

| Área                               | Descripción  |
|------------------------------------|--|
| <b>(100) PRETRATAMIENTO</b>        |  |
| ID_0100_PR1_MC_0178_OA_RA-101-002  | Memoria de cálculo de rejilla fina automática                        |
| ID_0100_PR1_MC_0397_OA_BS-100-052  | Memoria de cálculo de bomba para agua de transporte de basuras finas |
| ID_0100_PR1_MC_0398_OA_BS-100-057  | Bomba para retorno de agua de transporte de basuras BS-100-057/058   |
| ID_0100_PR1_MC_0400_O_A_BS-137-001 | Memoria de cálculo de bomba para agua recuperada BS-137-001/002      |
| ID_0100_PR1_MC_0400_O_B_BS-137-001 | Memoria de cálculo de bomba para agua recuperada BS-137-001          |
| <b>(200) TPC</b>                   |  |
| ID_200_PR1_MC_0099_OA_BS_219-001   | Memoria de cálculo de bombas a reactores biológicos BS-219-001       |
| ID_200_PR1_MC_0100_OA_BP_220-001   | Bomba de purga de lodos primarios BP-220-001                         |



| Área                                | Descripción   |
|-------------------------------------|---|
| ID_200_PRI_MC_0101_OA_BS_226-001    | Bomba de lodos primarios BS-226-001   |
| ID_200_PRI_MC_0102_OA_BS_227-001    | Memoria de cálculo de bombas de bomba de natas BS-227-001   |
| ID_200_PRI_MC_0103_OA_BS_230-001    | Bomba de achique BS-230-001   |
| ID_250_PRI_MC_0021_1A               | Diseño y cálculo del equipo principal; Tren de Procesos Químicos  |
| <b>(300) TRATAMIENTO SECNDARIO</b>  |   |
| ID_300_PRI_MC_100_OB_BS-301-051     | Memoria de cálculo de bombas de recirculación de lodos secundarios BS 301 051   |
| <b>(400) DESINFECCIÓN</b>           |   |
| ID_0400_PRI_MC_0167_OB_ED-441-001   | Eductores y difusores de Cloro para TPC; ED-441 a 448 -001/002; DI-441 a 448-011  |
| ID_0400_PRI_MC_0169_OB_ED-450-001   | Eductores y difusores de cloro para TPQ; ED-450-001 a 006; DI-450-017   |
| ID_0400_PRI_MC_0183_OB_TA-411-003   | Columna de absorción sistema de emergencia de cloro; TA-411(431)-003<br>Almacén de sosa; TQ-411(431)-002<br>Bombas de recirculación de sosa; BC-411(431)-004/005<br>Ventilador de extracción; VC-411(431)-006/007 |
| ID_0400_PRI_MC_0196_OB_TQ-405-004   | Tanque de expansión de agua caliente; TQ-405-004,104  |
| ID_0400_PRI_MC_0197_OB_TQ-406-001   | Tanque colector de derrames de cloro líquido; TQ-406-001 y TQ-426-001   |
| ID_0400_PRI_MC_0198_OB_TQ-407-001   | Tanque amortiguador de desfuegos de cloro; TQ-407-001   |
| ID_0400_PRI_MC_0206_1A_TQ-441-004   | Tanques de contacto de cloro para TPC (TQ-441 a 448-004/005)  |
| ID_0400_PRI_MC_0213_O_A_MZE-412-005 | Mezclador Estático de Sosa 50% con Agua; MZE-412-005  |
| ID_0400_PRI_MC_0384_O_B_BC-405-005  | Bombas de recirculación de agua caliente BC-405-005/105   |
| ID_0400_PRI_MC_0385_1_A_BC-409-001  | Bomba de recirculación de hipoclorito BC-409-001/002  |
| ID_0400_PRI_MC_0410_O_B_BV-450-011  | Bombas para agua de ayuda a TPQ; BV-450-011/012   |
| ID_0400_PRI_MC_0412_O_B_CA-424-001  | Compresor de aire para servicio de instrumentación (equipo paquete):  |

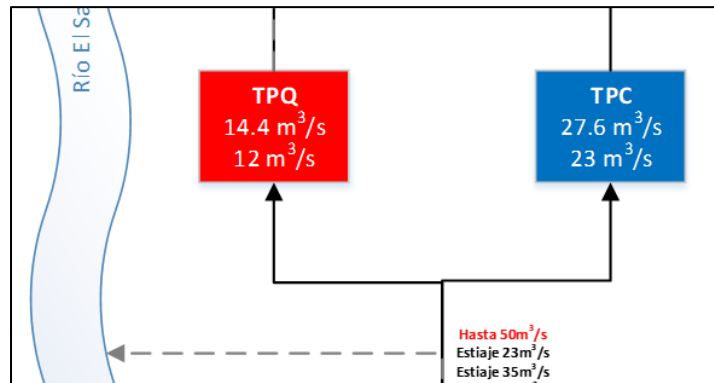
| Área                               | Descripción   |
|------------------------------------|---|
|                                    | CA-424-001/101, Tanque de Aire Húmedo (TQ-424-002/102),<br>Post enfriador de Aire (PEA-424-003/103), Secador de aire (SA-424-004/104)<br>Filtros de Succión (FAI-424-005/105), Post filtros (FAI-424-006/106, FAI404-007/107, FAI-424-008/108, FAI-424-011/012) |
| ID_0400_PRI_MC_0442_1_A_BC-412-002 | Memoria de cálculo de bomba de preparación de sosa diluida al 15% BC-412-002/003  |
| ID_0400_PRI_MC_0443_1_A_BC-412-004 | Memoria de cálculo de bomba de descarga pipas de sosa al 50% BC-412-004   |
| ID_0400_PRI_MC_0444_1_A_BC-412-008 | Bomba de trasiego de hipoclorito a TPC y TPQ BC-412-008,009   |
| ID_0400_PRI_MC_0445_0_A_BC-441-007 | Bomba para agua de ayuda a TPC BC-441(448)-007,008  |
| ID_0400_PRI_MC_0446_0_B_BS-441-014 | Bomba de achique para agua de lluvia BS-441(448)-014  |
| ID_0400_PRI_MC_0447_1_A_BV-412-011 | Memoria de cálculo de bomba de achique en dique de almacén de sosa e hipoclorito BV-412-011   |

#### 18.4. Análisis de la información histórica de calidad del agua

A continuación, se presentan los valores promedios para algunos parámetros contrastados con el Contrato de Prestación de Servicios.

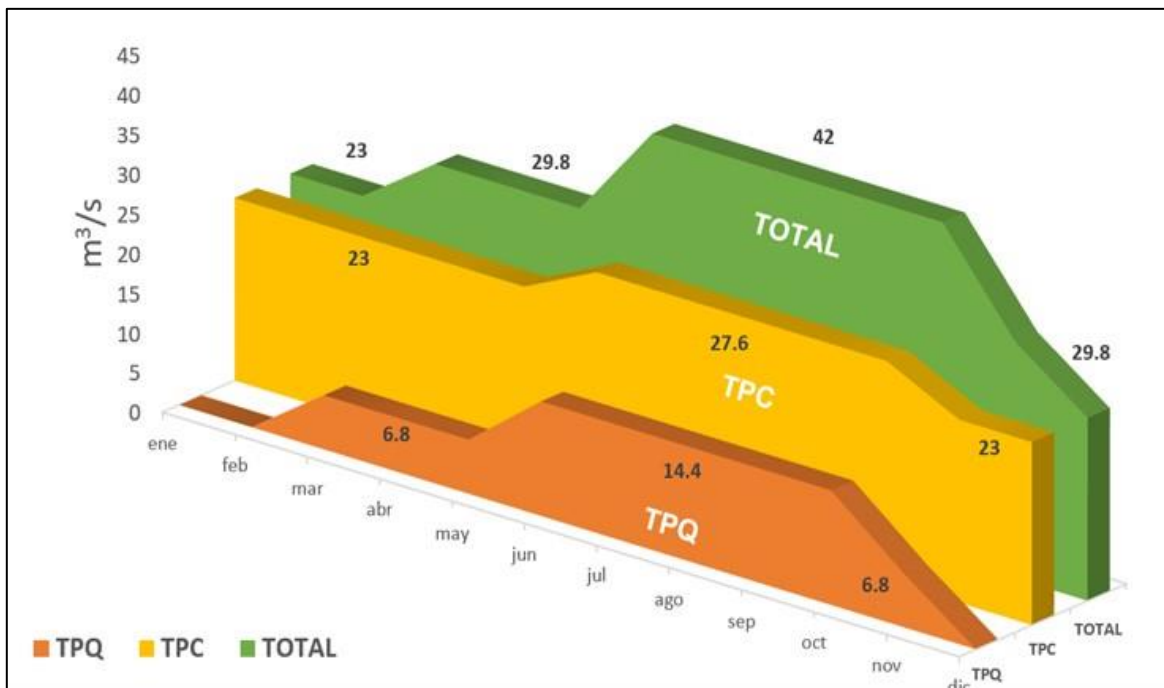
##### 18.4.1. Caudal

La capacidad nominal de diseño de la PTAR Atotonilco es de 35 m<sup>3</sup>/s. Si se considera solamente el TPC, en estiaje el caudal mínimo de tratamiento es de 23 m<sup>3</sup>/s, pero puede tratar hasta 27.6 m<sup>3</sup>/s (Figura 324).



**Figura 324. Capacidad de tratamiento de la PTAR Atotonilco**

Para el TPQ, el gasto de diseño es de  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ , pero puede tratar hasta  $14.4 \text{ m}^3/\text{s}$ . El gasto máximo de tratamiento, en época de lluvias, puede ser de hasta  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , por algunas horas (Figura 325).



TPC Proceso Biológico TPQ Proceso Químico  
**Figura 325. Capacidad de los procesos de la PTAR Atotonilco**

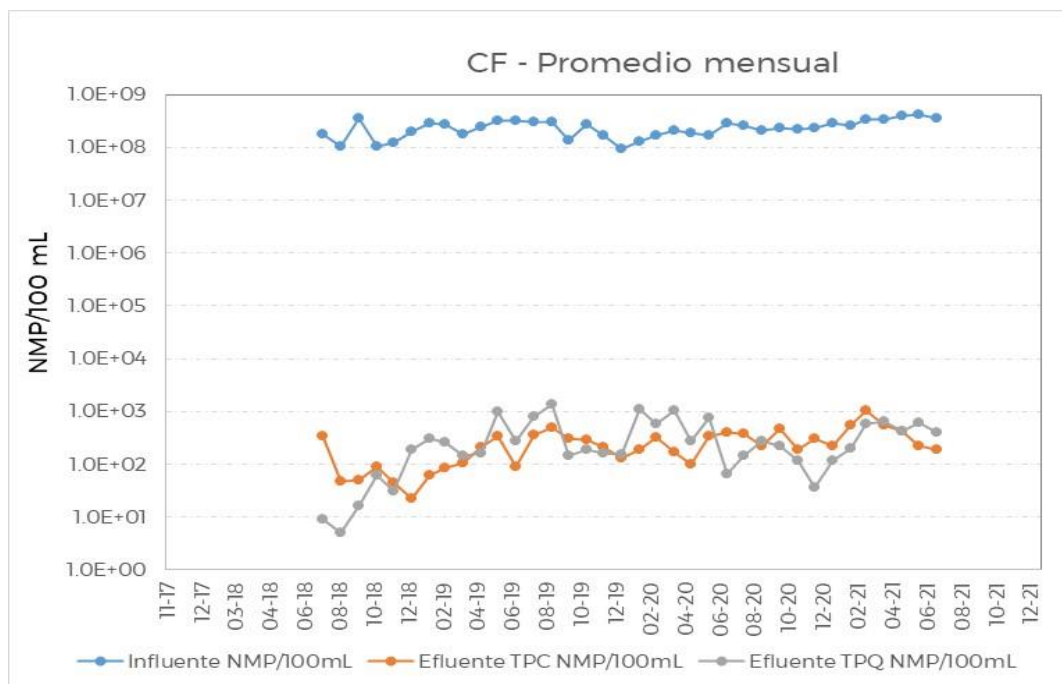
En la Tabla 133 se presentan los gastos promedios anuales para 2018, 2019 y 2020.

**Tabla 133. Caudal tratado por año**

| Año  | Caudal promedio (m <sup>3</sup> /s) |       |                          |              |              |
|------|-------------------------------------|-------|--------------------------|--------------|--------------|
|      | Influyente                          | %     | Efluente total (TPC+TPQ) | Efluente TPC | Efluente TPQ |
| 2018 | 26.9                                | 76.85 | 26.4                     | 20.3         | 6.0          |
| 2019 | 29.2                                | 83.43 | 28.5                     | 22.1         | 6.4          |
| 2020 | 31.2                                | 89.49 | 30.4                     | 23.0         | 7.4          |

### 18.4.2. Coliformes fecales (CF)

En la Figura 326 se puede observar que se remueven aproximadamente cinco unidades logarítmicas de CF en la PTAR Atotonilco, teniendo en el efluente concentraciones de CF menores a 1000 NMP/100 mL, lo cual permite cumplir la NOM-001-SEMARNAT-1996. En este contexto, se puede considerar que es muy factible que también se cumpla la NOM-001-SEMARNAT-2021, utilizando como indicador Escherichia coli.



**Figura 326. Tendencia de Coliformes fecales**

### 18.4.3. Cloro residual

En la Figura 327 se presenta la tendencia de cloro residual en el efluente del TPC y del TPQ. Los límites establecidos en el CPS indican que no se debe

exceder una concentración de 0.5 mg/L de cloro libre en el efluente (PM), lo cual se cumple, ya que la concentración máxima encontrada es de 0.24 y 0.36 mg/L de cloro residual en el efluente del TPC y del TPQ, respectivamente.

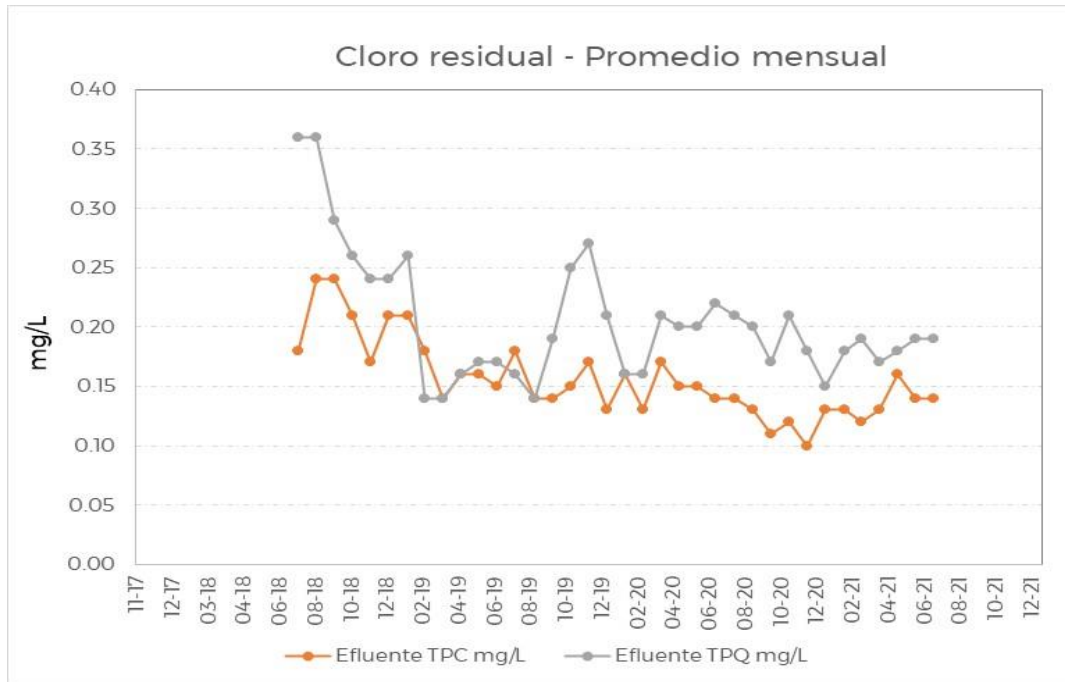


Figura 327. Tendencia de Coliformes fecales

#### 18.4.4. Grasas y Aceites

En la NOM-001-SEMARNAT-1996 y en la NOM-001-SEMARNAT-2021 se establece como límite máximo permisible para promedio mensual de grasas y aceites un valor de 15 mg/L y como se puede observar en la Figura 186, este valor es inferior en la mayoría de los monitoreos. Habitualmente la concentración máxima se encuentra por debajo de los 15 mg/L.

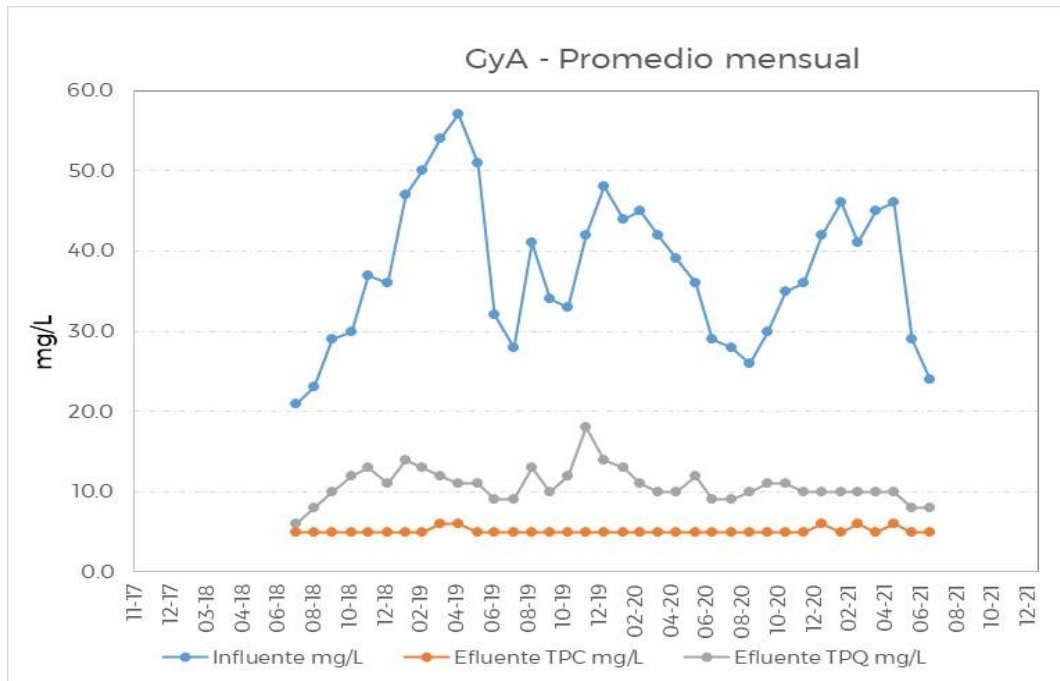


Figura 328. Tendencia de grasas y aceites

#### 18.4.5. Sólidos suspendidos totales (SST)

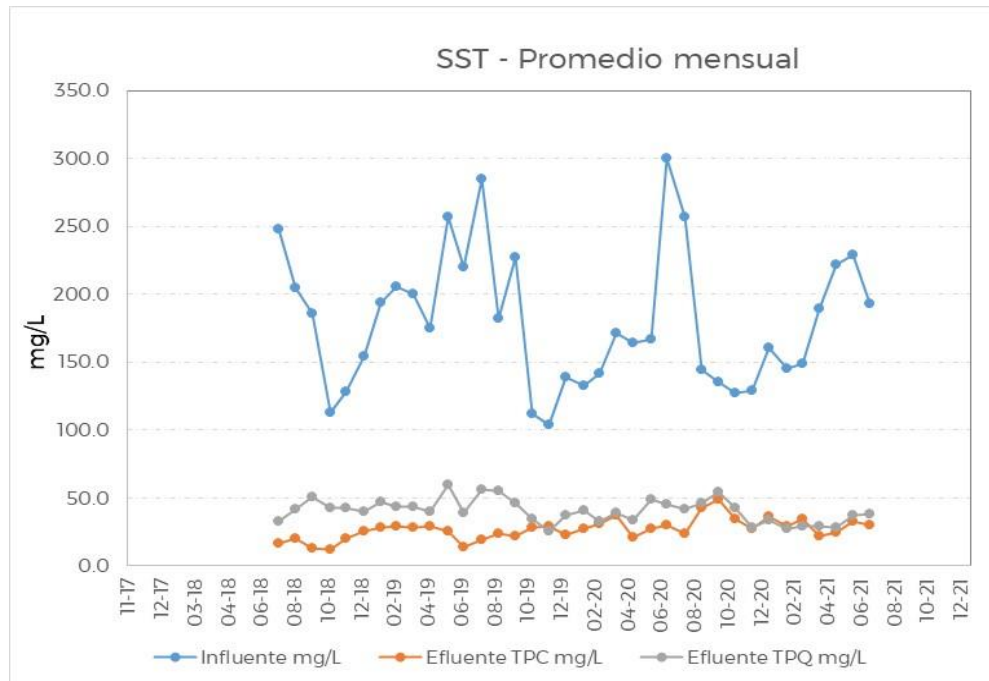
En la Tabla 73 se pueden observar los valores promedio de cada año de estudio de SST en los efluentes de la PTAR.

Tabla 134. Sólidos suspendidos totales por año

| Año  | SST (mg/L) |              |              |
|------|------------|--------------|--------------|
|      | Influente  | Efluente TPC | Efluente TPQ |
| 2018 | 176.00     | 16.40        | 42.40        |
| 2019 | 193.00     | 25.17        | 44.33        |
| 2020 | 167.33     | 31.17        | 40.92        |
| 2021 | 184.00     | 30.00        | 31.71        |

Los datos muestran una remoción promedio en un rango entre 81 a 91% para el TPC y entre 76 a 83% para el TPQ en los años evaluados. Estas concentraciones son menores a las señaladas en los límites de descarga de la PTAR, 40 y 70 mg/L promedio mensual en periodo de estiaje y lluvias respectivamente para el TPC; y 45 y 75 mg/L promedio mensual en periodo de estiaje y lluvias respectivamente para el TPQ.

Se observa que, a pesar de la variabilidad en la concentración de sólidos en el influente, el efluente del TPC y del TPQ se mantienen estables tanto en el periodo de lluvias como en el de estiaje (Figura 187). La concentración de SST en ambos efluentes cumple con la NOM-001-SEMARNAT-2021. No aplica para **la NOM-001-SEMARNAT-1996**.



**Figura 329. Tendencia de sólidos suspendidos totales**

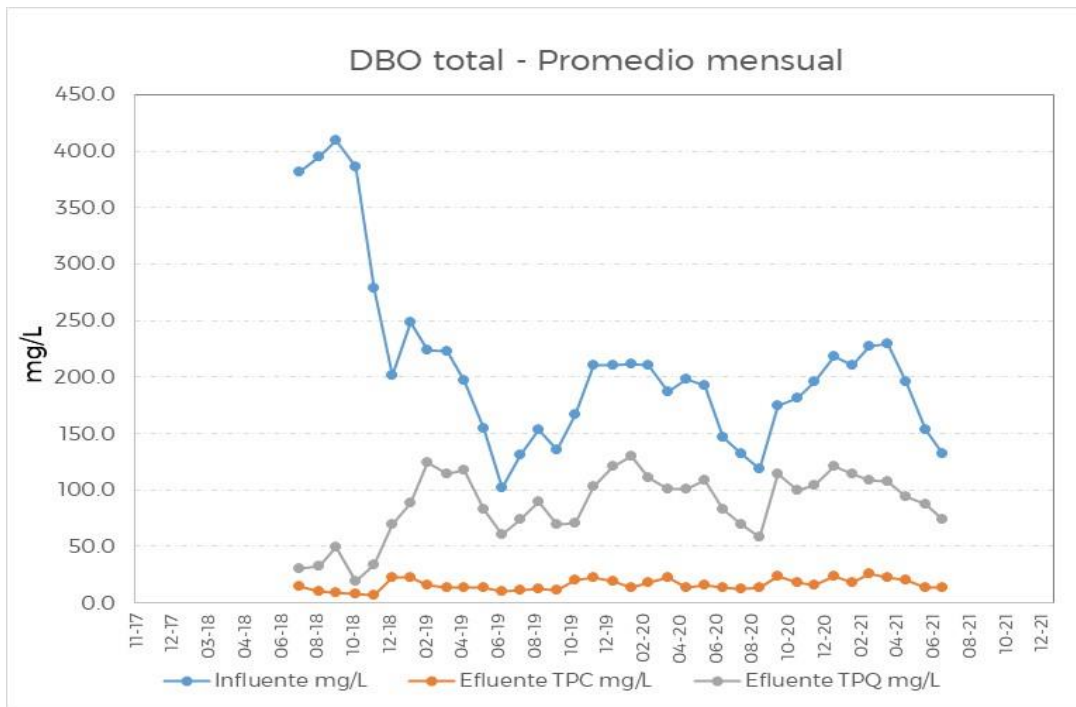
#### 18.4.6. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

En la Tabla 74 se pueden observar los valores promedio de cada año de estudio en el influente y efluente de los procesos en la PTAR Atotonilco.

**Tabla 135. Demanda bioquímica de oxígeno promedio por año**

| Año  | DBO (mg/L) |              |              |
|------|------------|--------------|--------------|
|      | Influente  | Efluente TPC | Efluente TPQ |
| 2018 | 370.20     | 9.80         | 33.00        |
| 2019 | 178.92     | 15.67        | 88.67        |
| 2020 | 180.00     | 16.58        | 100.08       |
| 2021 | 195.00     | 19.71        | 101.00       |

Estos datos muestran concentraciones de DBO en el influente de 200 mg/L, aproximadamente, en los últimos tres años. En el efluente del TPC, la concentración es menor de 20 mg/L, lo que representa remociones superiores al 90%. El efluente del TPQ, en el periodo 2019 a 2021, presentó remociones entre el 40 y 50% de DBO. En la Figura 188 se puede observar que el influente presenta variaciones, disminuyendo los valores de DBO en el periodo de lluvias, los cuales oscilan entre 100 y 250 mg/L. El efluente del TPC se mantiene estable con valores menores a 50 mg/L, mientras que el TPQ es más variable, con valores entre 50 y 125 mg/L. La DBO no tiene límites máximos permisibles en el CPS para el efluente del TPQ. No aplica este parámetro con respecto a la NOM-001-SEMARNAT-1996.



**Figura 330. Tendencia de la demanda bioquímica de oxígeno**

#### 18.4.7. Nitrógeno Total (NT)

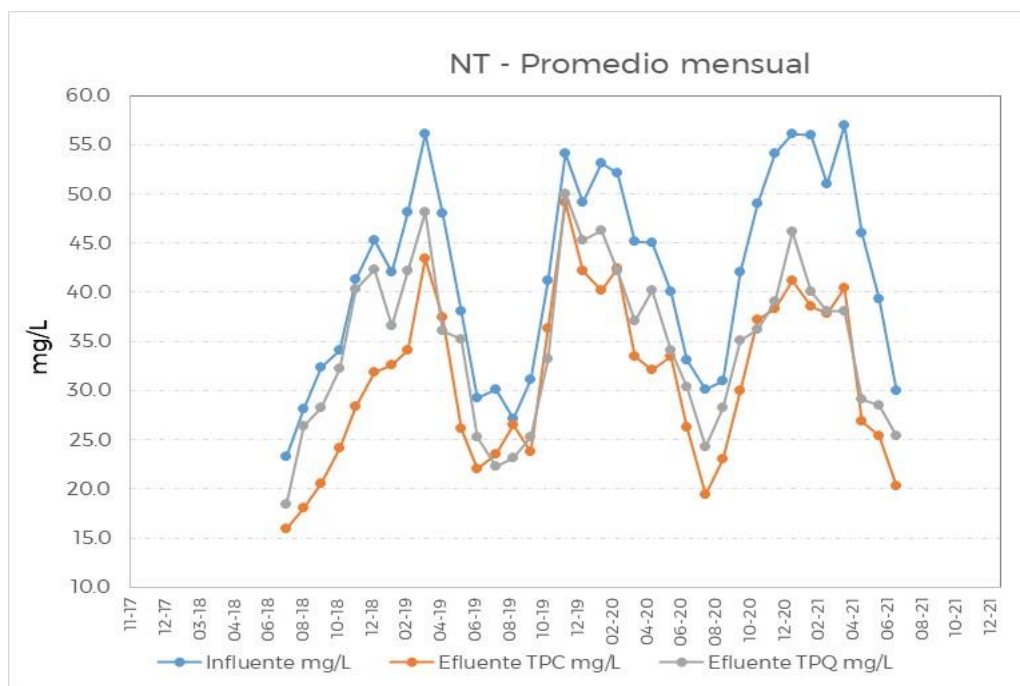
En la Tabla 75 se pueden observar los valores promedio de nitrógeno total de cada año de estudio. La concentración de nitrógeno en el influente se encuentra por arriba de los 40 mg/L, mientras que en el efluente tanto en el TPC como en el TPQ es superior a 30 mg/L, teniendo una remoción promedio para el TPC superior al 20% y para el TPQ superior al 14%. La remoción de NT es baja en los procesos. Debido a que se considera que se descarga a suelo para riego agrícola, este parámetro no aplica para el cumplimiento de normas.



**Tabla 136. Nitrógeno Total por año**

| Año  | NT (mg/L) |              |              |
|------|-----------|--------------|--------------|
|      | Influente | Efluente TPC | Efluente TPQ |
| 2018 | 31.78     | 21.43        | 29.15        |
| 2019 | 40.86     | 32.24        | 39.98        |
| 2020 | 43.67     | 33.16        | 36.53        |
| 2021 | 47.93     | 32.95        | 35.04        |

De los años estudiados, se observa la misma tendencia en la concentración de nitrógeno (Figura 189), ya que en época de lluvias disminuye la concentración y en periodo de estiaje se incrementa. Esta misma tendencia se presenta en el efluente del TPC y de TPQ.

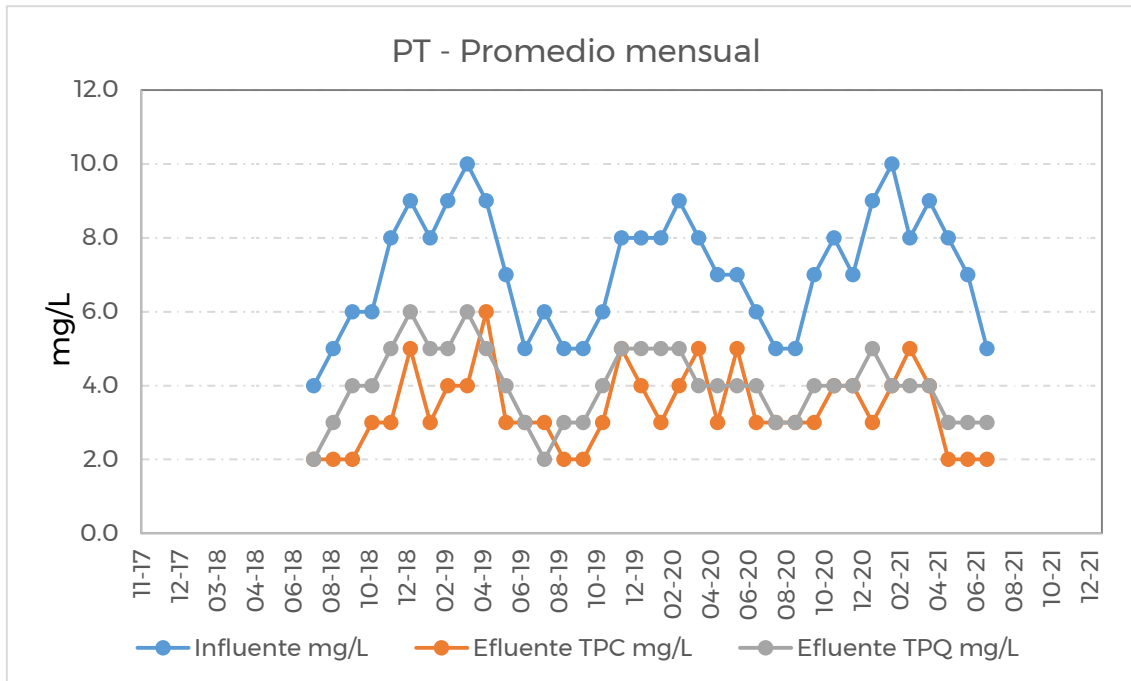


**Figura 331. Tendencia de nitrógeno total**

Por otra parte, la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021 establecen que no se reglamente la concentración de NT en suelo.

### 18.4.8. Fósforo Total (PT)

La Figura 190 muestra la variabilidad en la concentración de PT tanto en el influente como en los efluentes de la PTAR. Los valores en el influente oscilan entre 4 y 10 mg/L, siendo menores los obtenidos en la época de lluvias.



**Figura 332. Tendencia de fósforo total del efluente**

En la Tabla 76 se pueden observar los valores promedio de PT de cada año de estudio, tanto en el influente como en los efluentes de la PTAR. Se puede apreciar que, en general, la concentración de PT en el influente es baja y existe una remoción de PT en ambos sistemas de tratamiento, en un intervalo de 48 al 61% para el TPC y del 38 al 54% para el TPQ.

**Tabla 137. Fósforo Total por año**

| Año  | PT (mg/L) |              |              |
|------|-----------|--------------|--------------|
|      | Influente | Efluente TPC | Efluente TPQ |
| 2018 | 5.80      | 2.40         | 3.60         |
| 2019 | 7.25      | 3.58         | 4.25         |
| 2020 | 7.08      | 3.67         | 4.08         |
| 2021 | 8.00      | 3.14         | 3.71         |

## **18.5. Análisis de la información del Proceso**

### **18.5.1. Análisis rutinarios**

Actualmente la PTAR cuenta con un laboratorio equipado en el que se realizan los siguientes análisis:

- Diarios: temperatura, pH, SST, SSV, DBO total, DBO soluble, Coliformes fecales, huevos de helminto, grasas y aceites.
- Semanales: Alcalinidad total, NTK, nitrógeno amoniacal,  $\text{NO}_2+\text{NO}_3$  (como N), fósforo total, sulfuros, sulfatos.
- Quincenales: arsénico, cadmio, cianuros, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc.

Asimismo, se realizan análisis diarios del control de proceso de lodos activados: IVL, pruebas de sedimentabilidad, medición de OD, manto de lodos, pH, entre otros.

### **18.5.2. Manual de operación**

El consorcio operador proporcionó el manual de operación de la PTAR en el que se detalla la forma de operación de cada una de las unidades que componen el tren de tratamiento, además de los problemas operativos por equipos y por proceso y sus posibles soluciones. El manual cuenta con procedimientos de laboratorio, muestreo, análisis, formatos para todas las áreas, sistemas de gestión de la información, software que se utiliza en la PTAR, almacén e inventario, organigrama y funciones, manuales de seguridad de equipos y seguridad general de la planta.

### **18.5.3. Reportes de operación (bitácoras)**

Los reportes de operación se efectúan de manera electrónica. En la Figura 333 se presenta un ejemplo de ella.

| CONAGUA   |           | BITÁCORA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR ATOTONILCO                       |  | ATVM                             |  |
|---|-----------|---|--|----------------------------------|--|
| COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA  |           |   |  | Agua Tratada del Valle de México |  |
|   |           | Nota N° 1520  |  | FECHA: 27/06/20                  |  |
| ITEM  | ACTIVIDAD | ANEXOS  | OBSERVACIONES  |                                  |  |
| <b>FLUJOS</b>   |           |   |  |                                  |  |
| 1   | 1.1       | INFLUENTE   | Anexo 1  | 32.92 m <sup>3</sup> /s          |  |
|   | 1.2       | EFLUENTE TPC  |  | 23.50 m <sup>3</sup> /s          |  |
|   | 1.3       | EFLUENTE TPQ  |  | 5.37 m <sup>3</sup> /s           |  |
|   | 1.4       | TOTAL TRATADO (TPC+TPQ)   |  | 28.87 m <sup>3</sup> /s          |  |
| <b>LABORATORIO</b>  |           |   |  |                                  |  |
| 2   | 2.1       | CALIDAD INFLUENTE   | Dentro de los límites mínimos permisibles (promedio diario) establecidos en el CPS |                                  |  |
|   | 2.2       | CALIDAD TPC   | Dentro de los límites máximos permisibles (promedio diario) establecidos en el CPS |                                  |  |
|   | 2.3       | CALIDAD TPQ   | Dentro de los límites mínimos permisibles (promedio diario) establecidos en el CPS |                                  |  |
| <b>REQUERIMIENTOS</b>   |           |   |  |                                  |  |
| 3   | 3.1       | CONAGUA   |  |                                  |  |
|   | 3.2       | SUPERVISIÓN   |  |                                  |  |
|   | 3.3       | ATVM  |  |                                  |  |
| <b>ACTIVIDADES RELEVANTES / INIDENCIAS</b>                        |           |   |  |                                  |  |
| 4   | 4.1       | FLUJO DE ENTRADA A PLANTA (POT 616) - 33.20 M <sup>3</sup> /S PROMEDIO A PTAR     |  |                                  |  |
|   | 4.2       | DISTRITO DE RITGO SOLICITA 7 REGLETA EXTERNA                                      |  |                                  |  |
|   | 4.3       | SE REALIZA LIMPIEZA DE VERTEDEROS DE CP-216 Y SE SACA ORGANICO DE LA AJUMENTACIÓN |  |                                  |  |
|   | 4.4       |   |  |                                  |  |
|   | 4.5       |   |  |                                  |  |
|   | 4.6       |   |  |                                  |  |
|   | 4.7       |   |  |                                  |  |
|   | 4.8       |   |  |                                  |  |
|   | 4.9       |   |  |                                  |  |
| <b>MANTENIMIENTO</b>  |           |   |  |                                  |  |
| 5   | 5.1       |   |  |                                  |  |
|   | 5.2       |   |  |                                  |  |
|   | 5.3       |   |  |                                  |  |
|   | 5.4       |   |  |                                  |  |
|   | 5.5       |   |  |                                  |  |
|   | 5.6       |   |  |                                  |  |
|   | 5.7       |   |  |                                  |  |
|   | 5.8       |   |  |                                  |  |
|   | 5.9       |   |  |                                  |  |
| <b>COMUNICADOS OFICIALES</b>                                      |           |   |  |                                  |  |
| 6   | 6.1       | CONAGUA   |  |                                  |  |
|   | 6.2       | SUPERVISIÓN   |  |                                  |  |
|   | 6.3       | ATVM  |  |                                  |  |
| _____<br>CONAGUA<br><br>_____<br>SUPERVISIÓN<br><br>_____<br>ATVM |           |   |  |                                  |  |

**Figura 333. Ejemplo de la bitácora de operación y mantenimiento de la PTAR Atotonilco**

### 18.5.4. Mantenimiento

Se proporcionó el programa de mantenimiento anual, correctivo, preventivo, legal y ambiental contemplado en el manual de operación de la planta.

Además, se entregó el programa general de mantenimiento eléctrico, de instrumentos, mecánico, de recipientes sujetos a presión (RSP) y electromecánico.

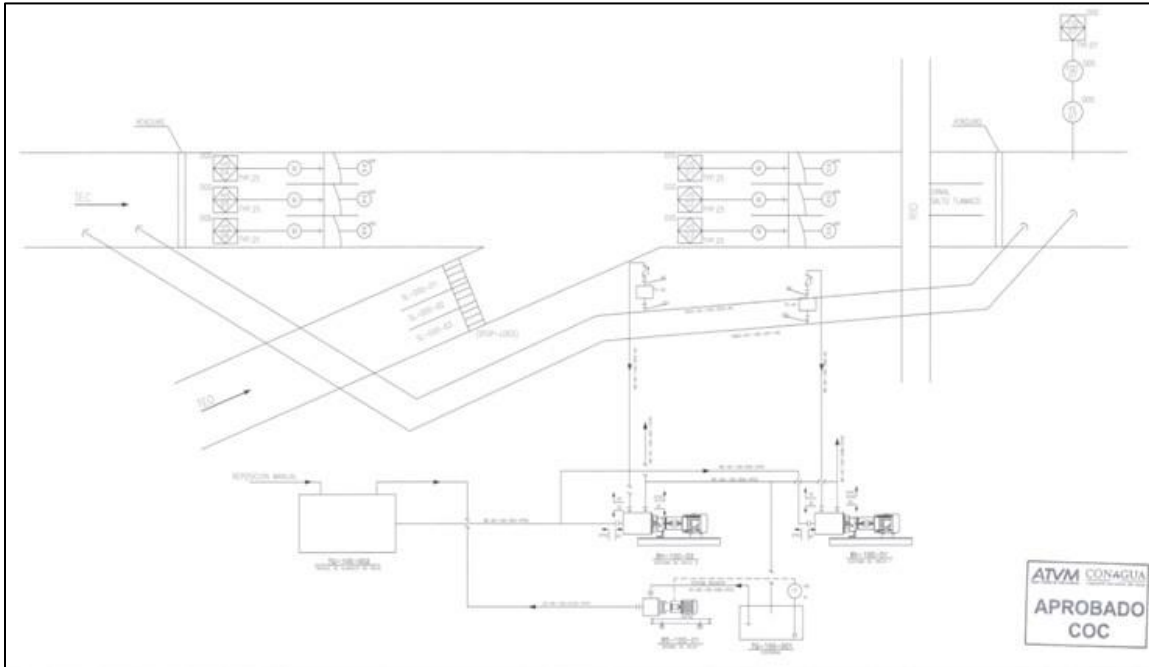
Se contempla dar mantenimiento a todas las unidades, de manera semanal, quincenal, mensual, bimestral, trimestral, cuatrimestral, semestral, anual o bianual.

Se efectúan las órdenes de mantenimiento, generalmente a inicio de mes, y posteriormente, en el programa de mantenimiento mensual se indica el número de orden, el tipo de mantenimiento, el responsable de ocuparse de la orden de mantenimiento y finalmente, la fecha de realización. Cabe mencionar que el programa funciona como bitácora.

## 19. ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

### 19.1. Descripción de las unidades de proceso

El agua residual proveniente de la ZMVM llega a través del Túnel Emisor Oriente (TEO) y Túnel Emisor Central (TEC) en la zona denominada Canal Salto Tlamaco (Figura 334).



**Figura 334. Influyente a la PTAR Atotonilco a través de TEC y TEO**

En el pretratamiento, el agua residual cruda ingresa a la planta de tratamiento mediante diez canales, cada uno equipado con una rejilla de desbaste de barras paralelas (Figura 335), de 4.2 m de ancho y una separación de barras de 76.2 mm (10 unidades). Estas rejillas son limpiadas con la ayuda de una grúa viajera y una cuchara tipo almeja, esta última con una capacidad de 2m<sup>3</sup>. Los canales están equipados de compuertas, que permiten regular el influente a la planta de tratamiento (Figura 336).



**Figura 335. Canal de entrada, rejillas de desbaste y cuchara tipo almeja**



**Figura 336. Compuertas de entrada de los canales**

Cada canal de entrada cuenta con un sistema de rejillas gruesas automatizadas (HUBER RakeMax®, Figura 337), de 2.96m de ancho y un espaciamiento de 3.5 cm (63 barras por rejilla), seguidas inmediatamente por un sistema de rejillas finas también automatizadas (STEP SCREEN® Vertical SSV, Figura 338), con una separación de barras de 0.5 cm y 1.59 m de ancho (170 barras intercaladas por rejilla). El pretratamiento está dividido en dos trenes: A y B.

La basura recolectada por las rejillas es enviada a dos unidades compactadoras y lavadoras (tipo tornillo) de basura de rejillas gruesas con capacidad de 6 m<sup>3</sup>/h, y a cuatro unidades compactadoras y lavadoras de basura de rejillas finas (tipo tornillo) con capacidad de 12m<sup>3</sup>/h (Figura 339).



**Figura 337. Rejillas gruesas automatizadas**



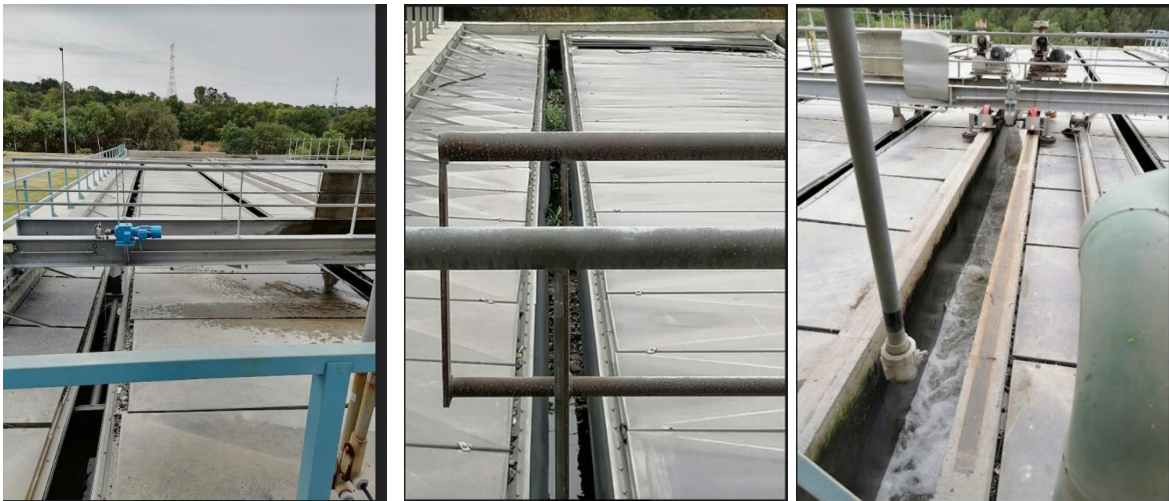
**Figura 338. Rejillas finas automatizadas**



**Figura 339. Compactador de basuras**



Posteriormente, el agua residual pasa a través de 16 unidades de desarenación de tipo rectangular (Figura 340) para un flujo de diseño de 3.6 m<sup>3</sup>/s, de 33 m de longitud y un volumen de 643.5 m<sup>3</sup>. Los desarenadores tienen periodos de limpieza continua por ciclos ajustables por air lift y las arenas recolectadas son enviadas a ocho clasificadores y lavadores de arena (Figura 341).



**Figura 340. Desarenadores**



**Figura 341. Clasificadores de arenas**

Una vez finalizado el pretratamiento, el agua residual puede pasar hacia el TPC o el TPQ.

En el TPC, proceso en donde se presenta la remoción de la materia orgánica mediante el proceso de lodos activados, está conformado por 18 sedimentadores primarios (Figura 342) que son alimentados por el agua proveniente del desarenador la cual se mezcla con el agua proveniente de los lixiviados de la deshidratación de los lodos residuales tratados. Los sedimentadores primarios son de tipo lamelar, con una capacidad de 1950 L/s, 17.75 m de ancho, 42.6 m de largo y una altura de 5.5 m. Cada sedimentador cuenta con un sistema de cuatro rastras de 10.65 m de ancho y 15.25 m de largo. Asimismo, cuenta con un colector de lodos transversal, colector superficial y receptáculo de natas.



**Figura 342. Sedimentador primario**

El efluente de los sedimentadores primarios es enviado a 24 unidades de lodos activados (Figura 343), los cuales se organizan en grupos tres reactores, conformando de esta manera ocho módulos para los reactores aerobios, que tienen un volumen de 11,724 m<sup>3</sup> (36.075m x 50m x6.5m), el sistema de difusión es mediante difusor membrana SILVER, serie II (WE) y cada reactor cuenta con 8328 difusores. Los reactores biológicos tienen un TRH de 2.6 a 3.1 h y la edad de lodos se encuentra entre 1.7 a 2.9 d.

El aire es proporcionado por 30 sopladores tipo centrífugo, con un flujo de operación de 51,010 m<sup>3</sup>/h (1400 kW de potencia).

Cada reactor cuenta con un sedimentador secundario rectangular, de 13,725 m<sup>3</sup> (50m x 61m x 5.164m), cada uno de ellos dividido en dos secciones (48 unidades de sedimentación secundaria, Figura 344). Cada sedimentador

cuenta con un puente viajero tipo rectangular, de succión. Este mecanismo tiene aproximadamente 23.73 m, y cuenta con un desnatador y una bomba de vacío. Asimismo, se cuenta con un cárcamo de lodos secundarios de 136.5 m<sup>3</sup>.



**Figura 343. Reactor biológico - proceso de lodos activados**

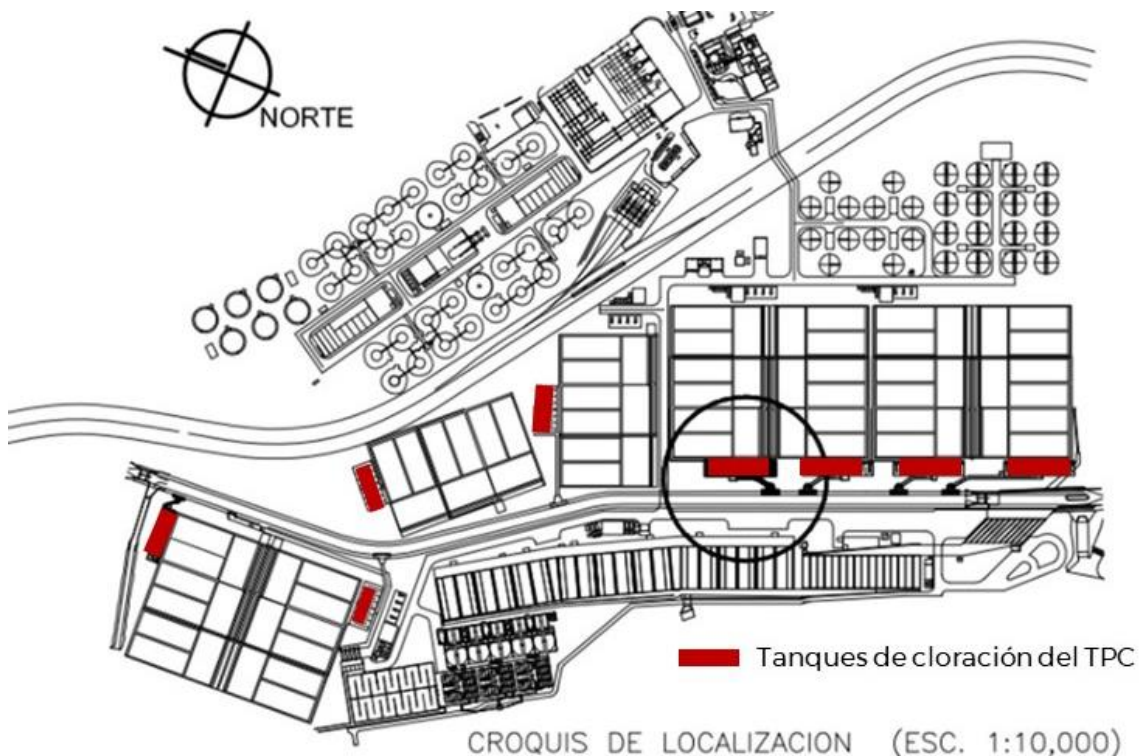


**Figura 344. Sedimentadores secundarios**

El efluente de cada bloque de reactores es enviado a un sistema de cámaras de contacto de cloro (Figura 345) conformado por 16 unidades (dos por cada bloque de tres reactores) que cuenta con un tiempo de contacto de 30 min. Cada tanque de cloración tiene un volumen de 2,577.3 m<sup>3</sup>, con un largo de 12.1 m, 35.5 m de ancho y 6.8 m de profundidad. En la Figura 346 se presenta la ubicación de los tanques de cloración del efluente del TPC.



**Figura 345. Tanque de cloración**



**Figura 346. Ubicación de los tanques de cloración del TPC**

En el TPQ, denominado también proceso primario avanzado, elimina la materia en suspensión. Es un proceso fisicoquímico conformado por cinco líneas de mezcla-floculación-sedimentación lamelar, con un TRH de 25.3 a

29.9 minutos, y para el proceso de floculación se adiciona cloruro férrico (Figura 347).

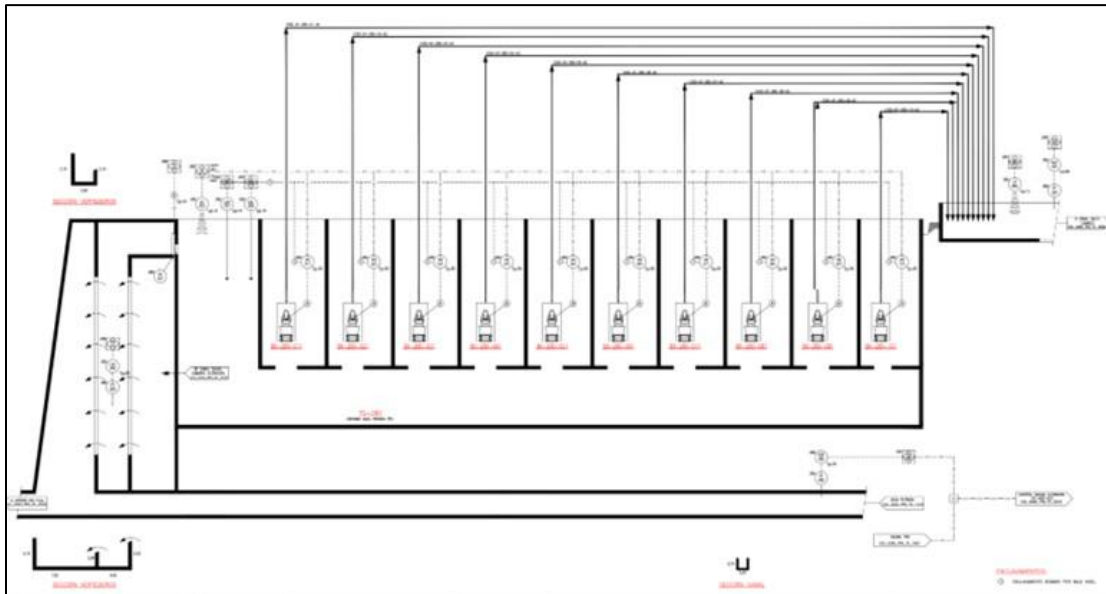


**Figura 347. Tanques de almacenamiento de cloruro férrico**



**Figura 348. Sedimentadores**

Después de la sedimentación (Figura 348), el agua así tratada pasa por filtros de malla (30 unidades), con un diámetro de 2.4 m y un paso de 50 micras. El efluente así tratado es desinfectado mediante cloro gas, y se cuenta con diez bombas de 1.5 m<sup>3</sup>/s para su bombeo y descarga del agua tratada al canal Salto Tlamaco (Figura 349).



**Figura 349. Bombeo del efluente del TPQ al canal El Salto Tlamaco**

## 19.2. Estado físico de las instalaciones

Durante la visita de campo, se observó a la entrada de la planta con algunas unidades en mal estado, y los comentarios de los operadores es que **hubo** flujos muy grandes que habían acarreado sólidos de gran tamaño que dañaron parte del sistema de tratamiento.

En el pretratamiento, el agua residual cruda ingresa a la planta de tratamiento mediante diez canales, cada uno equipado con una rejilla de desbaste de barras paralelas (Figura 350), de 4.2 m de ancho y una separación de barras de 76.2 mm (10 unidades). Estas rejillas de desbaste se ven en buen estado y la limpieza se realiza de forma constante, ya que el acarreo de basuras tanto por el TEC como por el TEO es muy importante.



**Figura 350. Canal de entrada, rejillas de desbaste y cuchara tipo almeja.**



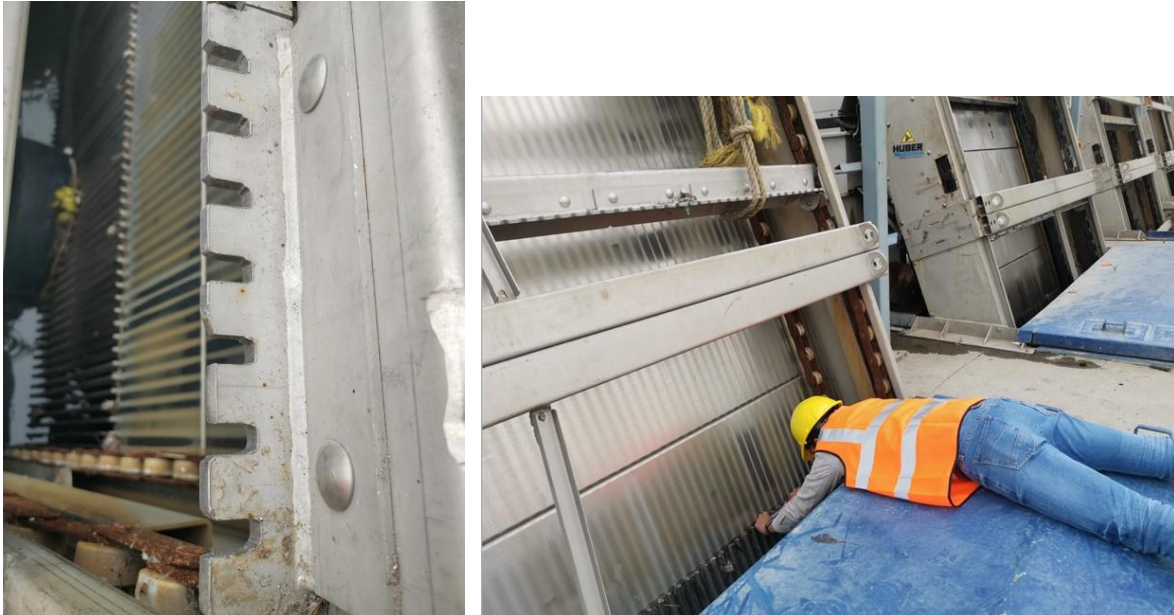
**Figura 351. Compuertas de entrada de los canales**

Las compuertas de los canales de entrada se ven en buen estado de operación (Figura 351). En lo que respecta a las rejillas automatizadas gruesas, de diez unidades instaladas, tres están fuera de operación. Una de ellas tiene atorado un neumático (Figura 352).

Asimismo, dieciocho de las veinte unidades instaladas de rejillas finas se encuentran fuera de operación, y de acuerdo con los operadores, después de la época de lluvias se requiere reparar los sistemas de rejillas, ya que están sumamente dañados (Figura 353). En las bitácoras de septiembre se reporta que se efectuó el mantenimiento preventivo, pero las rejillas finas no tienen los motores instalados. Comenta un operador que 18 motores tuvieron que desinstalarse porque estaban dañados.

La basura recolectada por las rejillas es enviada a dos unidades compactadoras (Figura 354) y lavadoras de basura de rejillas gruesas, y a

cuatro unidades compactadoras y lavadoras de basura de rejillas finas, las cuales no funcionaban durante la visita técnica. Hay que considerar que debido al mal funcionamiento de las rejillas no se recoge mucha de la basura, la cual se observa en las instalaciones posteriores del proceso de tratamiento.



**Figura 352. Rejillas gruesas automatizadas dañadas y fuera de servicio**







**Figura 353. Rejillas finas automatizadas fuera de operación**



**Figura 354. Compactador de basuras**

La planta se ve en buen estado, en general, pero si acusa problemas de corrosión en algunas estructuras.

Las unidades de desarenación no están funcionando correctamente. Se observa que el equipo destinado a remover las arenas no está sacando este tipo de material y se observa crecimiento de malezas dentro de ellos (Figura 355). Posteriormente, en los equipos de clasificación de arena no se recoge ningún tipo de material por lo que el sistema de extracción debe ser revisado para su correcto funcionamiento (Figura 356).



**Figura 355. Desarenadores en mal estado**



**Figura 356. Clasificadores de arenas**

Se requiere mejorar el pretratamiento para evitar problemas en unidades posteriores.

En el TPC, parte del proceso en donde se presenta la remoción de la materia orgánica mediante el proceso de lodos activados, está conformado por 18 sedimentadores primarios que son alimentados por el agua proveniente del desarenador la cual se mezcla con el agua proveniente de los lixiviados de la deshidratación de los lodos residuales tratados. El efluente de los sedimentadores primarios es enviado a 24 unidades de lodos activados, los cuales se conforman en grupos tres reactores, conformando de esta manera ocho módulos para los reactores aerobios que trabajan con un TRH de 2.6 a 3.1 h y cuya edad de lodos se encuentra entre 1.7 a 2.9 d. Cada reactor cuenta con un sedimentador secundario, el cual está dividido en dos secciones (48 unidades de sedimentación secundaria).

El efluente de cada bloque de reactores es enviado a un sistema de cámaras de contacto de cloro conformado por 16 unidades (dos por cada bloque de tres reactores) que cuenta con un tiempo de contacto de 30 min.

Los sedimentadores 301, 302 y 303 se encuentran en muy mal estado y los 302-041, 303-031 y 303-041 se encontraron fuera de operación.

En general, el estado de la obra civil del TPC es bueno, se da mantenimiento y pintura una vez al año.

En lo que concierne al TPQ (primario avanzado), las unidades 2 y 5 de coagulación están fuera de servicio. El mezclador del tanque de coagulación es de tipo paleta (Mersen). Los sedimentadores cuadrados de alta tasa cuentan con módulos de placas inclinadas de polipropileno.

Se observa presencia de flóculos grises dispersos en el efluente del sedimentador. El color del efluente también es gris y con olor séptico.

El módulo de placas inclinadas se encuentra deteriorado y saturado, además de presentar obstrucciones en el medio de soporte (Figura 357).



**Figura 357. Módulo de placas inclinadas**

Cuenta con 30 filtros rápidos por presión cuadrados, con medio filtrante de tela. Se encuentran fuera de operación y de acuerdo con los operadores, el sistema de filtración del TPQ no ha sido operado. Se observan presencia de natas y espumas en el tanque de coagulación. También se observan presencia de natas en el tanque de floculación, espumas en el tanque de

flotación y flóculos flotantes y acumulación de arenas en el tanque de coagulación.

El estado de conservación de la obra civil de esta parte del proceso: tanque de coagulación, tanque de floculación, tanque de sedimentación, tanques de filtración, muros y paredes es bueno. No se observa ningún daño.

### **19.2.1. Equipos electromecánicos**

El consorcio operador proporcionó el listado de equipos electromecánicos de la PTAR, los cuales suman 874 en el tren agua ([https://drive.google.com/drive/folders/1E-Of9PX2JHk\\_9YkWgCRH3o6XeAW9rmFU?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1E-Of9PX2JHk_9YkWgCRH3o6XeAW9rmFU?usp=sharing)). Se realizó el levantamiento de los equipos electromecánicos de acuerdo con el listado proporcionado, sin embargo, muchos de ellos no pudieron verificarse por encontrarse dentro de los sistemas de tratamiento (sumergidos). Cuando se realizó el recorrido de evaluación, se observó que los equipos más deteriorados son las rejillas finas automatizadas y las rejillas gruesas automatizadas. Se comenta que al final de la época de lluvia es necesario realizar la reparación de estos equipos, ya que se dañan de forma muy importante por el arrastre de sólidos grandes.

Algunos equipos electromecánicos acusan señales de corrosión, sin embargo, la mayor parte de los equipos se encuentran en buen estado (Figura 358).



**Figura 358. Motor del sedimentador secundario con óxido**

### **19.3. Muestreo y calidad del agua residual**

Para realizar el muestreo del agua residual en la PTAR se realizó inicialmente un recorrido a las instalaciones con personal de la planta, con la finalidad de seleccionar los puntos de muestreo más adecuados y seguros. Los puntos de muestreo seleccionados se muestran en la Tabla 138 y se indican en la Figura 359.

**Tabla 138. Parámetros y sitio de muestreo en la PTAR Atotonilco**

| Punto | Descripción   | No. M | NOM-001-SEMARNAT-1996 |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    | PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 |            |            | Diseño | Tipo de muestreo |         |                             |
|-------|---|-------|-----------------------|---|----|------|-----|-----|-----|----|----|---------|----|----|----------------------------|------------|------------|--------|------------------|---------|-----------------------------|
|       |   |       | pH                    | T | MF | SSed | GyA | SST | DBO | NT | PT | Metales | HH | CF | DQO                        | Tox. aguda | Color Verd |        |                  | E. coli | SSV                         |
| 1     | Influyente  | 1     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  |         | Compuesto, 24 h, 6 muestras |
| 2     | Salida de rejillas finas  | 10    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  |         | Muestreo simple             |
| 3     | Entrada a desarenador (muestra homogénea de las 10 rejillas)              | 1     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  |         | Muestreo simple             |
| 4     | Salida de desarenador   | 1     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  |         | Muestreo simple             |
| 5     | Retorno lixiviados de lodos   | 1     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  |         | Muestreo simple             |
| 6     | Entrada a sedimentador primario después retorno de lodos (unidades 1 a 8) | 1     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  |         | Muestreo simple             |
| 7     | Entrada a sedimentador primario después retorno de lodos                  | 1     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  |         | Muestreo simple             |

| Punto | Descripción                                      | No. M | NOM-001-SEMARNAT-1996 |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    | PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 |            |            | Diseño | Tipo de muestreo |                             |
|-------|--|-------|-----------------------|---|----|------|-----|-----|-----|----|----|---------|----|----|----------------------------|------------|------------|--------|------------------|-----------------------------|
|       |  |       | pH                    | T | MF | SSed | CyA | SST | DBO | NT | PT | Metales | HH | CF | DQO                        | Tox. aguda | Color Verd |        |                  | E. coli                     |
|       | (unidades 9 a 18)                                |       |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  |                             |
| 8     | Entrada a TPQ                                    | 5     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  | Muestreo simple             |
| 9     | Salida TPQ/<br>Entrada a clorador 1 TPQ (canal)  | 1     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  | Muestreo simple             |
| 10    | Salida TPQ/Entrada a clorador 2 TPQ (canal)      | 1     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  | Muestreo simple             |
| 11    | Efluente cloradores 1 y 2 TPQ                    | 1     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  | Muestreo simple             |
| 12    | Salida sedimentador primario/Entrada a biológico | 8     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  | Muestreo simple             |
| 13    | Salida biológico/clarificador                    | 8     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  | Muestreo simple             |
| 14    | Efluente clorador/efluente gral canal            | 1     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  | Compuesto, 24 h, 6 muestras |
| 15    | Reactor biológico                                | 8     |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |         |    |    |                            |            |            |        |                  | Muestreo simple             |

No. M: Número de muestras SSed: sólidos sedimentables

MF: Materia flotante

Tox. Aguda: toxicidad aguda

Color Verd: color verdadero







Figura 359. Puntos de muestreo en PTAR Atotonilco

### **19.3.1. Resultados del muestreo compuesto**

El muestreo compuesto para el TPC y TPQ se realizó en diferentes días. En las gráficas de la Figura 212 se presentan los parámetros de campo de las muestras compuestas. Se puede observar que el caudal en el influente osciló entre 40,000 y 50,000 L/s mientras que en el efluente el caudal fue de 20,000 L/s para el TPC. El caudal en el influente se mantuvo alrededor de 30,000 L/s y el efluente del TPQ se mantuvo aproximadamente en 5,000 L/s. Los valores se encuentran dentro del rango de operación reportado para la PTAR.

Con respecto a los valores de pH, tanto en el influente como en el efluente del TPQ y TPC se mantienen en valores alrededor de 7.5 a 8.0, los cuales son adecuados para el desarrollo de los microorganismos y el adecuado funcionamiento de los sistemas. La temperatura del agua durante el muestreo se mantuvo entre 18 y 24°C tanto para el influente como para el efluente. Los valores mínimos de temperatura se reportaron en los muestreos realizados por la noche.

Para el caso de las grasas y aceites en ambos influentes es variable con valores máximos de 50 mg/L. En el efluente del TPC la concentración de grasas y aceites es menor a 8.56 mg/L, mientras que en el TPQ varía entre 15 y 40 mg/L. De acuerdo con los valores estipulados en la NOM-001-SEMARNAT-2021, la descarga del TPQ se encuentra por arriba de la concentración permitida. Con respecto a las CPD la concentración de grasas y aceites en el TPQ se encuentra fuera del límite permisible.

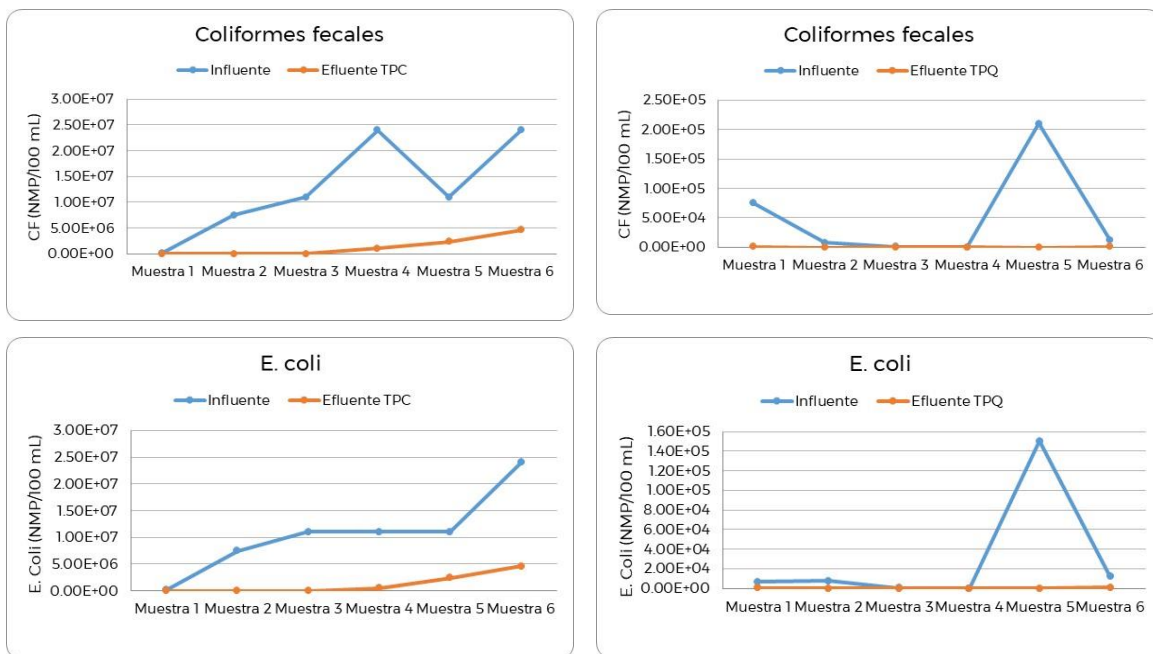


**Figura 360. Parámetros de campo de muestra compuesta**

En las gráficas de la Figura 213 se observa que en el influente la concentración de coliformes fecales es típica de un agua residual municipal con valores en un rango entre  $2.0 \times 10^5$  a  $2.4 \times 10^7$  NMP/100 mL.

En el efluente del TPC se encontraron concentraciones de CF hasta de 6 unidades logarítmicas, mientras que en el efluente del TPQ la concentración fue menor a 1100 NMP/100 mL. Para el caso de la *E. coli* se encontraron valores similares a los reportados para CF.

Se debe tomar en consideración que ya sea por CF o *E.coli*, la calidad del efluente del TPC no cumplió con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021, sin embargo, los históricos de la planta reportados a CONAGUA si cumplen, por lo que probablemente durante el muestreo se haya presentado algún problema con el sistema de cloración.



**Figura 361. Parámetros microbiológicos de muestra compuesta**

En la Tabla 139 se presentan los resultados de laboratorio de la muestra compuesta para diferentes parámetros.

**Tabla 139. Resultados de laboratorio de muestra compuesta**

| Parámetro         | Unidades | Compuesto      |              |                |              | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Suelo (A) | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Suelo Infiltración y otros riegos | CPS         |             |
|-------------------|----------|----------------|--------------|----------------|--------------|------------------------------------|--|-------------|-------------|
|                   |          | Influyente TPC | Efluente TPC | Influyente TPQ | Efluente TPQ |                                    |  | TPC Estiaje | TPQ Estiaje |
|                   |          |                |              |                |              | PD                                 | PD   |             |             |
| pH                | UpH      | 7.75           | 7.4          | 7.88           | 7.35         | 5 - 10                             | 6 - 9  | 5-10        | 5-10        |
| Tem.              | °C       | 22.6           | 22.5         | 18.48          | 18.55        | NA                                 | 35   | CN+1.5      | CN+2.5      |
| G y A             | mg/L     | 27.94          | <8.56        | 40.23          | 24.92        | 25                                 | 18   | 25          | 25          |
| Material Flotante |          | Presencia      | Ausencia     | Presencia      | Ausencia     | Ausente                            | NA   | Ausente     | Ausente     |
| S. Sed.           | ml/L     | 0.5            | <0.1         | 0.9            | 0.2          | NA                                 | NA   | 2           | 2           |
| SST               | mg/L     | 78.2           | 93.3         | 148            | 55           | NA                                 | 120  | 60          | 90          |
| DBO               | mg/L     | 102            | 57           | 143            | 70           | NA                                 | NA   | 60          | ND          |
| NT                | mg/L     | 45             | 43.9         | 52.4           | 48           | NA                                 | NA   |             |             |
| PT                | mg/L     | 5.09           | 5.65         | 7.69           | 4.31         | NA                                 | NA   |             |             |
| As                | mg/L     | 0.0058         | 0.0054       | 0.0054         | 0.0045       | 0.4                                | 0.15   |             |             |
| Cd                | mg/L     | <0.030         | <0.30        | <0.030         | <0.030       | 0.1                                | 0.15   |             |             |
| CN                | mg/L     | ND             | ND           | ND             | ND           | 3.0                                | 1.50   |             |             |
| Cu                | mg/L     | 0.0750         | <0.050       | 0.131          | <0.050       | 6.0                                | 5.0  |             |             |

| Parámetro                  | Unidades       | Compuesto         |                 |                   |                 | NOM-001-<br>SEMARNAT-<br>1996<br><br>Suelo<br>(A) | NOM-001-<br>SEMARNAT-<br>2021<br><br>Suelo<br>Infiltración<br>y otros<br>riegos | CPS  |      |
|----------------------------|----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|---|---|------|------|
|                            |                | Influyente<br>TPC | Efluente<br>TPC | Influyente<br>TPQ | Efluente<br>TPQ |   |   |      |      |
|                            |                | PD                | PD              | TPC<br>Estiaje    | TPQ<br>Estiaje  |   |   |      |      |
| Cr                         | mg/L           | <0.10             | <0.10           | <0.10             | <0.10           | 1.0   | 0.75  |      |      |
| Hg                         | mg/L           | 0.0013            | 0.0003          | <0.0005           | <0.0005         | 0.01  | 0.008   |      |      |
| Ni                         | mg/L           | <0.10             | <0.10           | <0.10             | <0.10           | 4.0   | 3.0   |      |      |
| Pb                         | mg/L           | <0.10             | <0.10           | <0.10             | <0.10           | 10.0  | 0.3   |      |      |
| Zn                         | mg/L           | 0.1900            | 0.1200          | 0.28              | <0.10           | 20.0  | 15.0  |      |      |
| CF                         | NMP/100<br>ml  | 1.30E+07          | 1.35E+06        | 5.09E+04          | 5.09E+02        | 2000  |   | 2000 | 2000 |
| HH                         | H/L            | 1                 | 1               | 1                 | Cero            | 1   | 1   | 3    | 3    |
| Cloro<br>residual<br>libre | mg/L           |                   |                 |                   |                 |   |   | 1    | 1    |
| DQO                        | mg/L           | 353               | 194             | 566               | 315             |   | 180   |      |      |
| COT                        | mg/L           |                   |                 |                   |                 |   | 45  |      |      |
| Escherichia<br>coli        | NMP/<br>100 ml | 1.08E+07          | 1.25E+06        | 2.93E+04          | 3.49E+02        |   | 500   |      |      |

| Parámetro | Unidades         | Compuesto        |                 |                  |                 | NOM-001-<br>SEMARNAT-<br>1996<br><br>Suelo<br>(A) | NOM-001-<br>SEMARNAT-<br>2021<br><br>Suelo<br>Infiltración<br>y otros<br>riegos | CPS            |                |
|-----------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|---|---|----------------|----------------|
|           |                  | Influente<br>TPC | Efluente<br>TPC | Influente<br>TPQ | Efluente<br>TPQ |   |   | TPC<br>Estiaje | TPQ<br>Estiaje |
|           |                  |                  |                 |                  |                 | PD  | PD  |                |                |
| Color     | Long. de<br>onda |                  |                 |                  |                 |   | Coefficiente<br>absorción<br>Espectral<br>máximo                                |                |                |
|           | 436 nm           | 5                | 4.5             | 3.9              | 2.1             |   | 7.0 m-l   |                |                |
|           | 525 nm           | 2.7              | 2.1             | 1.6              | 0.6             |   | 5.0 m-l   |                |                |
|           | 620 nm           | 14.1             | 1.3             | 0.8              | 0.2             |   | 3.0 m-l   |                |                |

ND: No determinado



La concentración de materia orgánica medida como DBO<sub>5</sub> y DQO en el influente del muestreo del TPC fue de 102 y 353 mg/L, respectivamente, lo que proporciona una relación de 0.29, mostrando que el agua a tratar no es biodegradable. En el efluente del TPC los valores fueron de 57 y 194 mg/L, respectivamente, con una relación de 0.29, lo que indica que no se han removido durante el tratamiento los compuestos de baja biodegradabilidad. Estos valores representan una remoción del 44% para la DBO<sub>5</sub> y del 45% para DQO.

Por otro lado, en lo que respecta al TPQ, la concentración de materia orgánica medida como DBO<sub>5</sub> y DQO en el influente fue de 143 y 566 mg/L, respectivamente, lo que proporciona una relación de 0.25, mostrando nuevamente que el influente a la PTAR Atotonilco es de baja biodegradabilidad. En el efluente del TPQ se obtuvo una relación DBO/DQO de 0.22. La remoción de la DBO en el TPQ fue de 51%, mientras que la remoción de la DQO fue de 44%. Es importante mencionar que en la NOM-001-SEMARNAT-2021 el LMP para DQO, en promedio diario, es de 180 mg/L, por lo que esta concentración es rebasada tanto en el TPC como en el TPQ.

Con respecto a la concentración de nitrógeno y fósforo se observa que la remoción en la planta es mínima tanto en el tratamiento convencional como en el químico.

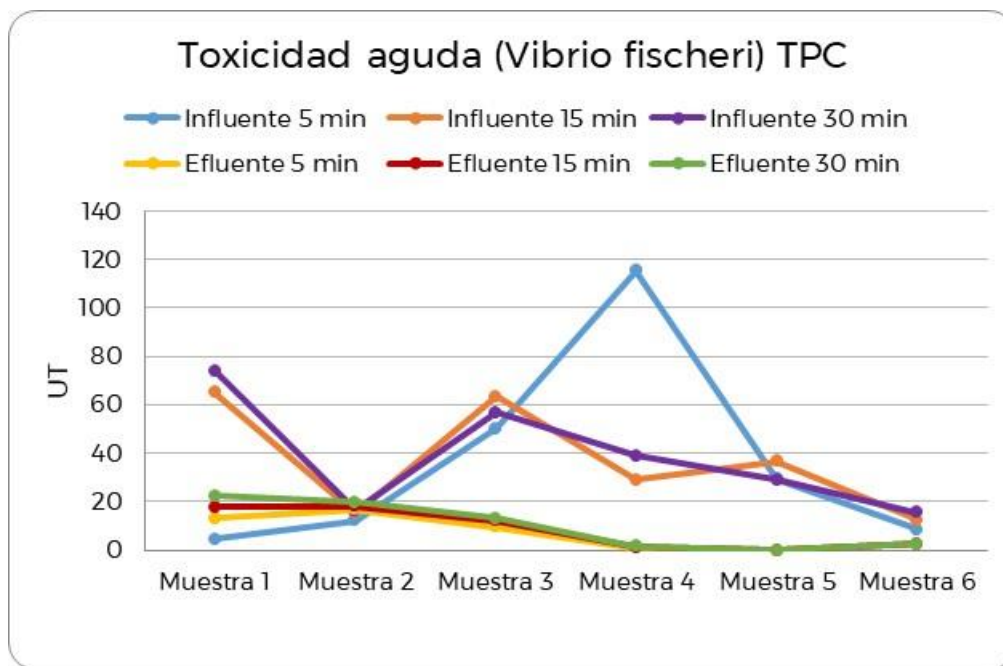
La concentración de metales tanto en el influente como en el efluente se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021. De hecho, el CPS presenta las condiciones de concentración de metales pesados y cianuro (promedio anual) en el agua residual a ser tratada por la planta de tratamiento. Estas condiciones se presentan en la Tabla 140, y los valores son inferiores a los que marcan tanto la NOM-001-SEMARNAT-1996 como la NOM-001-SEMARNAT-2021.

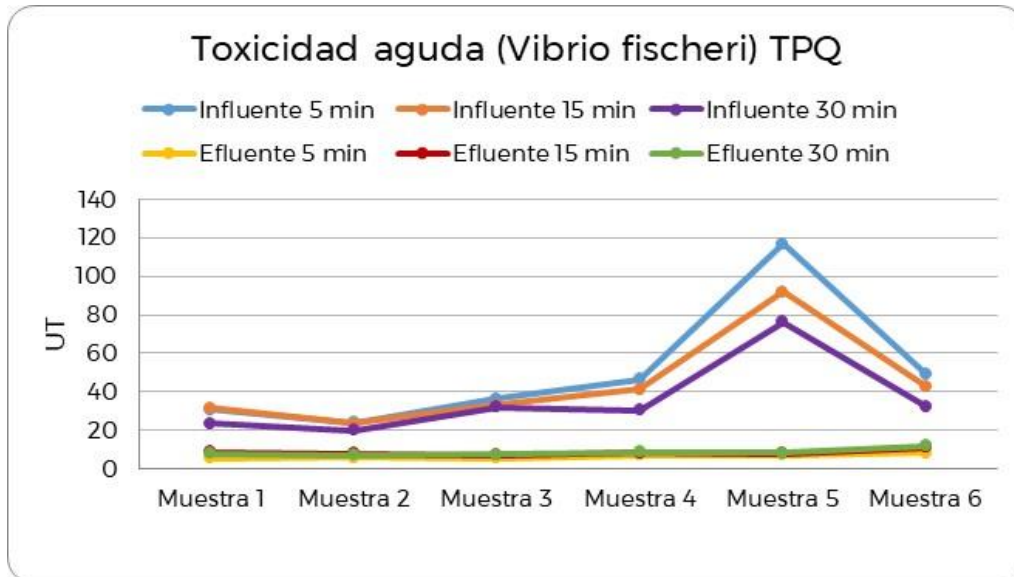
**Tabla 140. Concentraciones de metales pesados y cianuros en el agua residual tratada en la PTAR Atotonilco**

| Parámetro | Unidad | Promedio anual |
|-----------|--------|----------------|
| Arsénico  | mg/L   | 0.016          |
| Cadmio    | mg/L   | 0.024          |
| Cianuro   | mg/L   | 0.038          |
| Cromo     | mg/L   | 0.070          |

| Parámetro | Unidad | Promedio anual |
|-----------|--------|----------------|
| Cobre     | mg/L   | 0.140          |
| Mercurio  | mg/L   | 0.001          |
| Níquel    | mg/L   | 0.060          |
| Plomo     | mg/L   | 0.120          |
| Zinc      | mg/L   | 0.289          |

De acuerdo con los análisis realizados se encontró que la toxicidad medida con *Vibrio fischeri* en el influente se encuentra en un rango entre 12.45 a 91.91 UT (influente TPC y TPQ) (Figura 214) a los 15 min de exposición. En el efluente del TPC la toxicidad se encuentra en un rango de NA a 18.1 UT, mientras que en el efluente del TPQ se encuentra en un rango de 7.183 a 11.25 UT a los 15 min de exposición. Con relación a la toxicidad en el influente, los resultados sugieren que el proceso de tratamiento en la PTAR disminuye la toxicidad, sin embargo, no es suficiente ya que rebasa los límites permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-2021.





**Figura 362. Toxicidad aguda de muestra compuesta**

### 19.3.2. Determinaciones de campo

#### 19.3.2.1. Perfil de pH y OD en reactores biológicos

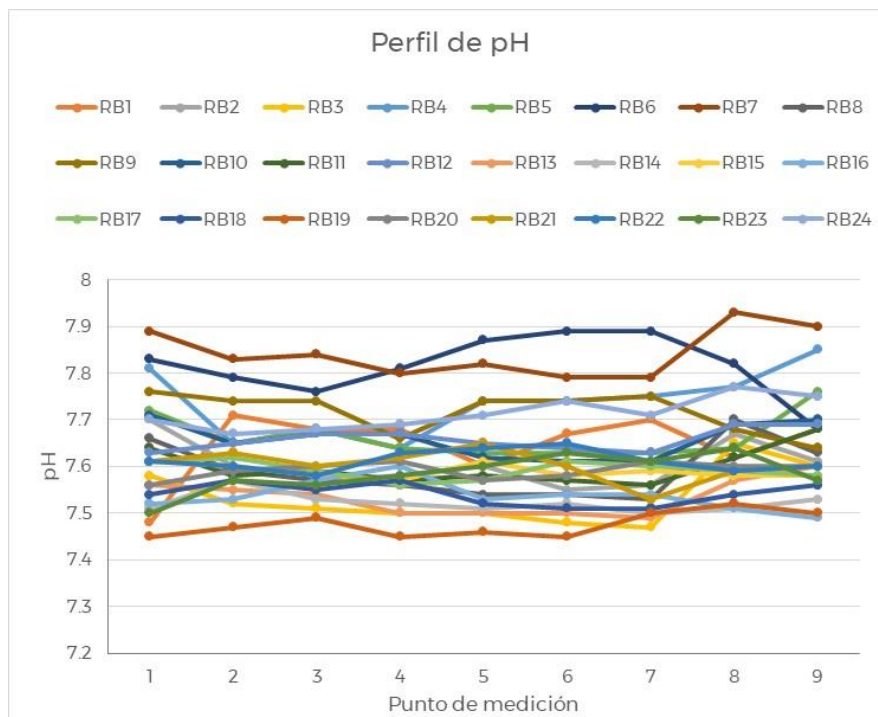
Se realizó la medición de oxígeno disuelto y pH en nueve puntos diferentes en la periferia de los reactores biológicos (Figura 363).



**Figura 363. Medición del oxígeno disuelto y pH en los reactores biológicos**

En la Figura 364 se presenta en perfil de pH en los reactores biológicos. Se observa que el pH en los 24 reactores se mantiene en un rango entre 7.4 y 7.9, los cuales son ideales para el desarrollo de los microorganismos de los sistemas biológicos.

En la Figura 365 se observa el perfil de OD en los 24 reactores biológicos. Se observa que todos los reactores mantienen concentraciones de OD en un rango entre 2.8 a 3.5 mg/L, excepto el RB1 que presenta valores entre 2 a 2.8 mg/L. Estos valores indican que la concentración de oxígeno dentro de los sistemas biológicos excede el valor reportado como ideal en la literatura el cual es de 2 mg/L. Valores mayores a 2 mg/L implican un gasto energético mayor en los sistemas.



**Figura 364. Perfil de pH**

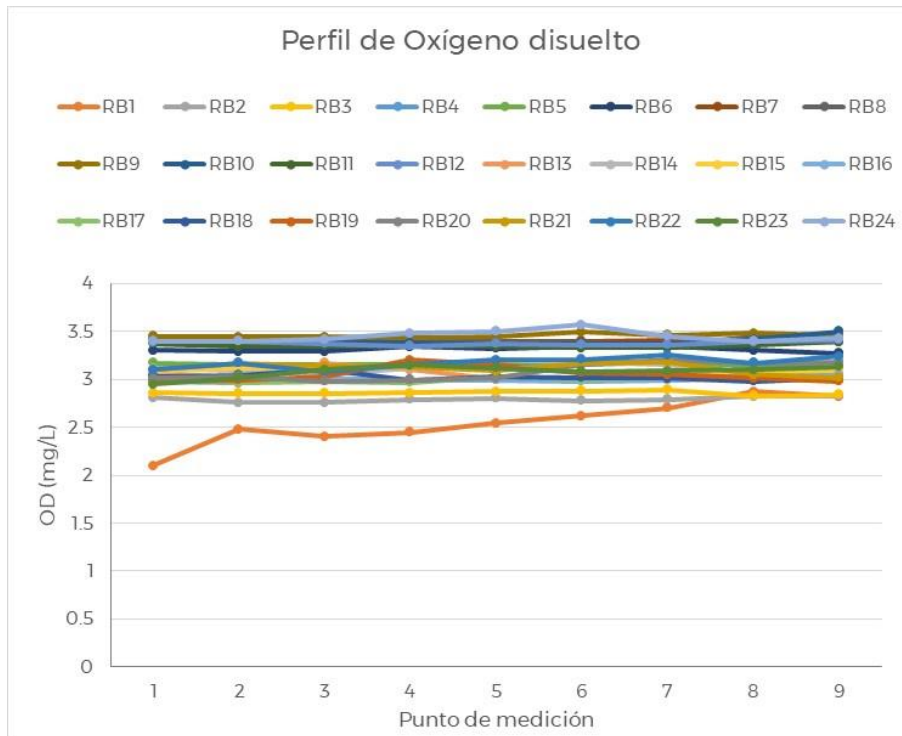
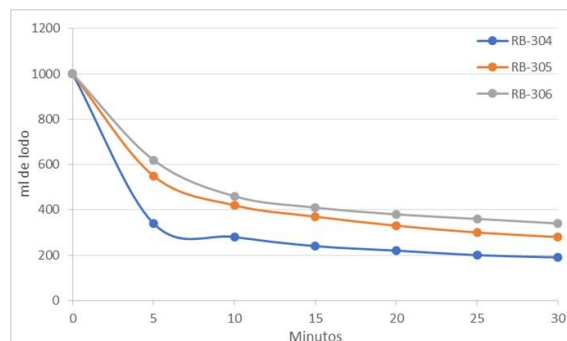
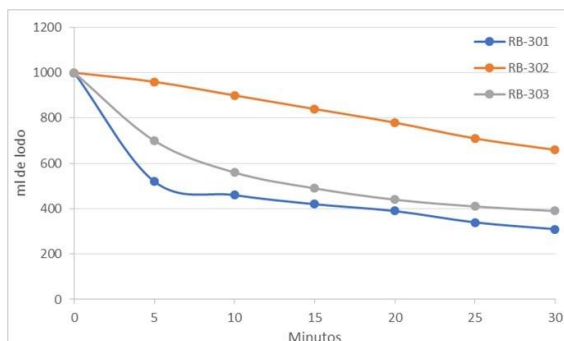


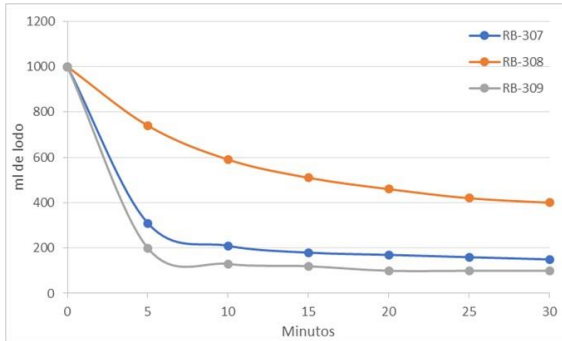
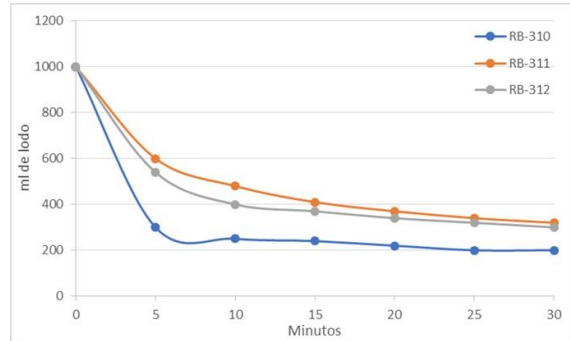
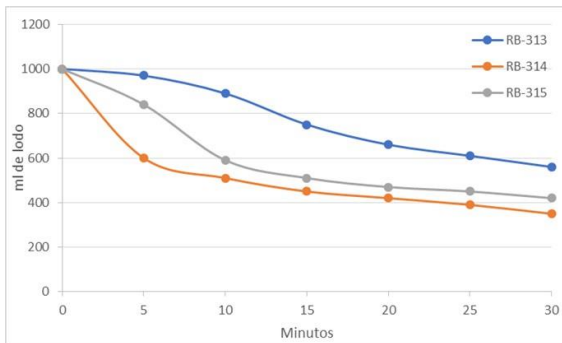
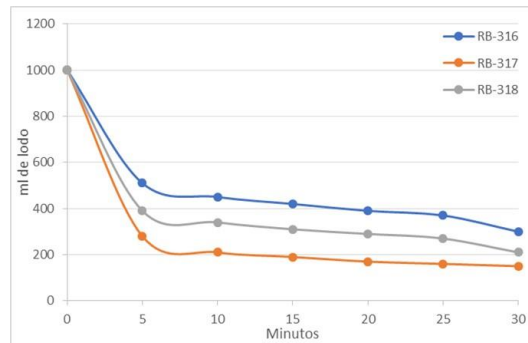
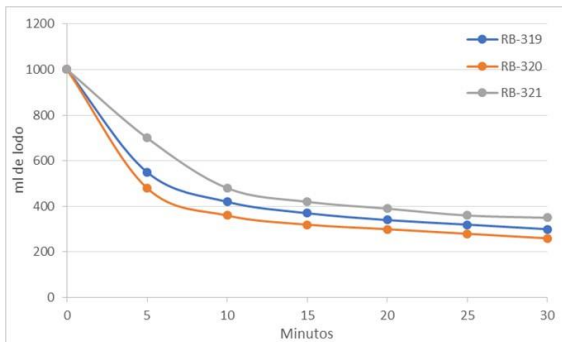
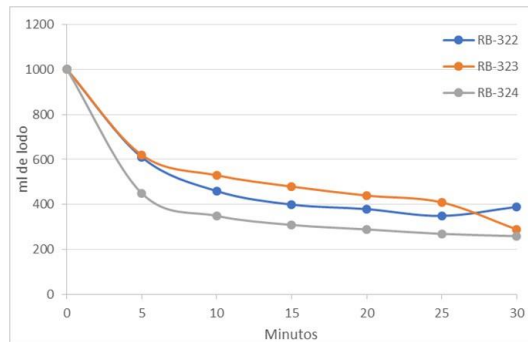
Figura 365. Perfil de OD

### 19.3.2.2. Índice volumétrico de lodos (IVL) en reactores biológicos

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las pruebas del Índice Volumétrico de Lodos efectuados a los 24 reactores biológicos de la PTAR de Atotonilco.

En la Figura 366 se muestran las gráficas de las pruebas de sedimentación por módulo (tres reactores en cada módulo).



**Módulo 1**

**Módulo 2**

**Módulo 3**

**Módulo 4**

**Módulo 5**

**Módulo 6**

**Módulo 7**
**Módulo 8**
**Figura 366. Pruebas de sedimentación**

De acuerdo con las gráficas se puede apreciar que en los primeros 5 minutos el lodo sedimenta muy rápidamente, a excepción de los reactores RB-302, 308, 313 y 315. El hecho de que los lodos sedimenten rápidamente indica que son lodos viejos.

En la Tabla 141 se describen las observaciones de cada una de las pruebas.

**Tabla 141. Características de las pruebas de sedimentación**

| <b>Reactor</b> | <b>Color del flóculo</b> | <b>Forma del flóculo</b>                    | <b>Clarificado</b>               |
|----------------|--------------------------|---|----------------------------------|
| RB-301         | Café oscuro              | Compactos, muy pequeños                     | Turbio, con flóculos suspendidos |
| RB-302         | Café oscuro              | Compactos, más pequeños                     | Claro, con nata                  |
| RB-303         | Café claro               | Compactos, mejor formados, flóculos grandes | Claro, con flóculos suspendidos  |
| RB-304         | Chocolatoso              | Compactos, flóculos grandes                 | Turbio                           |
| RB-305         | Chocolatoso              | Compactos, flóculos grandes                 | Turbio con nata                  |
| RB-306         | Café oscuro              | Compactos, pequeños                         | Turbio                           |
| RB-307         | Café oscuro              | Flóculos muy pequeños                       | Turbio, muy oscuro               |
| RB-308         | Café oscuro              | Compactos, flóculos pequeños                | Claro, con nata                  |
| RB-309         | Café oscuro              | Muy pequeños                                | Turbio                           |
| RB-310         | Café oscuro              | Muy pequeños                                | Turbio                           |
| RB-311         | Café oscuro              | Muy pequeños                                | Turbio                           |
| RB-312         | Café oscuro              | Muy pequeños                                | Turbio                           |
| RB-313         | Café oscuro              | Flóculos grandes, esponjosos                | Claro, con flóculos suspendidos  |
| RB-314         | Café oscuro              | Flóculos grandes, esponjosos                | Turbio, con nata                 |
| RB-315         | Café oscuro              | Flóculos chicos, compactos                  | Turbio                           |
| RB-316         | Café oscuro, casi negro  | Flóculos chicos, compactos                  | Turbio                           |
| RB-317         | Café oscuro              | Flóculos grandes, esponjosos                | Turbio, con flóculos suspendidos |
| RB-318         | Café oscuro, casi negro  | Flóculos chicos, compactos                  | Turbio, con flóculos suspendidos |
| RB-319         | Café muy oscuro          | Flóculos chicos, compactos                  | Turbio                           |
| RB-320         | Café muy oscuro          | Flóculos chicos, compactos                  | Turbio, con flóculos suspendidos |
| RB-321         | Café muy oscuro          | Flóculos chicos, compactos                  | Turbio, con flóculos suspendidos |
| RB-322         | Café muy oscuro          | Flóculos chicos, compactos                  | Turbio                           |
| RB-323         | Café muy oscuro          | Flóculos chicos, compactos                  | Turbio, con flóculos suspendidos |
| RB-324         | Café muy oscuro          | Flóculos chicos, compactos                  | Turbio                           |

En términos generales, la mayoría de los lodos presentan un color café oscuro y en algunos casos casi negro, así como flóculos pequeños y con un sobrenadante turbio y en algunos casos con natas. Estas características son específicas de un lodo viejo.

En la Figura 367 se puede observar las características que se mencionan en la Tabla anterior.



Módulo 1 a los 30 min



Módulo 2 a los 30 min



Módulo 3 a los 0 min



Módulo 4 a los 30 min



Módulo 5 a los 0 min



Módulo 6 a los 30 min

**Figura 367. Fotografía de las pruebas de sedimentación**

En la Tabla 142 se muestra el volumen final del lodo a los 30 minutos, los sólidos suspendidos totales de la muestra y su índice volumétrico de lodos. Estos resultados se muestran en la Figura 368.

**Tabla 142. Índice volumétrico de lodos**

| Reactor | Vol. Lodo (ml) | SST (mg/L) | IVL (ml/g) | SSV (mg/L) |
|---------|----------------|------------|------------|------------|
| RB-301  | 310            | 4057       | 76.41      | 2840       |
| RB-302  | 660            | 5965       | 110.65     | 3880       |
| RB-303  | 390            | 4377       | 89.10      | 3020       |
| RB-304  | 190            | 3662       | 51.88      | 2600       |



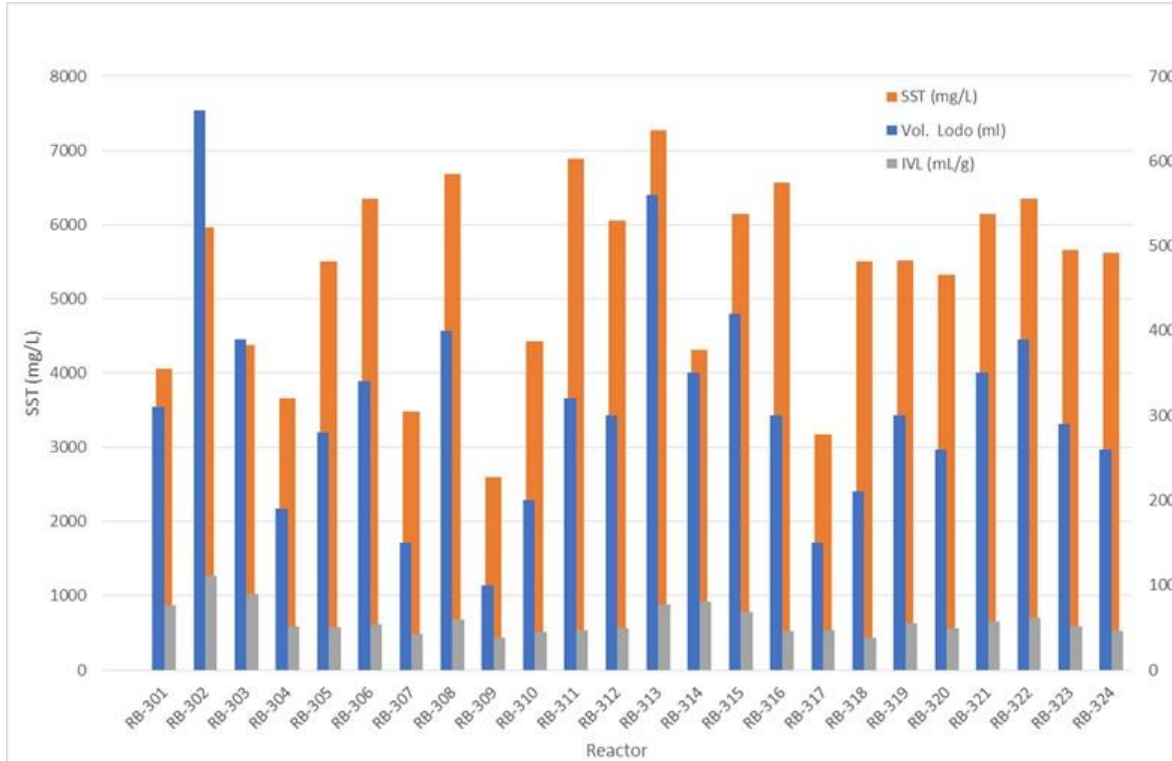
| Reactor | Vol. Lodo (ml) | SST (mg/L) | IVL (ml/g) | SSV (mg/L) |
|---------|----------------|------------|------------|------------|
| RB-305  | 280            | 5500       | 50.91      | 3740       |
| RB-306  | 340            | 6343       | 53.60      | 4440       |
| RB-307  | 150            | 3478       | 43.13      | 2400       |
| RB-308  | 400            | 6686       | 59.83      | 4680       |
| RB-309  | 100            | 2600       | 38.46      | 1820       |
| RB-310  | 200            | 4423       | 45.22      | 3140       |
| RB-311  | 320            | 6882       | 46.50      | 4680       |
| RB-312  | 300            | 6057       | 49.53      | 4240       |
| RB-313  | 560            | 7268       | 77.05      | 5160       |
| RB-314  | 350            | 4319       | 81.04      | 2980       |
| RB-315  | 420            | 6143       | 68.37      | 4300       |
| RB-316  | 300            | 6571       | 45.66      | 4600       |
| RB-317  | 150            | 3176       | 47.23      | 2160       |
| RB-318  | 210            | 5500       | 38.18      | 3740       |
| RB-319  | 300            | 5521       | 54.34      | 3920       |
| RB-320  | 260            | 5324       | 48.84      | 3780       |
| RB-321  | 350            | 6143       | 56.98      | 4300       |
| RB-322  | 390            | 6343       | 61.49      | 4440       |
| RB-323  | 290            | 5652       | 51.31      | 3900       |
| RB-324  | 260            | 5618       | 46.28      | 3480       |

En un proceso de lodos activados de sistema convencional se recomienda que los SSV estén en un rango de 1500 a 3000 mg/L y de acuerdo con la Tabla 142 en su mayoría los reactores biológicos están fuera de rango. Esto a su vez muestra que existe un exceso de SST en el sistema.

El rango que se recomienda para el IVL es de 35 a 150 ml/g, y de acuerdo con la Tabla 142 los valores obtenidos están dentro de rango, sin embargo, en su mayoría están cercanos al rango inferior, lo que sugiere una sedimentación rápida propiciada por flóculos pesados, característica de lodos viejos.

**Si** bien todos los reactores biológicos operan bajo las mismas condiciones de flujo y calidad del agua, así como de recirculación de lodos, no debería

existir tanta discrepancia entre ellos, como se aprecia en la Figura 368. Esto sugiere, que los reactores no son operados de manera igual.



**Figura 368. Volumen de lodo final, SST e IVL**

Los reactores biológicos presentan lodos con buena sedimentabilidad, sin embargo, dejan un clarificado turbio.

Las características de un flóculo pesado, bien formado, chico y de color café obscuro tendiendo a negro son características de un lodo viejo.

Se rebasa el rango de SSV de 1500 a 3000 mg/L, en la mayoría de los reactores.

La Tabla 143 se muestra la relación de sólidos suspendidos volátiles entre los sólidos suspendidos totales.

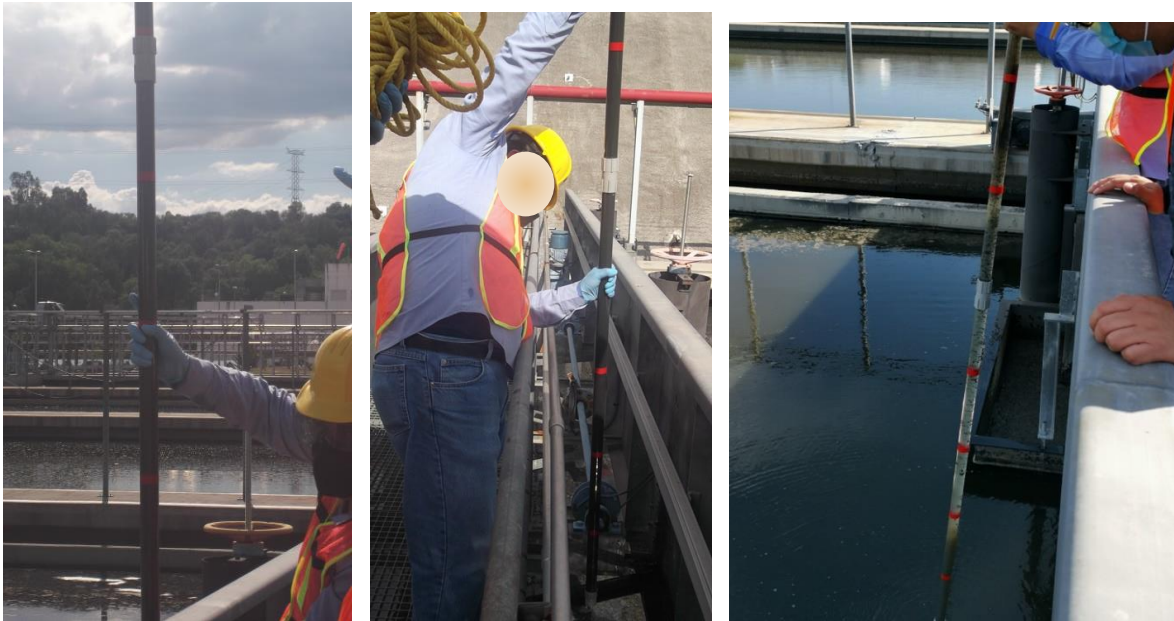
**Tabla 143. Relación SSV/SST**

| Reactor | SST (mg/L) | SSV (mg/L) | SSV/SST |
|---------|------------|------------|---------|
| RB-301  | 4057       | 2840       | 0.70    |
| RB-302  | 5965       | 3880       | 0.65    |
| RB-303  | 4377       | 3020       | 0.69    |

| Reactor | SST (mg/L) | SSV (mg/L) | SSV/SST |
|---------|------------|------------|---------|
| RB-304  | 3662       | 2600       | 0.71    |
| RB-305  | 5500       | 3740       | 0.68    |
| RB-306  | 6343       | 4440       | 0.70    |
| RB-307  | 3478       | 2400       | 0.69    |
| RB-308  | 6686       | 4680       | 0.70    |
| RB-309  | 2600       | 1820       | 0.70    |
| RB-310  | 4423       | 3140       | 0.71    |
| RB-311  | 6882       | 4680       | 0.68    |
| RB-312  | 6057       | 4240       | 0.70    |
| RB-313  | 7268       | 5160       | 0.71    |
| RB-314  | 4319       | 2980       | 0.69    |
| RB-315  | 6143       | 4300       | 0.70    |
| RB-316  | 6571       | 4600       | 0.70    |
| RB-317  | 3176       | 2160       | 0.68    |
| RB-318  | 5500       | 3740       | 0.68    |
| RB-319  | 5521       | 3920       | 0.71    |
| RB-320  | 5324       | 3780       | 0.71    |
| RB-321  | 6143       | 4300       | 0.70    |
| RB-322  | 6343       | 4440       | 0.70    |
| RB-323  | 5652       | 3900       | 0.69    |
| RB-324  | 5618       | 3480       | 0.62    |

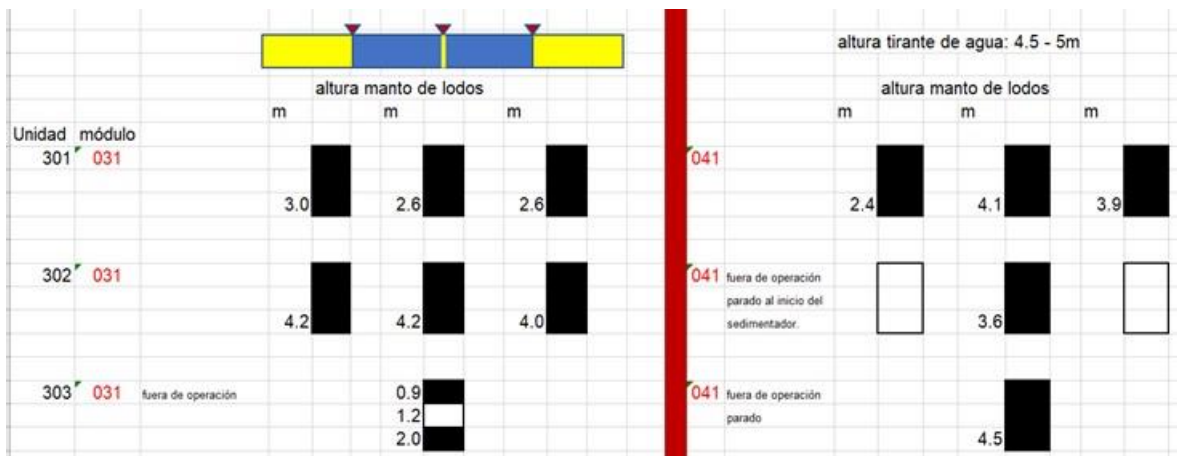
### 19.3.2.3. Manto de lodos en sedimentadores secundarios

Se realizó la medición de la altura del manto del lodo en cada una de las unidades de sedimentación secundaria (Figura 369). Las mediciones se hicieron sobre el puente viajero, cuando se encontraba a mitad del recorrido del sedimentador. Se tomaron tres medidas: al centro del puente viajero, y a la mitad de la distancia entre el centro y cada extremo del puente viajero. Se presentan los resultados por bloques de tres, en donde se representa la altura de los lodos en cada uno de ellos.

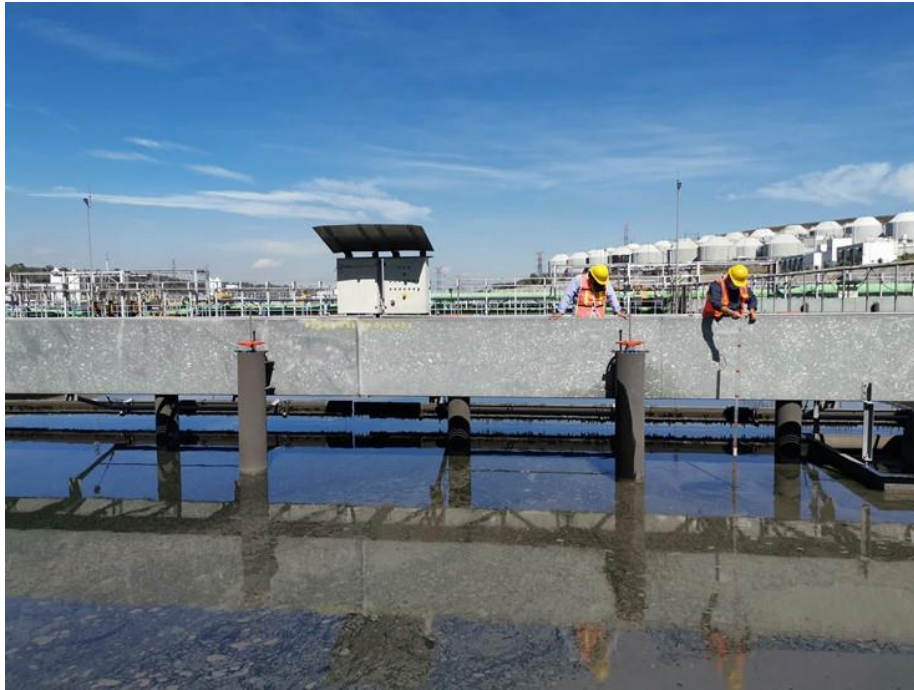


**Figura 369. Medición de mantos de lodos en los sedimentadores secundarios**

Los sedimentadores presentan mantos de lodos de hasta cuatro metros y se encuentra compactado. En una de las unidades se observa que el lodo se separó, creando una interfase de agua clarificada (unidad 303-031) (Figura 370 y Figura 371).

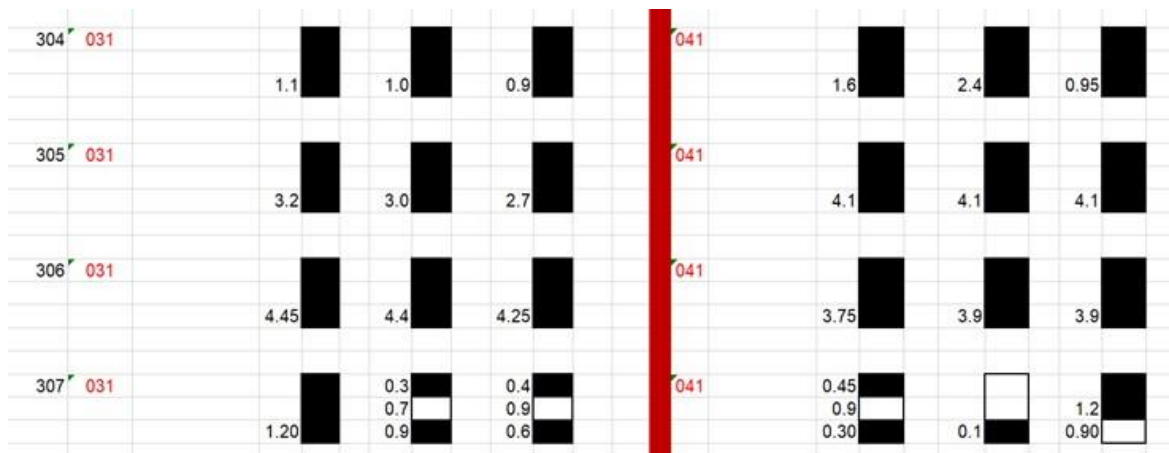


**Figura 370. Manto de lodos de los sedimentadores 301, 302 y 303**



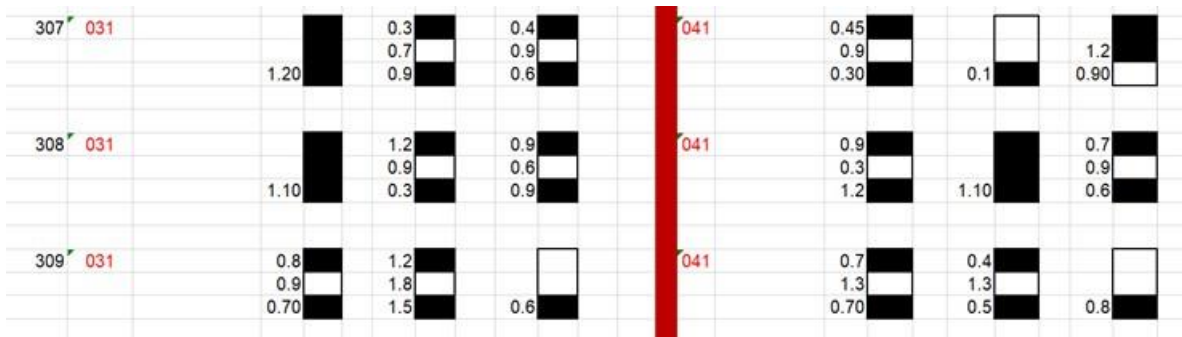
**Figura 371. Lodos flotantes en el sedimentador 302-031**

Los sedimentadores de las unidades 305 y 306 se encuentran muy azolvados. El sedimentador 304 presenta mantos de lodos más adecuados (Figura 372).



**Figura 372. Manto de lodos de los sedimentadores 304, 305 y 306**

Durante la medición del manto de lodos, el equipo 307 se detuvo. La unidad 309-031 presenta muchos lodos flotados. Se observa burbujeo de lodos en 309-031 (Figura 373 y Figura 374).

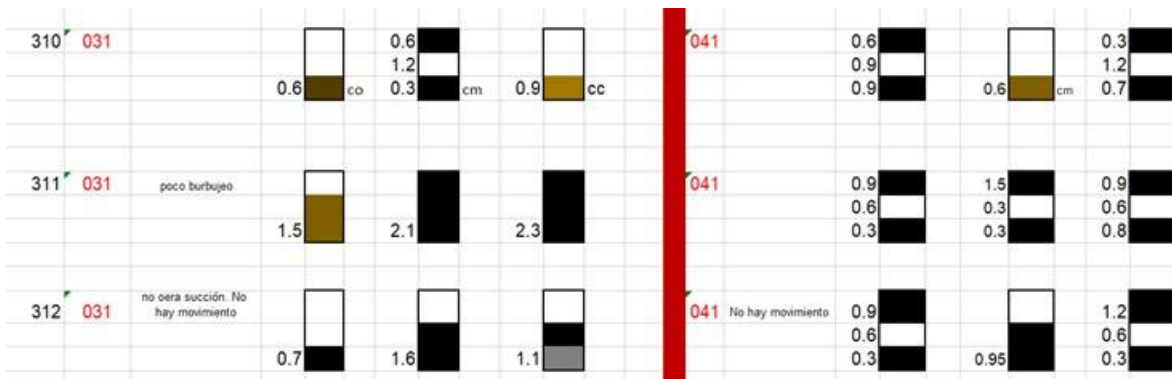


**Figura 373. Manto de lodos de los sedimentadores 307, 308 y 309**



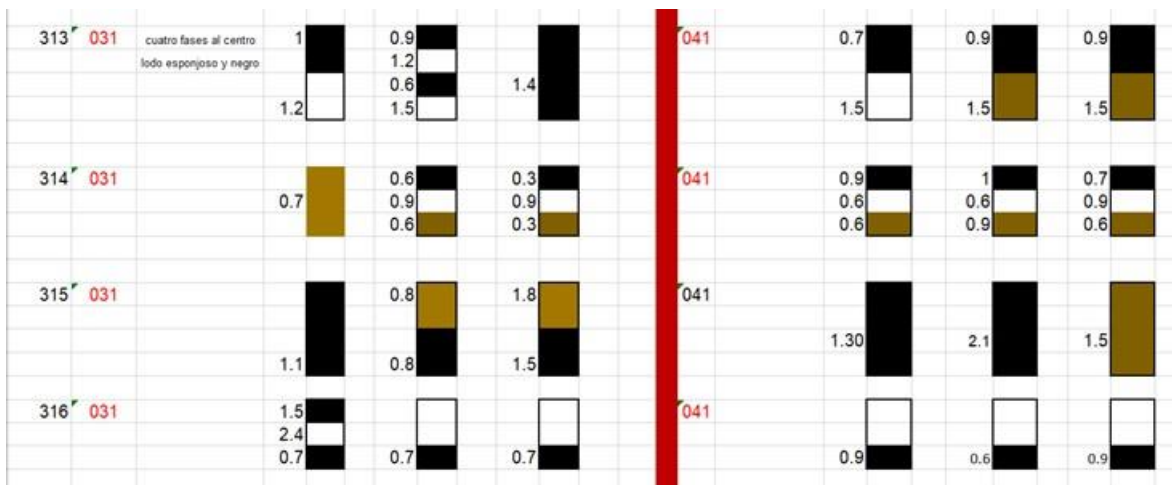
**Figura 374. Lodo biológico flotado sobre los sedimentadores secundarios**

En la unidad 312-031 no se observa movimiento ni succión. No se presenta tanta acumulación de lodos como en las unidades anteriores, pero al medir el manto se observa que las unidades 041 presentan hasta tres fases (Figura 375).



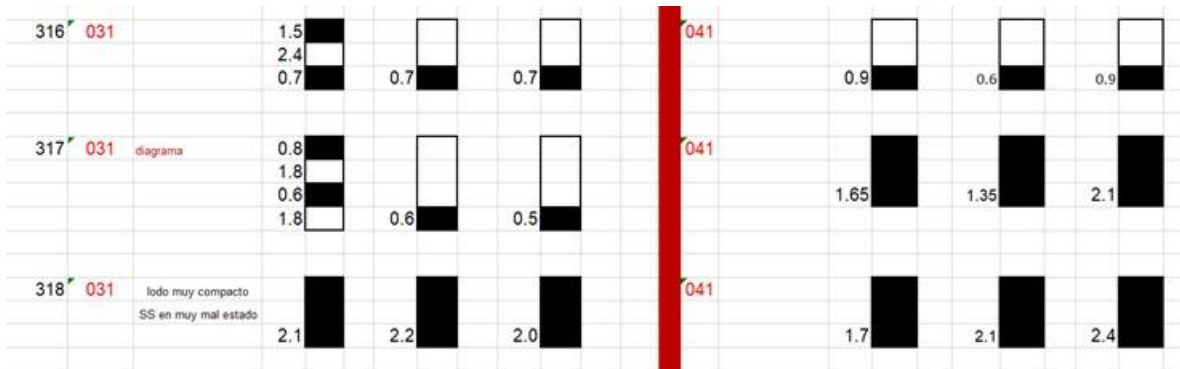
**Figura 375. Manto de lodos de los sedimentadores 310, 311 y 312**

En las unidades de sedimentación 313, 314 y 315 se observó que una fase líquida superior clara (Figura 376). No se observa mucho sobrenadante en estos sedimentadores, salvo en las orillas, aunque también se presentan en algunos de los sedimentadores tres o cuatro fases. Cabe resaltar que la unidad 313, a los extremos, presenta una fase de agua clarificada en el fondo.



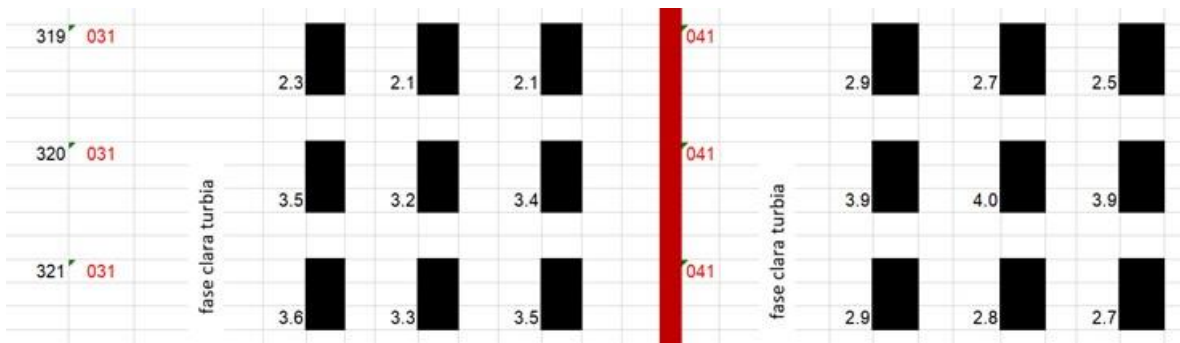
**Figura 376. Manto de lodos de los sedimentadores 313, 314 y 315**

En las unidades 316, 317 y 318, los puentes viajeros se detienen en las uniones (empates) de las losas de fondo del tanque de sedimentación. Probable problema de hundimientos diferenciales de la losa de fondo (colado defectuoso, base defectuosa) (Figura 377).



**Figura 377. Manto de lodos de los sedimentadores 316, 317 y 318**

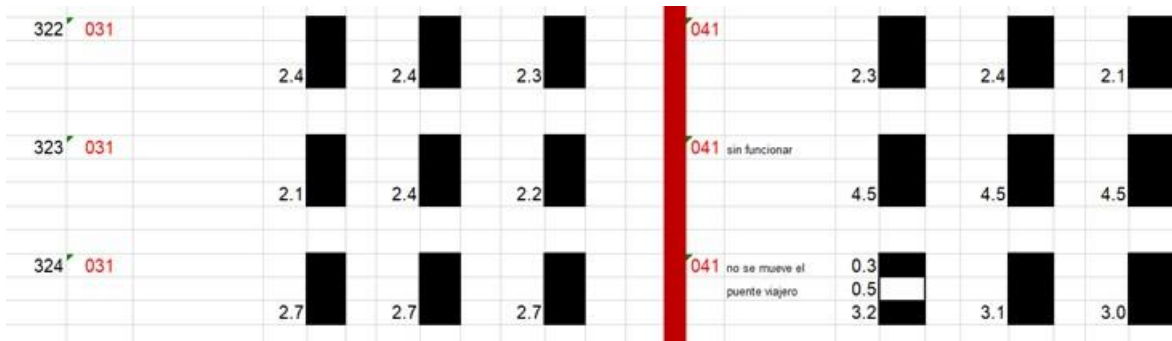
En la unidad 316-031 el puente viajero parado. La fase clara de 320 y 321 se observa turbia, no es transparente. La unidad 318-031 presenta un azolve compactado, y es un sedimentador particularmente en malas condiciones. En este módulo se presentan mantos de lodo de hasta cuatro metros, lo que indica que no se realizan purgas de los lodos biológicos. Además, son lodos negros (Figura 378).



**Figura 378. Manto de lodos de los sedimentadores 319, 320 y 321**

En este módulo, los sedimentadores no están operando, y no hay movimiento de los puentes viajeros. Los niveles del manto del lodo en la unidad 323-041 son de 4.5 m (Figura 379).

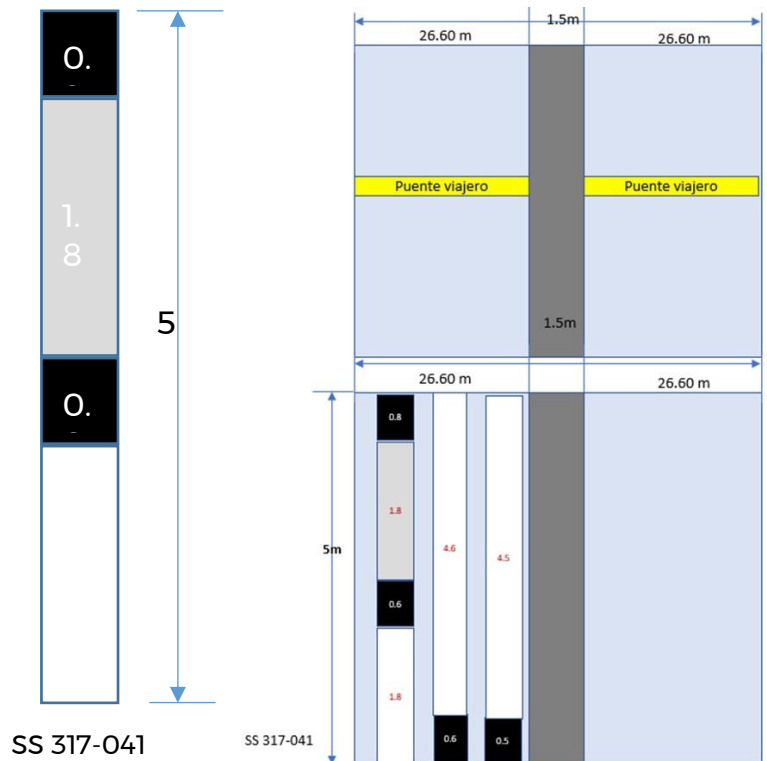




**Figura 379. Manto de lodos de los sedimentadores 322, 323 y 324**

En general, se observa un problema con la operación de los sedimentadores secundarios, ya que no se realizan purgas y los lodos son prácticamente negros en todos los sedimentadores.

En el sedimentador 317 el lodo se encontró flotando en la superficie, lo cual indica que el lodo es muy viejo y anaerobio (Figura 380).



**Figura 380. Esquema del manto de lodos en el sedimentador secundario 317-041.**

### **19.3.3. Influencia industrial**

La PTAR Atotonilco recibe aguas residuales procedentes del drenaje combinado de la Zona Metropolitana del Valle de México, que se compone de descargas de aguas residuales municipales, industriales y provenientes del drenaje pluvial. De acuerdo con la información proporcionada por el personal de la Planta, se desconoce la aportación de agua residual industrial en el influente. Sin embargo, diversos documentos publicados por la CONAGUA como los documentos de licitación para la prestación de servicios de tratamiento de aguas residuales del Valle de México y la manifestación de impacto ambiental del Túnel Emisor Oriente estiman una aportación industrial de  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , que representa 8.6% del agua residual que se trata en la PTAR.

De acuerdo con los resultados de los análisis de calidad del agua, se encontró una relación DBO/DQO de 0.29 en el influente y en el efluente. Estos resultados confirman la información sobre la influencia industrial en el influente de la PTAR, ya que de acuerdo con lo mencionado por Metcalf & Eddy (2014) una relación DBO/DQO por debajo de 0.3 indica que el agua residual es poco biodegradable por lo que puede contener compuestos tóxicos o descargas industriales.

Por otro lado, los valores de toxicidad en el influente y en el efluente a los 15 min de exposición fueron de 12.45 a 65.19 UT y de 1.13 a 17.66 UT en el influente y efluente, respectivamente. Lo que indica la presencia de sustancias tóxicas que podrían provenir de descargas industriales.

## 20. DIÁGNOSTICO DE PERSONAL

### 20.1. Recursos Humanos

En el ANEXO G se muestra la plantilla del personal que labora en la PTAR de Atotonilco, cabe destacar que de acuerdo con la información documental proporcionada por la planta existe un organigrama con las funciones y habilidades requeridas para cada puesto.

La plantilla de la PTAR está conformada por 125 personas;

- 10 administrativas
- 55 de operación, que incluye:
  - un asistente de dirección
  - un auxiliar de operación
  - un ayudante de vactor
  - un jefe de agua
  - un jefe de lodos
  - un operador de bomba hidráulica y servicios
  - un operador de cogeneración training
  - ocho operadores de lodos
  - 11 operadores de maquinaria
  - tres operadores de procesos
  - dos operadores de vactor
  - 11 operadores de pretratamiento
  - ocho operadores TPQ y TPC
  - cuatro supervisores de turno
  - un técnico de operación
- 46 mantenimiento, que incluyen:
  - un jefe centro control SCADA/Sistemas
  - un analista SCADA/Sistemas
  - un operador de grúa HIAB
  - un auxiliar de grúa HIAB
  - cuatro auxiliares de mantenimiento aguas
  - cuatro auxiliares de mantenimiento lodos
  - un auxiliar instrumentista
  - dos ayudantes de operación
  - un ayudante de vactor
  - siete ayudantes generales
  - un coordinador eléctrico
  - un oficial de instrumentación
  - ocho operadores de cogeneración
  - un pintor
  - un supervisor de cogeneración

- un supervisor de instrumentación
- un supervisor de maquinaria
- un supervisor mecánico
- un técnico
- tres técnicos mantenimiento aguas
- cuatro técnicos mantenimiento lodos
- 8 laboratorio
- 6 calidad, medio ambiente, salud e higiene

No se cuenta con la antigüedad de todo el personal. Si se considera que la PTAR inició la operación en 2017, solamente se contabilizan cinco años de antigüedad máxima a finales de 2021. Además, se registran cambios de puestos para algunos trabajadores en 2021.

Solamente se observa que la Jefa de Recursos Humanos labora desde 2015, el contador y un operador de maquinaria desde 2016, y de la plantilla, 40.8% laboran en la planta desde 2017, aunque no se especifique si es en el mismo puesto. En el otro extremo, se registra que fueron contratados 35 trabajadores (28%) en 2021.

## **20.2. Evaluación de conocimientos**

Este apartado es resultado de la aplicación del Formato 04. Evaluación de conocimientos el cual fue aplicado al personal que opera la línea de agua o que tiene que ver con esta parte del tratamiento. En dichos formatos se encontró lo que se menciona a continuación.

- Cuatro supervisores de turno. En general; debido a los años de experiencia presenta muy buenos conocimientos técnicos y conocen la PTAR.
- La mayor parte del personal tiene buenos conocimientos de la PTAR. Los operadores y técnicos de proceso tienen conocimientos básicos, generales y técnicos buenos y/o excelentes.
- Los operadores son los que presentan conocimientos regulares en la parte técnica.

Debido a la rotación de turnos, y a los periodos vacacionales, no todo el personal entregó los formatos de evaluación.

En resumen, existe un programa de capacitación continua en la planta, y en gran medida depende de la antigüedad del personal su conocimiento de la PTAR en general, así como de sus conocimientos básicos y técnicos. Es importante continuar con el programa de capacitación continua a todo el personal que labora en la PTAR para uniformizar conocimientos técnicos y básicos. Los supervisores cuentan, en general, con excelente conocimiento

de la PTAR y al menos sus conocimientos generales, básicos y técnicos son buenos.

La situación cambia con los operadores y técnicos de proceso, ya que hay algunos con experiencia con muy buenos conocimientos generales, técnicos y básicos; y otros con menos años de experiencia cuyos conocimientos son regulares.

Por otra parte, y dado el tamaño de la PTAR Atotonilco, se detecta personal muy especializado en los trabajos de su área, pero que desconoce el proceso en otras partes de la planta. Una de las solicitudes recurrentes es conocer cómo funciona el resto de la planta.

## **20.3. Capacitación**

### **20.3.1. Cursos de capacitación recibidos**

A continuación, se citan los cursos que ha recibido el personal en los últimos tres años:

- Supervisores de turno:
  - Primeros auxilios
  - Trabajos en caliente
  - Trabajos en altura
  - Riesgos eléctricos
  - Espacios confinados
- Jefes de área:
  - Trabajos en espacios confinados
  - Búsqueda y rescate/ Contraincendios
  - Energías renovables y campos de aplicación
  - Liderazgo
  - Seguridad en cuartos eléctricos
  - Inglés
  - Primeros auxilios
  - Trabajos en caliente
- Auxiliar de mantenimiento: Máximo versión 7.6
- Responsable de laboratorio y gestión ambiental:
- Auxiliares de operación:
  - Digestión anaerobia.
  - Centrífugas
  - Cogeneradores
  - Trabajos en alturas
  - Operación de centrífugas
- Operadores: Control y proceso eléctrico / Principios eléctricos
  - Uso y manejo de equipos eléctricos

- Trabajos y seguridad en espacios confinados
- Búsqueda y rescate/ Contraincendios/ Manejo de extintores
- Trabajos en alturas
- Operación de centrífugas
- Agente transformador COA
- Manejo de residuos peligrosos
- Manejo de mascarilla de escape rápido
- Seguridad en el trabajo
- Primeros auxilios
- Tipos de polímeros
- Tratamiento: biológico, químico, de lodos
- Manual regulatorio de coordinación operativa
- Manejo a la defensiva.

### **20.3.2. Temas de capacitación solicitados**

De acuerdo con la información recolectada el personal de la PTAR mencionó algunos cursos de capacitación de su interés, los cuales se desglosan a continuación:

- Supervisores de turno:
  - Liderazgo y manejo de personal
  - Digestión / Cogeneración
  - Análisis de datos
  - Manejo de Excel
  - Inglés
  - Seguridad
  - Ósmosis inversa
- Jefes de área:
  - Microbiología
  - Principios / Riesgos de electricidad
  - Cogeneración / Limpieza de biogás
  - Centrifugado
  - Deshidratado de celdas de monorelleno
- Responsable de laboratorio y gestión ambiental:
- Auxiliar de mantenimiento:
  - Máximo versión 7.6
  - Excel avanzado
  - Lubricación
  - Rodamientos y sellos mecánicos
  - Liderazgo de equipos de trabajo
- Operadores:
  - Conocimiento de las demás áreas de trabajo

- Principios / Riesgos de electricidad
- Cogeneración / Limpieza de biogás
- Otros procesos de tratamiento (biológico, químico)/ Nuevas tecnologías de tratamiento
- Tratamiento, disposición y utilización de lodos residuales
- Calidad del agua
- Espacios confinados
- Proceso de cloración
- Seguridad
- Visitas a otras PTARs
- Equipos sujetos a presiones
- SCADA
- Operación de centrífugas
- Tratamiento de aguas por lodos activados
- La función de etapas de un digestor

### **20.3.3. Material didáctico entregado**

Para solventar un poco la problemática sobre material para la capacitación continua, se entregó el siguiente material didáctico en la PTAR

- m) Manuales: El contenido de cada uno de ellos se encuentra en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1m9GYeDsYFscSYAuUpRM5BV8VBsYqT-o8?usp=sharing>
- n) Infografías
- o) Manual de ejercicios prácticos

Los Manuales constan de seis tomos cuyas temáticas son las siguientes (Figura 257).

- y) Indicadores sensoriales
- z) Indicadores analíticos
- aa)Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
- bb) Calidad del agua
- cc)Control del proceso
- dd) Seguridad e higiene



**Figura 381. Portada de los manuales.**

Se elaboraron 15 infografías con la información de los manuales, las cuales se mencionan a continuación (Figura 258):

- iii) Arranque de una PTAR de lodos activados
- jjj) Higiene y seguridad
- kkk) Indicadores analíticos A
- III) Indicadores analíticos B
- mmm) Indicadores sensoriales A
- nnn) Indicadores sensoriales B
- ooo) Índice volumétrico de lodos
- ppp) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-001-SEMARNAT-1996



- qqq) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-002-SEMARNAT-1996
- rrr) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-003-SEMARNAT-1997
- sss) Parámetros de calidad del agua
- ttt) Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados
- uuu) Problemas frecuentes en un sistema de lodos activados
- vvv) Relación alimento/microorganismos
- www) Sistema mecanizado de tratamiento de aguas residuales

## ARRANQUE DE UNA PTAR DE LODOS ACTIVADOS

**Revisión del equipo electromecánico**

Realizar un listado de todos los equipos electromecánicos por unidad de proceso. Realizar una prueba de arranque y paro, verificando el giro de motores y si es posible amperaje, esto con la finalidad de que no esté obstruido o pegado el motor.

**Revisión hidráulica de los tanques**

- Realizar el llenado de las unidades para verificar que no existan fugas o grietas en las paredes.
- El agua será transferida de tanque en tanque.
- Para realizar esta actividad es necesario contar con planos de cada una de las unidades de proceso, para señalar o marcar y describir en estos las fallas que se consideren pertinentes.

**No arrancar si faltan equipos y detalles de construcción**

El arranque de un proceso de lodos activados, se lleva a cabo en un tiempo y deben tenerse ciertos cuidados para lograr su estabilización, así como un buen funcionamiento del proceso. Se recomienda realizarlo en **verano**.

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lodos activados se puede realizar bajo **dos escenarios, con y sin inóculo**, siendo considerado este último como una situación difícil.

**ARRANQUE SIN INÓCULO**

**DÍA 1:** Introducir agua residual al reactor biológico hasta un cuarto de su capacidad y arrancar la unidad de aeración. Al no existir microorganismos en el sistema, se generará una gran cantidad de espuma.

**2:** Llenar reactor biológico a un 50% y continuar con la aeración.

**3:** Llenar reactor biológico a un 75% y continuar con la aeración.

**4:** Llenar reactor biológico a un 100% y continuar con la aeración.

**5:** Iniciar con un flujo continuo de agua residual a 25% del flujo de diseño, iniciar operación en el sedimentador secundario con recirculación al 100%. Analizar SST/M y SVLM para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras del agua residual cruda y tratada para determinar DBO y DQO y SST, para establecer la eficiencia del proceso.

**11:** Aumentar el flujo de agua residual al 50%.

**15:** Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios, continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**16:** Aumentar el flujo de agua residual al 75%.

**20:** Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios, continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**30:** Aumentar el flujo de agua residual al 100%.

**30:** Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios, continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**ARRANQUE CON INÓCULO**

**Calculo de requerimiento de inóculo:**

**Datos:** El reactor biológico tendrá 3 500 mg/L (15 kg/m<sup>3</sup>) de SST/M y un volumen de 4 354 m<sup>3</sup>. El inóculo proviene de la recirculación, con una concentración de 8 760 mg/L (8,76 kg/m<sup>3</sup>).

**Cálculo:** Masa requerida = 15 kg/m<sup>3</sup> x 4 354 m<sup>3</sup> = 65 310 kg. Volumen requerido = 65 310 kg / 8,76 kg/m<sup>3</sup> = 7 456 m<sup>3</sup>. Se inoculará con el 8% = 596 m<sup>3</sup> en la práctica como máximo se recomienda no menos del 5%.

**Días:**

**1:** Llenar el reactor biológico con agua residual, al mismo tiempo agregar el inóculo y arrancar la unidad de aeración, iniciar con un flujo de agua residual del 25%. La recirculación en el sedimentador secundario debe ser del 100%. Monitorear la formación de la espuma y continuar su desarrollo. Analizar SST/M y SVLM para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras del agua residual cruda y tratada para determinar DBO y DQO y SST, y establecer la eficiencia del proceso.

**6:** Aumentar el flujo al 50%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**10:** Aumentar el flujo al 100%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**Es difícil determinar cuándo termina el arranque y cuándo inicia la operación normal.**

- Concentraciones de los parámetros de calidad del agua del efluente.
- Similares durante varios días, tal vez indican una operación normal.
- Disminuyen valores muy rápidamente a los días de diseño.
- Parámetros de control de operación muy cercanos a los de diseño.

## HIGIENE Y SEGURIDAD

La higiene y seguridad deben iniciar por uno mismo y mantenerse para prevenir enfermedades y accidentes en el lugar de trabajo.

**Comité de higiene y seguridad**

Las actividades del comité son:

- Realizar inspecciones
- Desarrollar el manual de higiene y seguridad
- Proporcionar y supervisar capacitación
- Conducir investigaciones de accidentes y lesiones

La capacitación es importante y sirve de medida preventiva contra accidentes y enfermedades.

**Programas**

Los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento:

- Programa de higiene y seguridad
- Programa de higiene y seguridad
- Programa de higiene y seguridad

**Medidas de higiene**

**Hepatitis A, Hepatitis B, Influenza, Sarampión, Paperas, Neumonía, Rubéola, Tétanos, Difteria.**

**Norma Oficial Mexicana NOM-007-STPS-2001**  
Equipos de protección personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

**Objetivo:** Establecer las medidas de higiene y seguridad para la selección, uso y manejo de equipos de protección personal, para proteger a los trabajadores de los riesgos del medio ambiente de trabajo que afectan la salud.

**Propósito:** a) Asegurar la salud y el bienestar de los trabajadores.  
b) Evitar la exposición al riesgo de los agentes de trabajo.  
c) Que en los casos de uso personal.  
d) Que así como a los trabajadores favorezca los trabajos.

Que cumpla con las instrucciones, las recomendaciones y los procedimientos del fabricante para su uso, selección, limpieza, mantenimiento, almacenamiento, reparación y disposición final.

**La mejor defensa contra infecciones virales y bacterianas es la observación de prácticas de higiene personal, por lo que se debe:**

- Mantener manos y dedos limpios de la nariz, boca, ojos y oídos.
- Usar guantes de hule cuando se limpien bombas o accesorios, se maneje agua residual, refillas, lodos o arena, u otras tareas que impliquen contacto directo con las aguas residuales o lodos.
- Lavarse las manos con jabón, preferentemente con agua caliente, antes de comer o fumar y después de terminar los trabajos.
- Mantener las uñas cortas y remover los materiales extraños o los resaca en las mismas.
- Se recomienda el uso de diez gotas por trabajador, una para guardar raso de calle y limpia y para la ropa de trabajo.
- Bañarse al finalizar su turno de trabajo.

| Clave y región          | Clave y uso                  | Tipo de riesgo en función de la actividad  |
|-------------------------|------------------------------|--|
| Cabera                  | Casco contra impacto         | Debido a los objetos que se encuentran en la actividad.                                      |
| Ojos y cara             | Antifaz de protección        | Riesgo de proyección de partículas.  |
| Oídos                   | Tapones auditivos            | Exposición a ruidos que ocasionen pérdida de audición.                                       |
| Aparato respiratorio    | Respirador contra partículas | Exposición a las partículas que se encuentran en el ambiente.                                |
| Extremidades superiores | Guantes                      | Riesgo de lesiones por contacto con materiales que causen quemaduras, cortes, rasguños, etc. |
| Tronco                  | Overol                       | Exposición a las partículas que se encuentran en el ambiente.                                |
| Extremidades inferiores | Botas de seguridad           | Riesgo de lesiones por contacto con materiales que causen quemaduras, cortes, rasguños, etc. |

## INDICADORES ANALÍTICOS

**Empleados para:** Monitorar el funcionamiento de la PTAR Conocer la eficiencia del proceso Resolver problemas operacionales

### DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

- Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (degradar) la materia orgánica.
- Es la materia orgánica biodegradable (BOD) que entra y sale de la PTAR.
- El consumo de DBO  $\approx$  90% indican problemas en la PTAR.
- El consumo de DBO  $\approx$  40% indican problemas en la PTAR.
- Dado así en un balance entre la cantidad de alimento que entra y los microorganismos presentes en el reactor biológico.

### FLUJO DE AGUA

- El operador tiene el control de la cantidad de agua que ingresa a la PTAR.
- Se emplea para el control del proceso, para evitar que se genere un exceso de agua, que genere problemas de recirculación y purga de lodos y clarificación de productos químicos.
- Controlar con un "flow meter" para caudales mayores al de diseño.
- Se debe contar con un equipo medidor de gasto continuo.

### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

- Es la cantidad de oxígeno que se requieren para oxidar la materia orgánica por medios químicos.
- La relación DBO/DQO se obtiene monitoreando los dos parámetros durante un largo periodo de tiempo para establecer su tendencia o comportamiento.
- Con esta relación y determinando la DQO se calcula la DBO.
- Con esta relación se puede determinar la DBO como días de separación de sólidos.
- DQO/DQO  $\approx$  1.2 indica desechos en industrial poco biodegradable.
- DQO/DQO  $\approx$  1.5 indica desechos en industrial biodegradable.
- DQO/DQO  $\approx$  0.5 indica descarga urbana biodegradable.
- Tratamiento biológico.

### GRASAS Y ACEITES

- En vuelcos a los microorganismos, interfiriendo con la transferencia de materia orgánica soluble a través de su pared celular, por lo cual mueren por falta de alimento.
- Cuando entra 100 y 150 mg/l, empiezan a los lodos a la superficie del sedimentador secundario.
- Cuando entra 150 mg/l, se presenta aglomeración de lodos en el reactor biológico, lo que ocasiona pérdida de SSV y una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica.

### NUTRIENTES

- Los microorganismos requieren especialmente **NITRÓGENO** y **FOSFÓFORO** para su desarrollo.
- En las aguas residuales urbanas existen en cantidad suficiente para los microorganismos.
- En influencias industriales, en algunos casos, se requiere su adición para su tratamiento por medios biológicos.

### TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

Tiempo que permanece cierta cantidad de agua en un tanque. En el tanque de afluencia los microorganismos necesitan tiempo de retención para comer y digerir la materia orgánica soluble.

| Unidad                  | Mayor   | Menor  |
|-------------------------|---|--|
| Reactor biológico       | Resistencia analítica. Genera proliferación de microbios. | Baja eficiencia de remoción de DBO.                                    |
| Sedimentador secundario | Desbordamiento. Análisis SST en el afluyente.             | El lodo no tiene tiempo de asentamiento. Análisis SST en el afluyente. |

### TEMPERATURA

Rango óptimo para la actividad bacteriana aerobia: 25 - 32°C

| Actividad de microorganismos | Alta | Baja |
|------------------------------|------|------|
| Desbordamiento               | Alto | Bajo |
| Resistencia de nutrientes    | Alto | Bajo |
| Resistencia bacteriana       | Bajo | Alto |

El aire de un soplador puede incrementar la temperatura del agua hasta en 2°C. Debido a que puedes salir alrededor de los 100°C.

### pH

Rango óptimo para mantener la actividad y el desarrollo de los microorganismos en el tanque de afluencia: 6.0 - 8.5 unidades.

Por arriba de 9 unidades de pH a 10.0 unidades la población biológica muere.

En un proceso que nitrifica se espera un descenso de pH 0.2 a 0.3 unidades, entre el agua de entrada y la de salida.

### OXÍGENO DISUELTUO (OD)

De 1 a 2 mg/l, OD residual satisfacen el ingreso de una carga orgánica alta.

- La falta de un OD residual, inhibe la actividad microbiana y disminuye la remoción de nutrientes.
- Un OD residual mayor a 5 mg/l, afecta negativamente los sedimentadores secundarios, ya que la mezcla rompe los flocos, esta situación disminuye afluente y efluente.

### CONSUMO DE OXÍGENO

Permite conocer la actividad microbiana en el reactor biológico al medir la velocidad de consumo de oxígeno.

- Actividad microbiana alta o ingreso una alta carga orgánica o hay demasiados microorganismos.
- Comportamiento ideal, consumo en los primeros minutos alto, pero con el tiempo se estabiliza y si llegar a un valor de cero.
- Consumo de oxígeno lento y rápidamente se hace sintético, denota presencia de pocos microorganismos, o una toxicidad química que limita su respiración.
- Si no existe consumo de oxígeno, la actividad microbiana es nula, indica que ocurrió una toxicidad aguda.

### SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y VOLÁTILES

- Los SST se emplean para los ajustes de recirculación y de purga de lodos.
- Los SVV indican indirectamente la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de afluencia.
- Los SVV se emplean para calcular la relación alimento/microorganismos (A/M) y el tiempo medio de retención celular (TMCRC).

MEDIO AMBIENTE | IMTA

## INDICADORES ANALÍTICOS

**Empleados para:** Monitorar el funcionamiento de la PTAR Conocer la eficiencia del proceso Resolver problemas operacionales

### TEMPERATURA

Rango óptimo para la actividad bacteriana aerobia: 25 - 32°C

| Actividad de microorganismos | Alta | Baja |
|------------------------------|------|------|
| Desbordamiento               | Alto | Bajo |
| Resistencia de nutrientes    | Alto | Bajo |
| Resistencia bacteriana       | Bajo | Alto |

El aire de un soplador puede incrementar la temperatura del agua hasta en 2°C. Debido a que puedes salir alrededor de los 100°C.

### OXÍGENO DISUELTUO (OD)

De 1 a 2 mg/l, OD residual satisfacen el ingreso de una carga orgánica alta.

- La falta de un OD residual, inhibe la actividad microbiana y disminuye la remoción de nutrientes.
- Un OD residual mayor a 5 mg/l, afecta negativamente los sedimentadores secundarios, ya que la mezcla rompe los flocos, esta situación disminuye afluente y efluente.

### CONSUMO DE OXÍGENO

Permite conocer la actividad microbiana en el reactor biológico al medir la velocidad de consumo de oxígeno.

- Actividad microbiana alta o ingreso una alta carga orgánica o hay demasiados microorganismos.
- Comportamiento ideal, consumo en los primeros minutos alto, pero con el tiempo se estabiliza y si llegar a un valor de cero.
- Consumo de oxígeno lento y rápidamente se hace sintético, denota presencia de pocos microorganismos, o una toxicidad química que limita su respiración.
- Si no existe consumo de oxígeno, la actividad microbiana es nula, indica que ocurrió una toxicidad aguda.

### SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y VOLÁTILES

- Los SST se emplean para los ajustes de recirculación y de purga de lodos.
- Los SVV indican indirectamente la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de afluencia.
- Los SVV se emplean para calcular la relación alimento/microorganismos (A/M) y el tiempo medio de retención celular (TMCRC).

MEDIO AMBIENTE | IMTA

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Material flotante

- Indicador de altas concentraciones de grasas y aceites.
- Interfiere con la sedimentación y puede causar bajas eficiencias de remoción de DBO.

### Acumulación de sólidos

- Su origen se debe a una operación ineficiente del desarenador o del sedimentador primario o secundario.
- Reduce el volumen efectivo de las unidades de proceso afectando su eficiencia.
- Generan zonas anaerobias que provocan problemas de sedimentación y mal olor.

### Trayectoria de flujos

- La observación de la trayectoria del flujo se utiliza para detectar cortocircuitos.
- Los cortocircuitos son visibles al observar el movimiento de la espuma, sólidos suspendidos o materia flotante.
- Problema: reducción de tiempos de retención hidráulico, generando operación inadecuada.

### Mezcla y turbulencia

- Un tanque bien mezclado presenta uniformidad de concentraciones en todo su volumen.
- Indicadores de mezclado en el reactor biológico: Formación de depósitos de sólidos en las esquinas. Zonas con concentraciones de OD de cero. Diferencia de concentraciones entre zonas en OD o de SS.
- Turbulencias no uniformes o de baja turbulencia pueden ser causadas por:
  - Difusores obstruidos.
  - Difusores dañados.
  - Exceso de aeración.

### Burbujeo

- En el sedimentador secundario indican que el lodo tiene mucho tiempo de reedición (desnitrificación) se debe incrementar la recirculación de lodo.
- En canales, desarenadores y tanque de contacto de cloración limpidez del efluente se presenta acumulación de sólidos y condiciones anaerobias, que generan burbujas y arrastre de sólidos.

MEDIO AMBIENTE | IMTA

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Color

- Lodo activado aerado en buenas condiciones: Color café lactado.
- Es un Indicativo del estado de salud del lodo.
- Las condiciones de alimento proporcionan diferentes tonalidades.
- Las condiciones ambientales le dan diferente tono de color café.

### Olor

- Una PTAR bien operada no genera malos olores.
- Un proceso de lodos activados saludable tiene un ligero olor a humedad (tierra mojada).
- Un lodo séptico, cambia su color a oscuro y el olor es similar al del huevo podrido.

### Tacto

- Una temperatura o vibración excesiva en equipos electrónicos y tuberías advierten un mal funcionamiento.

### Algas

- Su crecimiento en las paredes de los tanques o en las cañanetas recolectoras indica que altos niveles de nutrientes.

### Turbiedad del efluente

- Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario o en el tanque de contacto de cloro indican un mal funcionamiento de la PTAR.

### Espuma

- Color café oscuro: Se puede presentar en el reactor biológico y en el sedimentador secundario y se debe a un alto contenido de grasas y aceites que encapsulan a los microorganismos y los flotan.
- Color café claro: Los niveles de sólidos no son adecuados. El lodo no tiene la edad requerida, es joven.
- Color blanco: En tanque de regulación, reactor biológico y afluente alta concentración de detergentes. Es una condición específica del arranque de una planta. Se presenta en flujos de efluente por las manchas y por mayor impacto en invierno, debido a que la temperatura afecta la actividad metabólica de los microorganismos y no degradan los detergentes.

MEDIO AMBIENTE | IMTA



**NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL**

NOM-002-SEMARNAT-1996

- Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal
- Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y en observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.



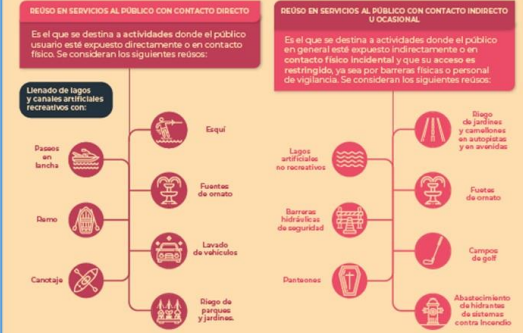
**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES**

| Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | Promedio mensual | Promedio diario | Instantáneo |
|---|------------------|-----------------|-------------|
| Grasas y aceites  | 50               | 75              | 100         |
| Sólidos sedimentables (mililitros por litro)                          | 5                | 7.5             | 10          |
| Arsénico total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cadmio total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cianuro total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Cobre total   | 10               | 15              | 20          |
| Cromo hexavalente   | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Mercurio total  | 0.01             | 0.015           | 0.02        |
| Níquel total  | 4                | 6               | 8           |
| Plomo total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Zinc total  | 6                | 9               | 12          |

**NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL**

NOM-003-SEMARNAT-1997

- Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público
- Con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.



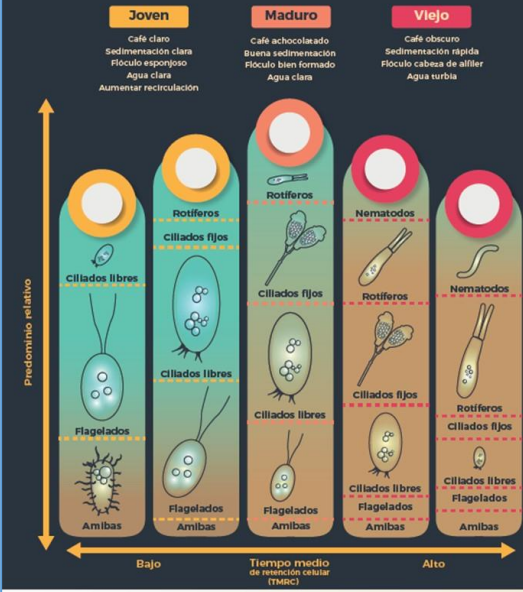
| TIPO DE REUSO   | PROMEDIO MENSUAL               |                        |                         |                         |            |
|---|--------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
|   | Coliformes Fecales (MPN/100ml) | Numero de Hechizo (Nº) | Grasas y aceites (mg/l) | DBO <sub>5</sub> (mg/l) | SST (mg/l) |
| Servicios al público con contacto directo               | 340                            | ≤ 1                    | 15                      | 20                      | 20         |
| Servicios al público con contacto indirecto u ocasional | 1,000                          | ≤ 5                    | 15                      | 30                      | 30         |

- La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada.
- El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

**PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA**

| PARÁMETRO                      | ABREVIACIÓN  | IMPORTANCIA  |
|--------------------------------|--|--|
| Sólidos totales                | ST   | Para evaluar el tipo potencial de un agua residual y residual tratado y determinar el posible tipo de operación o proceso para su tratamiento.   |
| Sólidos volátiles totales      | SVT  |  |
| Sólidos fijos totales          | SFT  |  |
| Sólidos suspendidos totales    | SST  |  |
| Sólidos suspendidos volátiles  | SSV  |  |
| Sólidos suspendidos fijos      | SSF  |  |
| Sólidos disueltos totales      | SDT  |  |
| Sólidos disueltos volátiles    | SDV  |  |
| Sólidos sedimentables          | SSed   |  |
| Turbiedad                      |  |  |
| Color                          |  | Índice para evaluar la calidad del agua residual tratada.  |
| Oloro                          |  | Para evaluar las condiciones del agua.   |
| Temperatura                    |  | Para determinar si existe posible ser un problema.   |
| Conductividad                  | CE   | Es importante en el diseño y operación de procesos de tratamiento biológico.   |
| Amoníaco libre                 | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>   | Empleada para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.  |
| Nitrógeno orgánico             | N Org  | Su determinación es por gravedad por un periodo específico de tiempo.  |
| Nitrógeno total Kjeldahl       | NTK  |  |
| Nitritos                       | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>   |  |
| Nitrazos                       | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>   |  |
| Nitrógeno total                | NT   |  |
| Fósforo inorgánico             | P Inorg  | Para determinar si existe posible ser un problema. Es importante en el diseño y operación de procesos de tratamiento biológico.  |
| Fósforo total                  | PT   |  |
| Fósforo orgánico               | P Org  |  |
| pH                             |  |  |
| Alcalinidad                    |  |  |
| Cloruro                        | Cl <sup>-</sup>  | Empleado para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.  |
| Sulfato                        | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>  | Para evaluar la potencialidad de generar olores y su impacto en el tratamiento de lodos residuales.  |
| Metales                        | Ag, As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Hg, Mn, Ni, K, Mo, N, Se, Na, Zn | Para evaluar la posibilidad de reuso del agua residual tratada y sus efectos tóxicos en el tratamiento. Cambios de traza pueden ser importantes para el desarrollo de los microorganismos en un tratamiento biológico. |
| Demanda bioquímica de oxígeno  | DBO  | Cantidad de oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica biodegradable.  |
| Demanda química de oxígeno     | DQO  | A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO. Puede ser usado junto con la DBO para determinar la materia orgánica no biodegradable.  |
| Carbono orgánico total         | COT  | A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO.   |
| Toxicidad                      |  | Toxicidad aguda o crónica ocasionada por presencia de metales o COV.   |
| Compuestos orgánicos volátiles | COV  | Para determinar la presencia de compuestos orgánicos específicos y evaluar si es necesario medidas especiales de diseño para su remoción.  |
| Organismos coliformes          | CT, CF   | Para evaluar la presencia de bacterias patógenas y la efectividad del proceso de desinfección.   |
| Microorganismos específicos    | Bacterias, protozoarios, helmintos, virus                            | Evaluación de la presencia de organismos específicos en un proceso de tratamiento biológico.   |

**Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados**





## SISTEMA MECANIZADO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

**FUNCIÓN**

**INFLUENTE**

- Remoción de sólidos gruesos (basura) → **REJILLAS**
- Remoción de gravas y → **DESARENADOR**
- Regulación del gasto de entrada, homogeneización de la calidad del agua → **REGULACIÓN**
- Medición de la cantidad de agua que ingresa → **MEDICIÓN**
- Remoción de material flotante y sedimentable → **SED. PRIMARIO**
- Estabilización biológica de la materia orgánica → **REACTOR BIOLÓGICO**
- Clarificación del agua residual tratada → **SED. SECUNDARIO**
- Eliminación de bacterias patógenas (coliformes fecal) → **DESINFECCIÓN**
- EFLUENTE** DISPOSICIÓN O REÚSO

**TRATAMIENTO**

**FUNCIÓN**

- ESPEADOR**
  - Eliminación de agua
  - Concentración de sólidos
- DIGESTOR**
  - Estabilización biológica
  - Mineralización de microorganismos
- DESHIDRATACIÓN**
  - Eliminación de agua
  - Concentración de sólidos
- DISPOSICIÓN O REÚSO**

MEDIO AMBIENTE | IMTA

MEDIO AMBIENTE | IMTA

Figura 382. Infografías.

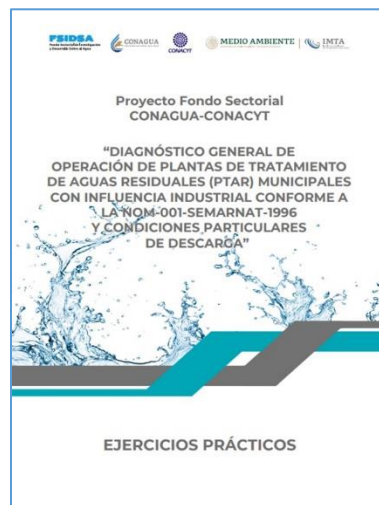
En el Manual de ejercicios prácticos (Figura 259) se presentan una serie de ejercicios prácticos que están clasificados por niveles, de tal manera que el operador podrá resolverlos inicialmente por él mismo. Posteriormente, la complejidad de los ejercicios le requerirá hacer uso de materiales de apoyo, o recurrir a sus colegas para dar una solución adecuada, y finalmente en un nivel superior, para poder resolver el ejercicio tendrá que recurrir a la ayuda del instructor.

Para la ejecución de estos ejercicios se hará uso de:

- Preguntas de opción múltiple
- Preguntas directas
- Presentación de problemas operacionales
- Preguntas de reflexión, con problemas que desde un punto de vista pueden presentar múltiples interacciones entre los procesos.

Estos ejercicios están relacionados a su vez con conocimientos generales, teóricos y prácticos de la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por lo anterior, lo que pretende este manual es que el operador al final cuente con los conocimientos que le permita discernir los niveles de problemas operacionales que se pueden presentar en una PTAR y, a su vez, tener una herramienta que le permita jerarquizarlos para obtener la mejor y correcta solución.



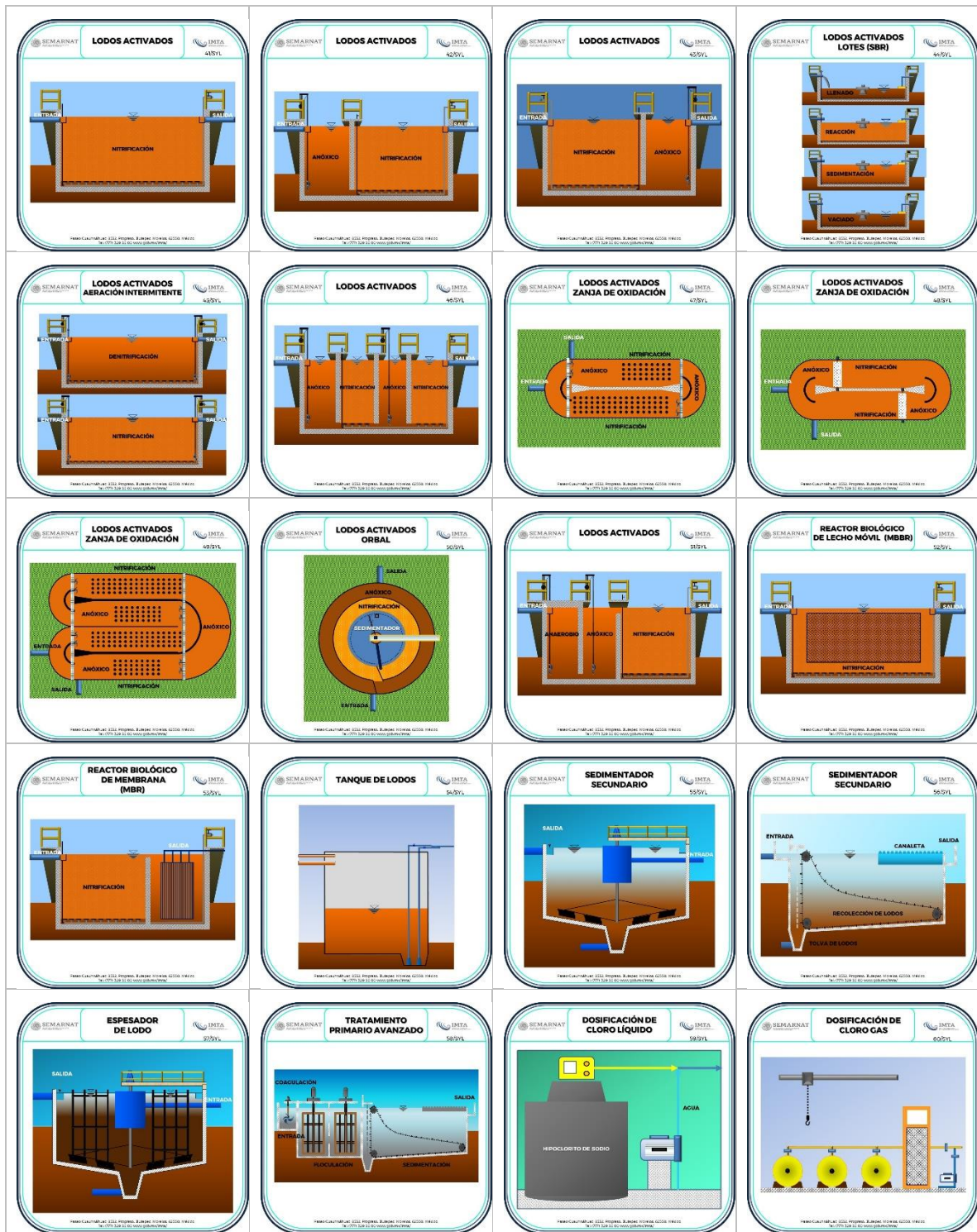
**Figura 383. Manual de ejercicios prácticos.**

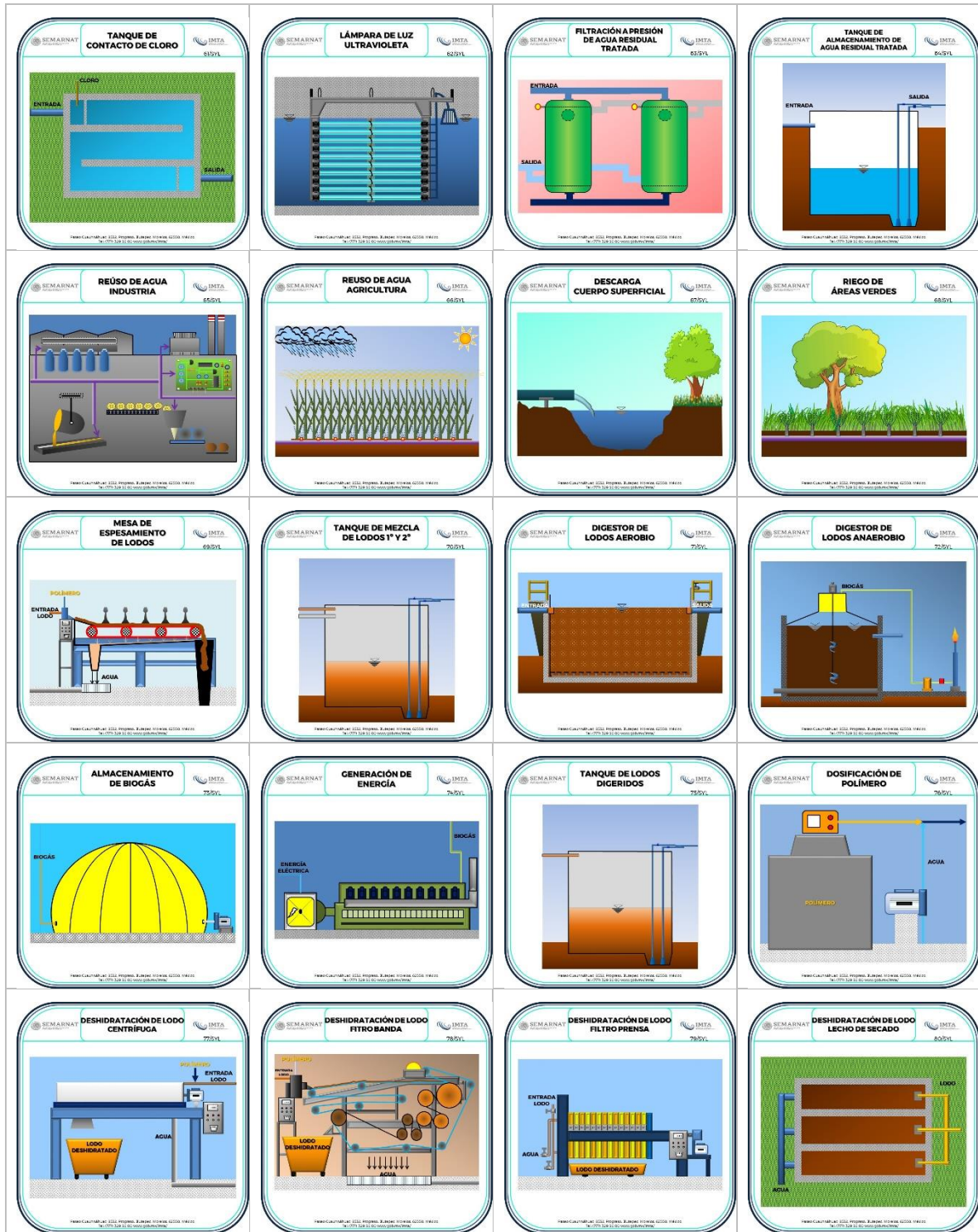
Este manual va acompañado de un kit de imágenes (Figura 260) que representan todos los posibles procesos que pueden estar presentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.













**Figura 384. Kit de figuras.**

En la Figura 385 se muestra fotografía de la entrega del material didáctico en la PTAR.



**Figura 385. Entrega de material didáctico**

## 21. SEGURIDAD E HIGIENE

De acuerdo con la información recabada en campo, se cuenta con un estudio de análisis de riesgos en la PTAR, y se tiene identificadas las zonas de riesgo: sismo, inundación, nivel cerámico, explosión, incendio, disturbio, derrame, riesgo sanitario, riesgo químico, riesgo de gases orgánicos, riesgo de caídas, riesgos eléctricos, riesgos con sopladores, riesgos con equipos pesados, ingreso de personal no autorizado.

La planta se cuenta con planes de contingencia para atención: a incendios, a derrames de combustibles, a sismo, a explosión, de personal, a sabotajes, para el transporte y almacenamiento de combustibles y sustancias químicas, así como las prácticas para la realización de simulacros

El responsable de seguridad e higiene es el Ing. Abysael Amando Maya Juárez, quien funge como Coordinador del comité de emergencias.

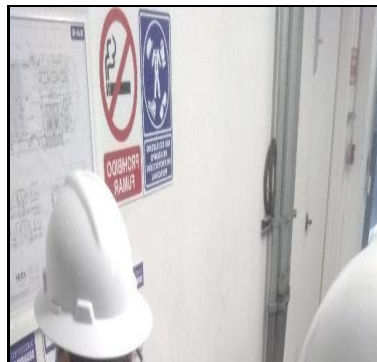
Se cuentan con Brigada de evacuación, búsqueda y rescate, Brigada de primeros auxilios, Brigadas de prevención y combate de incendio y de Comunicación. Estas brigadas cuentan con una capacitación anual proporcionada por personal externo a la PTAR.

Existen dentro de la planta disposiciones de seguridad tales como el uso de equipo de protección, disposiciones de seguridad para el personal que ingresa a la planta,

Además de contar con barda perimetral, la planta se encuentra resguardada por personal de seguridad que revisa el ingreso de toda persona que ingrese a las instalaciones.

Dentro de la organización de la planta se cuenta con una brigada de evacuación, una brigada de primeros auxilios y una brigada de prevención y combate de incendio.

Hay señalizaciones en la planta. Se presentan algunos ejemplos (Figura 386 a Figura 393).



**Figura 386. Señales de seguridad e higiene**



**Figura 387. Señales de las áreas para el uso obligatorio del equipo de protección personal**



**Figura 388. Señales de aplicación del código de colores, señalización y la identificación en las tuberías**



**Figura 389. Señales de identificación de los depósitos, recipientes y áreas que contengan sustancias químicas peligrosas o los residuos de éstas**



**Figura 390. Señales de las rutas de evacuación**



**Figura 391. Señales de control de velocidad y zonas de peligro**



**Figura 392. Señales de la ubicación de los extintores**



**Figura 393. Señales de la ubicación de los lavajos**

La PTAR Atotonilco cuenta con enfermería, médico de planta y paramédico (Figura 394).



**Figura 394. Médico de planta y paramédico**

En lo que respecta a la gestión de riesgos sanitarios, se cuenta con el esquema de vacunación de trabajadores (Figura 395) y de la vacuna específica solicitada por PTAR, se requiere el uso de ropa y zapatos adecuados, guantes, mascarilla, lentes transparentes, casco. Asimismo, se cuenta con un lugar designado para consumo de alimentos y está prohibido fumar dentro de las instalaciones. El uso de gel antibacterial se lleva a cabo de manera consuetudinaria, y se cuenta con un sitio especial para la disposición de guantes y mascarillas (Figura 396). Se recomienda al personal el uso de duchas al terminar el turno.



COA  
Campaña de Vacunación y programa API  
CONTRATISTAS

Reporte de la siguiente:

| NO. | CONTRATISTA | FECHA | VACUNAS | PROGRAMA API | CONTRATISTA | CONTRATISTA |
|-----|-------------|-------|---------|--------------|-------------|-------------|
| 1   | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 2   | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 3   | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 4   | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 5   | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 6   | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 7   | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 8   | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 9   | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 10  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 11  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 12  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 13  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 14  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 15  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 16  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 17  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 18  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 19  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 20  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 21  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 22  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 23  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 24  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 25  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 26  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 27  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 28  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 29  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 30  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 31  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 32  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |
| 33  | ...         | ...   | ...     | ...          | ...         | ...         |

**Figura 395. Esquema de vacunación de trabajadores**



**Figura 396. Disposición de guantes y mascarillas**



## 22. LABORATORIO

La PTAR Atotonilco cuenta con un laboratorio (no certificado) de análisis equipado, en donde se realizan diariamente los análisis para el control del proceso. Durante la visita técnica se pudo observar que cuenta con los equipos, materiales e instrumentos para realizar los análisis de seguimiento de la calidad del agua residual de la PTAR. La responsable del laboratorio es la I.Q. María del Socorro López de la Cruz.

Cada año, y como parte del contrato con el proveedor del servicio de mantenimiento del cromatógrafo de gases (CG), se realiza una capacitación de seis horas para el personal que opera el CG, aunque esta capacitación no se documenta como parte del programa de capacitación del personal del laboratorio.

En el laboratorio de la PTAR se realizan: Sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), DQO, DBO, grasas y aceites, Nitrógeno Kjeldahl (NTK). Los SST y SSV se determinan de lunes a sábado, mientras que el análisis de la DQO y de la DBO se realiza tres veces a la semana. En el laboratorio laboran siete personas:

- Jefa de laboratorio
- Analista especializado en cromatografía de gases
- Dos analistas para DQO, DBO, SST y SSV
- Tres auxiliares de laboratorio que apoyan en los análisis de DQO, DBO, SST y SSV, además de realizar muestreos.

Además, se tiene contrato con el laboratorio ABC Analitic (certificado) para realizar los análisis de DQO, DBO, SST y SSV además de otros análisis.

Las instalaciones de la planta son adecuadas, identificadas, ordenadas, limpias y hay una distribución ordenada de materiales, reactivos y equipos en todas las áreas de laboratorio (Figura 397). Se cuenta con bitácoras.

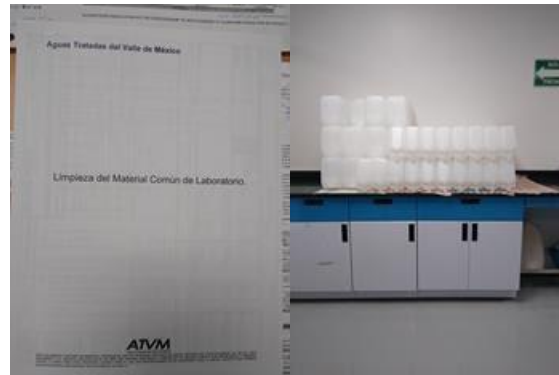


**Figura 397. Laboratorio de control de proceso de la PTAR Atotonilco**

El programa de mantenimiento no está documentado, pero se realiza una vez al año. Durante el recorrido se observó que las instalaciones eléctricas

se encuentran en buen estado, la ventilación es apropiada (aire acondicionado).

En cada procedimiento analítico se indica como se debe lavar el material y se cuenta con un área exclusiva para la recepción de muestras (Figura 398).



**Figura 398. Manual de limpieza del material común de laboratorio y área exclusiva para recepción de muestras**

El laboratorio cuenta con materiales de referencia adecuados, se observó que se utilizan reactivos grado analítico, se considera que el espacio entre el mobiliario es adecuado, hay suficientes conexiones eléctricas, la iluminación es adecuada y en lo que concierne el área de pesaje, se observó que la mesa donde reposa la balanza analítica tiene una separación con la base de la balanza que impide vibraciones en el pesado. Se cuenta con suficiente área de almacenamiento de muestras, insumos y reactivos, y se cuenta con regadera y lavaojos.

En todo el laboratorio se encuentran señalizaciones de emergencia, tipo de área, precaución, uso de equipo, seguridad, protección personal, etc., y las gavetas almacenan reactivos (Sistema SAF-T-DATA) de acuerdo con un código de colores y a la vista se observó la lista de reactivos. En cada área se encontró señalización que indica la ruta de evacuación. El laboratorio cuenta con el equipo de protección básico como guantes, zapato de seguridad y protección ocular. Cuenta con campana de extracción para reactivos que desprenden vapores.

Se cuenta con Reglamento del laboratorio, Manual de análisis de laboratorio (físico y digital) y Manuales de los equipos (Figura 399). Además, se cuenta con las hojas de datos de seguridad (HDS) de reactivos y sustancias químicas.



**Figura 399. Reglamento del laboratorio, manuales de análisis y de equipo.**

No se cuenta con botiquín de primeros auxilios ya que se considera que es suficiente con el consultorio médico y paramédicos, los cuales están presentes las 24 horas del día.

Un área de oportunidad de mejora es la implementación de bitácoras de equipo para registrar su utilización y dar seguimiento al mantenimiento de los equipos, bitácora de limpieza del laboratorio y bitácoras personales de los analistas. Actualmente, se utiliza una carpeta por análisis donde se almacenan los registros de cada análisis firmado por cada analista.

## 23. CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR

### 23.1. Causas

Para poder ponderar las causas que influyen de manera negativa en el desempeño de la PTAR, se hace uso de una clasificación que consta de tres niveles de impacto, a saber:

#### Nivel I

Son los que presentan un mayor efecto y con problemas físicos difíciles de resolver de las unidades de proceso más importantes.

#### Nivel II

Son los que contribuyen rutinariamente al bajo desempeño o producen mayores efectos en una base periódica o estacional.

#### Nivel III

Son los que presentan mínimos efectos, fáciles y económicos de resolver, normalmente de operación y administración.

Así, tomando como base la información obtenida de los capítulos anteriores, y la clasificación de las causas que influyen en el desempeño de la PTAR, se elaboró la Tabla 88.

**Tabla 144. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR**

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño                       | Atención      |
|-----|-------|---|---------------|
| 1   | I     | Desarenadores fuera de operación                    | Mediano plazo |
| 2   |       | Exceso de arenas en influente                       | Largo plazo   |
| 3   |       | Rejillas finas y gruesas fuera de operación         | Mediano plazo |
| 1   | II    | Sedimentadores primarios no funcionan adecuadamente | Mediano plazo |
| 2   |       | Falta de purga en sedimentadores secundarios        | Corto plazo   |

## 23.2. Descripción de la causa y recomendaciones

### 23.2.1. Nivel I

| Causa  | Recomendación  |
|--|--|
| <p><b>Causa 1. Desarenadores fuera de operación</b></p> <p>Se encontró que la mayor parte de los desarenadores se encuentran dañados por el exceso de arenas presentes en el agua residual del influente.</p>  | <p>Se requiere dar mantenimiento y reparar los equipos para que funcionen adecuadamente y puedan remover la carga de arenas para lo que fueron diseñados.</p>  |
| <p><b>Causa 2. Exceso de arenas en el influente</b></p> <p>Se encontró que hay un exceso de arenas en el influente y de rocas de mayor tamaño que a su paso por las unidades de proceso dañan los equipos y hacen que deje de funcionar de forma adecuada el pretratamiento y el tratamiento primario.</p> | <p>Debido a que no se puede manipular la cantidad de arenas en el influente a la planta, se sugiere la instalación de hidrociclones para remover la mayor parte de las arenas en el pretratamiento (se ha encontrado que los hidrociclones remueven del 70 al 90% de las arenas en PTAR) y posteriormente pasar el agua residual a los desarenadores para remover las arenas remanentes.</p> |
| <p><b>Causa 3. Rejillas finas y gruesas fuera de operación</b></p> <p>Las rejillas finas y gruesas automatizadas se encuentran en muy estado. Al no haber un sistema de cribado adecuado y eficiente, y sobre todo, en buenas condiciones, genera que haya basuras en los procesos subsecuentes.</p>       | <p>Reparación de los equipos de cribado para eliminar los sólidos en las unidades subsecuentes.</p>  |

**23.2.2. Nivel II**

| <b>Causa</b>   | <b>Recomendación</b>   |
|--|--|
| <p><b>Causa 1. Sedimentadores primarios no funcionan adecuadamente</b></p> <p>Actualmente los sedimentadores primarios no funcionan adecuadamente, ya que contienen grandes cantidades de arena y basuras que no fueron retenidas en los procesos previos.</p>   | <p>Poner en funcionamiento el sistema de cribado y desarenadores para evitar que los sólidos gruesos entren a los sedimentadores primarios. Se requiere limpieza y mantenimiento.</p>  |
| <p><b>Causa 2. Purga en sedimentadores secundarios</b></p> <p>En la evaluación de campo realizada se encontró que la mayor parte de los sedimentadores secundarios no han sido purgados, por lo que el manto de lodos es mayor al recomendado. Además, el mal funcionamiento del pretratamiento y del tratamiento primario hacen que en los sedimentadores se concentre una gran cantidad de arenas y sólidos gruesos.</p> | <p>Se recomienda realizar la purga correspondiente para mantener un manto de lodos de 1 m en los sedimentadores secundarios, para evitar la acumulación de lodo en los tanques, con el consecuente detrimento de la calidad del efluente tratado. La purga de lodos permitirá mejorar las características del flóculo en los reactores biológicos.</p> |

## 24. RESUMEN

### 52) Título de concesión de descarga

- a) No se cuenta con permiso de descarga. La planta es operada por el consorcio Aguas Tratadas del Valle de México (ATVM) a través de un Contrato de Prestación de Servicios (CPS) en el que se establecen las condiciones de calidad que deben tener las aguas tratadas (influyente y efluentes). La PTAR cuenta con dos sistemas de tratamiento TPC (tratamiento convencional) y TPQ (Tratamiento primario avanzado), cuyos efluentes tienen sus condiciones plasmadas en el CPS, tanto en estiaje como en época de lluvias.
- b) Las condiciones del CPS contemplan parámetros como DBO, SST, CF, HH y cloro residual en los efluentes provenientes del TPC y del TPQ. En lo que respecta a metales pesados y cianuros, solo se establecen límites para el efluente del TPC.

### 53) Memoria de cálculo

- a) No se cuenta con la memoria de cálculo del proceso.

### 54) Información histórica de calidad del agua

- a) La capacidad de diseño de la PTAR es de 35 m<sup>3</sup>/s. En el TPC se tratan 23 m<sup>3</sup>/s y en el TPQ 12 m<sup>3</sup>/s. De acuerdo con los datos históricos el caudal tratado en la PTAR en el TPC se encuentra en el rango entre 20 a 23 m<sup>3</sup>/s y en el TPQ se ha tratado únicamente 6 a 7.4 m<sup>3</sup>/s.
- b) En relación con los CF, SST y GyA, las concentraciones en ambos efluentes permiten con la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- c) La concentración de DBO en el TPC no cumple con las condiciones señaladas en el CPS.
- d) En relación con los nutrientes, existe una baja remoción en ambos sistemas, pero no están contemplados en el CPS. Se considera que la descarga es en suelo para riego agrícola.

### 55) Información del Proceso

- a) La PTAR cuenta con un laboratorio que da realiza los análisis de laboratorio de los parámetros señalados en el CPS.
- b) La planta cuenta con manuales de muestreo, procedimientos, análisis, formatos para todas las áreas, así como manuales de seguridad de equipos y de seguridad general de la planta.
- c) Los reportes de operación se realizan de manera electrónica y se da un seguimiento a los reportes de fallas.
- d) Existe un programa de mantenimiento anual de toda la planta.

### 56) Funcionamiento de la PTAR

- a) Algunas rejillas gruesas y la mayor parte de las rejillas finas se encuentran fuera de operación.

- b) Las unidades de desarenación no funcionan adecuadamente, ya que no funcionan los equipos de extracción de arenas.
- c) Los sedimentadores primarios requieren de limpieza ya que no operan adecuadamente.
- d) Algunos sedimentadores secundarios se encuentran fuera de operación y otros se encuentran en mal estado.
- e) Dos de las cinco unidades del TPQ se encuentran fuera de operación por el exceso de arenas provenientes del pretratamiento.
- f) La obra civil en general se encuentra en buenas condiciones y se da mantenimiento anual.
- g) La mayor parte de los equipos electromecánicos se encuentran en buen estado.

#### **57) Muestreo compuesto**

- a) Se realizó un muestreo compuesto de 24 h al influente y efluente general de la PTAR, considerando los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y de la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- b) El caudal de operación se encuentra entre 30,000 a 50,000 L/s.
- c) El pH en el efluente cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- d) El pH y el color en el efluente cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- e) El efluente del TPQ no cumple con el requerimiento de GyA para la NOM-001-SEMARNAT-2021
- f) El efluente del TPC no cumple con el requerimiento en coliformes fecales para la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- g) El efluente del TPC no cumple con el requerimiento en E. Coli, demanda química de oxígeno y toxicidad para la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- h) El efluente del TPQ no cumple con el requerimiento en demanda química de oxígeno y toxicidad para la NOM-001-SEMARNAT-2021.

#### **58) Determinaciones de campo**

- a) El perfil de pH indica que los reactores biológicos operan en un rango ideal para los microorganismos.
- b) El perfil de OD indica que hay un exceso de oxígeno en los reactores biológicos de aproximadamente 1 mg/L.
- c) De acuerdo con la prueba de sedimentación y le IVL, se encontró que la mayoría reactores biológicos presentan características de lodo viejo, por lo que es necesario purgarlos.
- d) Con la determinación del manto de lodos se encontró que existen problemas de operación en los sedimentadores secundarios, ya que no se realizan las purgas y, por tanto, el manto de lodos es mayor al recomendado (1 m) y los lodos son negros en la mayoría de los sedimentadores.



### **59) Influencia industrial**

- a) De acuerdo con información bibliográfica se estima que el caudal de agua residual industrial en la PTAR Atotonilco es de 8.6%.
- b) La relación DBO/DQO en el influente y efluente es 0.29, lo que indica que el agua residual es poco biodegradable por lo que puede contener compuestos tóxicos o descargas industriales.
- c) Los valores de toxicidad en el influente y efluente sobrepasan la NOM-001-SEMARNAT-2021, lo que indica la presencia de sustancias tóxicas que podrían provenir de descargas industriales.

### **60) Evaluación de conocimientos**

- a) Los supervisores de turno de la PTAR presentan muy buenos conocimientos técnicos.
- b) Los operadores y técnicos de proceso tienen conocimientos básicos y técnicos buenos.
- c) Los operadores presentan conocimientos regulares en la parte técnica

### **61) Seguridad**

- a) La planta cuenta con un estudio de análisis de riesgos, así como con planes de contingencia para atención a incendios, derrames de combustibles, sismos, explosiones, etc. así como la realización de simulacros.
- b) Existen dentro de la planta disposiciones de seguridad tales como, el uso de equipo de protección y están señaladas en cada una de las áreas el equipo requerido. Por contingencia de COVID-19 es obligatorio el uso de cubrebocas y el empleo de gel antibacterial.
- c) Se cuenta con brigadas de evacuación, de primeros auxilios y de prevención y combate de incendios.

### **62) Laboratorio**

- a) La PTAR Atotonilco cuenta con un laboratorio equipado de análisis donde realizan diariamente el control del proceso.
- b) Los equipos y materiales se encuentran en excelentes condiciones.
- c) Se realiza los siguientes parámetros:
  - i) Demanda bioquímica de oxígeno
  - ii) Nitrógeno Kjeldahl
  - iii) Coliformes fecales
  - iv) Sólidos sedimentables totales
  - v) Sólidos sedimentables volátiles

### **63) Causas que limitan el desempeño de la PTAR**

- a) Rejillas gruesas y finas y desarenadores se encuentran fuera de operación, por lo que parte de las arenas y sólidos gruesos pasan a los sedimentadores primarios y de ahí al TPC y al TPQ disminuyendo la eficiencia en la remoción de contaminantes.

- b) Debido al exceso de arenas que llegan a los sistemas biológicos y a la falta de purga en los sedimentadores secundarios se han formado mantos de lodo profundos. La falta de purga de los sedimentadores ha propiciado que los lodos en los reactores sean viejos, lo cual disminuye la eficiencia de los sistemas.

## 25. CONCLUSIONES

En general, la planta de tratamiento opera de forma adecuada, aunque es prioritario controlar el ingreso de arenas a la instalación.

La gran cantidad de arenas y sólidos que llegan a la planta ocasionan que rejillas gruesas y finas se dañen y estén fuera de operación. Es importante mantener en operación los equipos de extracción de arena, ya que durante el diagnóstico no funcionaban de forma adecuada. Esto se refleja en los sedimentadores primarios y en cinco unidades del TPQ, que se encontraban con grandes cantidades de arenas, y repercute también en los sedimentadores secundarios, algunos de los cuales acusaban hasta cuatro metros de azolvamiento.

El monitoreo permitió determinar que, en las condiciones actuales, el efluente del TPC no cumple con el requerimiento en coliformes fecales para la NOM-001-SEMARNAT-1996, y no cumple con el requerimiento en E. Coli, demanda química de oxígeno y toxicidad para la NOM-001-SEMARNAT-2021.

El efluente del TPQ no cumple con el requerimiento en demanda química de oxígeno y toxicidad para la NOM-001-SEMARNAT-2021.

Durante los trabajos de campo, el perfil de OD indica que hay un exceso de oxígeno en los reactores biológicos de aproximadamente 1 mg/L. De acuerdo con la prueba de sedimentación y de IVL, se encontró que la mayoría reactores biológicos presentan características de lodo viejo, por lo que es necesario purgarlos con mayor continuidad. Con la determinación del manto de lodos se encontró que existen problemas de operación en los sedimentadores secundarios, ya que no se realizan las purgas y, por tanto, el manto de lodos es mayor al recomendado (1 m), los lodos son negros en la mayoría de los sedimentadores.

La relación DBO/DQO en el influente y efluente es 0.29, lo que indica que el agua residual es poco biodegradable por lo que puede contener compuestos tóxicos o descargas industriales. Sin embargo, la biomasa parece estar aclimatada a este tipo de agua residual.

En lo que respecta a capacidades técnicas, los supervisores de turno de la PTAR presentan muy buenos conocimientos técnicos, mientras que los técnicos de proceso tienen conocimientos básicos y técnicos buenos. En específico, los operadores presentan conocimientos regulares en la parte técnica.

Se recomienda implementar un proceso de remoción de arenas que permita controlar el ingreso de estos sólidos a la plantas. Los hidrociclones

pueden ser una opción para el control de arenas. En este contexto, se remarca que, debido al exceso de arenas que llegan a los sistemas biológicos y a la falta de purga en los sedimentadores secundarios se han formado mantos de lodo profundos. La falta de purga de los sedimentadores ha propiciado que los lodos en los reactores sean viejos, lo cual disminuye la eficiencia de los sistemas.

Al no tener un permiso de descarga, los parámetros que son susceptibles de ser vigilados son los que corresponden a las condiciones señaladas por el Contrato de Prestación de Servicios. El cloro residual presenta límites en este documento, pero la aplicación de este desinfectante generará toxicidad en los efluentes.

**ANEXO G. PLANTILLA DE PERSONAL PTAR ATOTONILCO**

| Nombre                              | Puesto                       | Escolaridad                               | Antigüedad   |              |
|-------------------------------------|------------------------------|---|--------------|--------------|
|                                     |                              |   | En la planta | En el puesto |
| <b>Personal administrativo</b>      |                              |   |              |              |
| González Soto Ana Bertha            | Jefe de recursos humanos     | Lic. Psicología                           | 26/03/2015   |              |
| Mota Bernal Marco Antonio           | Almacenista                  | Ing. Industrias Alimentarias              | 18/12/2018   |              |
| Cano Hernández Dulce                | Analista de recursos humanos | Lic. Psicología                           | 16/07/2018   |              |
| Guillen Martínez Mario              | Comprador                    | Ingeniería Eléctrica                      | 16/06/2018   |              |
| González Escalante Gustavo          | Contador de planta           | Lic. Contabilidad                         | 01/08/2016   |              |
| Hernández Reyes Nallely             | Contador general             | Lic. Contaduría                           | 03/07/2017   |              |
| Olivares Sánchez Nayely             | Especialista contable        | Ing. Negocios y Gestión Empresarial       | 25/08/2017   |              |
| Martínez Vázquez Anallely           | Especialista de compras      | Ingeniería Electromecánica                | 16/06/2018   |              |
| Calzadilla González Karina          | Comprador                    | Lic. Administración                       | 12/07/2021   |              |
| Ramírez López Sonia Mahetsi         | Analista de recursos humanos | Ing. Gestión Empresarial                  | 15/10/2021   |              |
| <b>Personal operativo</b>           |                              |   |              |              |
| Osorio González Luz María Esmeralda | Asistente de dirección       | Técnico Administración                    | 16/05/2017   | 16/04/2021   |
| Domínguez Aguilar Bernabé           | Operador pretratamiento      | TSU <sup>4</sup> Mantenimiento Industrial | 16/05/2017   | 16/10/2020   |
| Bastida Alaniz Apolinar             | Operador pretratamiento      | Certificado                               | 16/05/2017   |              |

<sup>4</sup> TSU: Técnico Superior Universitario en

| Nombre                                | Puesto                     | Escolaridad  | Antigüedad   |              |
|---------------------------------------|----------------------------|--|--------------|--------------|
|                                       |                            |  | En la planta | En el puesto |
| Hernández Simón<br>Alberto            | Operador<br>pretratamiento | TSU<br>Mantenimiento<br>Industrial                 | 16/05/2017   |              |
| Moctezuma Reyes<br>Neric Paul         | Auxiliar de operación      | Ing. Ambiental                                     | 16/05/2017   | 09/03/2020   |
| López Pacheco Víctor<br>Eliseo        | Operador de lodos          | Técnico<br>Electricidad                            | 16/05/2017   |              |
| Reyes Hernández Nelly<br>Ivett        | Operador de lodos          | Ing. Agroindustrial                                | 16/05/2017   |              |
| Maturano Contreras<br>Oscar           | Operador de<br>procesos    | Ing.<br>Electromecánica                            | 16/05/2017   | 01/12/2019   |
| Quevedo Castañeda<br>Noel             | Operador de lodos          | Lic. Educación<br>Media                            | 16/05/2017   | 01/06/2018   |
| Tapia Camargo Erika                   | Operador de<br>procesos    | Ing. Agroindustrial                                | 16/05/2017   | 30/12/2020   |
| Tovar Rodríguez Alexis<br>Uriel       | Operador de lodos          | Certificado  | 16/05/2017   | 01/04/2020   |
| Herrera Mojica Alan<br>Adonay         | Ayudante de vactor         | Certificado  | 21/12/2018   |              |
| Acosta Patiño Ronald<br>Abel          | Operador de<br>maquinaria  | Técnico Bachiller<br>Electromecánica<br>Industrial | 23/11/2020   | 16/08/2021   |
| Jaime Santos Miguel<br>Ángel          | Jefe de agua               | TSU en Procesos<br>de Producción                   | 16/05/2017   | 01/01/2018   |
| Castañeda Melgoza<br>Alejandro        | Jefe de lodos              | Ing.<br>Electromecánica                            | 16/05/2017   | 01/12/2019   |
| Rivera Guerrero<br>Ricardo            | Operador de lodos          | Ing. Gestión<br>Empresarial                        | 01/06/2017   | 01/12/2019   |
| Camargo Rodríguez<br>Maritza          | Operador de lodos          | Ing. Energía                                       | 03/07/2017   | 01/12/2019   |
| López Bernal José De<br>Jesús         | Operador de lodos          | Ing. Química                                       | 16/06/2018   |              |
| Ugalde Valerio Víctor                 | Operador de lodos          | Lic. Química                                       | 09/07/2019   | 30/12/2020   |
| Ángeles Gil German                    | Operador de<br>maquinaria  | Certificado  | 16/05/2017   |              |
| Ángeles Sebastián<br>Francisco Javier | Operador de<br>maquinaria  | Certificado  | 23/03/2016   |              |

| Nombre                           | Puesto                            | Escolaridad                  | Antigüedad   |              |
|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|
|                                  |                                   |                              | En la planta | En el puesto |
| Mercedes Nicolás Luis            | Operador de maquinaria            | Certificado                  | 19/10/2018   |              |
| Acevedo Hernández Eduardo        | Operador de maquinaria            | Certificado                  | 02/09/2019   |              |
| Rojo Rodríguez Alexis Yoatzin    | Operador de maquinaria            | Certificado                  | 09/12/2019   |              |
| Ugalde Olguín Silvano            | Operador de maquinaria            | Certificado                  | 26/02/2020   |              |
| Aguilar Reyes Antonio            | Operador de maquinaria            | Certificado                  | 11/12/2020   |              |
| Tovar Calles Martin              | Operador de maquinaria            | Certificado                  | 17/02/2021   |              |
| Paredes Rojas Enrique            | Operador de maquinaria            | Certificado                  | 27/05/2021   |              |
| Moreno Félix Francisco           | Operador de maquinaria            | Certificado                  | 27/05/2021   |              |
| Rosas Rodríguez Francisco Javier | Operador de procesos              | TSU Mantenimiento Industrial | 01/06/2017   | 01/04/2020   |
| López Tovar Aldo Alfredo         | Operador de vector                | Certificado                  | 12/12/2018   |              |
| Leyva Lazcano Guillermo          | Operador de vector                | Certificado                  | 12/02/2021   |              |
| Ugalde Monroy Benito             | Operador pretratamiento           | Certificado                  | 16/06/2018   |              |
| López Gil Gregorio               | Operador pretratamiento           | Certificado                  | 16/06/2018   |              |
| Rosas Gamaliel Moreno            | Operador pretratamiento           | Certificado                  | 25/02/2021   |              |
| Trejo Serrano Efrén              | Operador de cogeneración training | Certificado                  | 25/02/2021   | 22/07/2021   |
| Rodríguez Rodríguez Gerardo      | Operador pretratamiento           | Certificado                  | 25/02/2021   |              |
| Aguirre Cruz Rogelio             | Operador pretratamiento           | Certificado                  | 29/04/2021   |              |

| Nombre                               | Puesto                                   | Escolaridad                   | Antigüedad   |              |
|--------------------------------------|--|-------------------------------|--------------|--------------|
|                                      |  |                               | En la planta | En el puesto |
| Hernández Sánchez Luis Eduardo       | Operador pretratamiento                  | Certificado                   | 21/05/2021   |              |
| Rodríguez Tovar Anastacio            | Operador pretratamiento                  | Certificado                   | 24/06/2021   |              |
| Delgadillo Castillo Alejandro Michel | Operador TPQ y TPC                       | Certificado                   | 16/06/2018   | 18/07/2019   |
| Paz Mentado Álvaro                   | Operador TPQ y TPC                       | Certificado                   | 16/06/2018   | 18/07/2019   |
| Pedraza Palacios Jesús               | Operador TPQ y TPC                       | Certificado Bachillerato      | 17/07/2019   | 01/04/2020   |
| Contreras Pineda Francisco           | Operador TPQ y TPC                       | Certificado                   | 19/11/2019   |              |
| Monroy Alpizar Elías Arturo          | Operador TPQ y TPC                       | Certificado                   | 09/12/2019   | 30/12/2020   |
| Chávez Galindo Jesús Antonio         | Operador TPQ y TPC                       | Certificado                   | 28/04/2020   | 30/12/2020   |
| Marín Díaz Violeta Arely             | Operador TPQ y TPC                       | Ing. Industrial               | 28/10/2020   |              |
| Hernández Jiménez Aylin Abigail      | Operador TPQ y TPC                       | Ing. Ambiental                | 05/11/2020   |              |
| Hernández Juárez José Félix          | Supervisor de turno                      | Técnico Computación           | 16/05/2017   |              |
| López López Omar Adrián              | Supervisor de turno                      | Ing. Químico Petrolero        | 16/05/2017   | 03/11/2017   |
| Valdez Domínguez Edson Pablo         | Supervisor de turno                      | Ing. Industrial               | 16/05/2017   | 01/03/2018   |
| Vite Guillermo Jairo                 | Supervisor de turno                      | Ing. Química                  | 01/06/2017   | 16/11/2020   |
| Badillo García Julio César           | Técnico de operación                     | Certificado                   | 14/10/2020   |              |
| Rosendo Soto Jesús Rodrigo           | Operador pretratamiento                  | Certificado                   | 22/07/2021   |              |
| López Gil Cruz                       | Operador de bomba hidráulica y servicios | Certificado                   | 09/08/2021   |              |
| Personal de mantenimiento            |  |                               |              |              |
| Mata de Jesús Tatiana Isabel         | Aux. Mantenimiento Aguas                 | Ing. Mantenimiento Industrial | 16/05/2017   |              |



| Nombre                         | Puesto                             | Escolaridad                             | Antigüedad   |              |
|--------------------------------|------------------------------------|---|--------------|--------------|
|                                |                                    |   | En la planta | En el puesto |
| Juárez Chávez Alberto          | Aux. Mantenimiento Aguas           | Certificado                             | 16/05/2017   |              |
| Porras Cruz Benito             | Aux. Instrumentista                | Certificado                             | 16/05/2017   | 16/06/2021   |
| Cortés Trejo Pedro             | Aux. Mantenimiento Lodos           | Certificado                             | 16/05/2017   |              |
| León Márquez Luis Ángel        | Analista SCADA/Sistemas            | Lic. Ing. Tecnologías de la Información | 05/04/2021   |              |
| Ángeles López Pedro            | Aux. Grúa HIAB                     | Certificado                             | 20/11/2019   | 30/12/2020   |
| Domínguez Chávez Víctor Manuel | Aux. Mantenimiento Aguas           | Certificado                             | 01/06/2017   |              |
| Alvarado Rivas José Eduardo    | Aux. Mantenimiento Aguas           | Certificado Bachillerato                | 13/03/2019   | 16/03/2021   |
| Coronado Vidal Osvaldo         | Aux. Mantenimiento Lodos           | Certificado                             | 16/06/2018   | 21/05/2021   |
| Trejo Medel Samuel             | Aux. Mantenimiento Lodos           | Certificado y Cédula                    | 20/01/2021   | 21/05/2021   |
| López Trejo Alejandro          | Ayudante General                   | Certificado                             | 16/06/2018   |              |
| Carbajal Mentado Ulises        | Ayudante General                   | Certificado                             | 14/11/2019   |              |
| García Quijano José Luis       | Ayudante Vector                    | Certificado                             | 08/03/2021   | 01/09/2021   |
| Martínez Martínez Victorino    | Coordinador Eléctrico              | Ing. Mecatrónica                        | 16/05/2017   | 01/12/2019   |
| García Pérez Brayan Fermín     | Jefe Centro Control SCADA/Sistemas | Ing. Sistemas de la Información         | 19/03/2019   | 01/03/2021   |
| Chávez Sánchez José Eduardo    | Oficial Instrumentación            | Mecatrónica Área Automatización         | 02/05/2019   | 01/06/2021   |
| Sánchez Jiménez Luis Gerardo   | Operador Cogeneración              | Certificado                             | 16/05/2017   |              |
| Obregón Neria Orlando          | Operador Cogeneración              | Ing. Mantenimiento Industrial           | 01/06/2017   |              |
| Ortega Tassinari Miguel        | Operador Cogeneración              | Técnico Administración                  | 01/06/2017   |              |

| Nombre                             | Puesto                     | Escolaridad                   | Antigüedad   |              |
|------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|
|                                    |                            |                               | En la planta | En el puesto |
| Urrutia Ramírez Edivaldo           | Operador Cogeneración      | Ing. Mantenimiento Industrial | 07/06/2018   |              |
| Juárez González Gilberto           | Operador Cogeneración      | Ing. Industrial               | 01/08/2018   |              |
| Hernández Lugo Juan Carlos         | Operador Cogeneración      | TSU Procesos de Producción    | 11/12/2018   | 01/11/2019   |
| Castillo Bautista Francisco Rafael | Operador Cogeneración      | Ing. Electromecánico          | 21/12/2018   | 16/09/2020   |
| Martínez Olvera Griselda           | Operador Cogeneración      | Ing. Electromecánica          | 13/03/2020   | 03/11/2020   |
| Pérez Sánchez Filadelfo            | Operador Grúa HIAB         | Certificado                   | 17/03/2020   |              |
| Monroy Hernández Juan Carlos       | Pintor                     | Certificado                   | 29/10/2019   |              |
| Galán Sandoval Raúl Alejandro      | Supervisor Cogeneración    | Lic. Sistemas Computacionales | 07/06/2018   | 05/06/2020   |
| Ponce García Marco Antonio         | Supervisor Instrumentación | Ing. Mecatrónica              | 16/05/2017   | 04/05/2021   |
| Macías Vázquez David               | Supervisor Maquinaria      | TSU Manto. Maquinaria Pesada  | 05/06/2017   |              |
| Juárez Cañedo Cesar                | Supervisor Mecánico        | Certificado                   | 16/05/2017   | 01/12/2019   |
| Urrutia Monroy Carlos              | Técnico                    | Certificado De Secundaria     | 01/07/2019   |              |
| Cruz Serrano Marco Antonio         | Tec. Mantenimiento Aguas   | Certificado                   | 16/05/2017   |              |
| Ibarra Jiménez Miguel Ángel        | Tec. Mantenimiento Aguas   | Certificado                   | 16/05/2017   |              |
| Pérez Márquez Martin               | Tec. Mantenimiento Aguas   | Certificado                   | 01/06/2017   | 27/04/2021   |
| Alvarado Medina Edgar              | Tec. Mantenimiento Lodos   | Certificado                   | 16/05/2017   |              |
| Tovar Monroy José Manuel           | Tec. Mantenimiento Lodos   | Certificado                   | 16/05/2017   |              |
| Estrada Maturano Ricardo Antonio   | Tec. Mantenimiento Lodos   | Ing. Electromecánico          | 23/08/2017   |              |

| Nombre  | Puesto                      | Escolaridad                                 | Antigüedad   |              |
|---|-----------------------------|---|--------------|--------------|
|   |                             |   | En la planta | En el puesto |
| Serrano Reyes Yael De Jesús   | Tec. Mantenimiento Lodos    | Certificado                                 | 16/06/2018   | 27/04/2021   |
| Silverio López Ulises Cayetano                                      | Aux. Mantenimiento Lodos    | Lic. Ingeniería Mecatrónica                 | 13/07/2021   |              |
| Pérez Moreno Daniel   | Ayudante General            | Certificado                                 | 22/07/2021   |              |
| Ibarra Davalos José Luis  | Ayudante Operación          | Certificado                                 | 09/08/2021   |              |
| González Luengas Juan Antonio                                       | Ayudante Operación          | Certificado                                 | 09/08/2021   |              |
| López Reséndiz Heriberto  | Ayudante General            | Certificado                                 | 30/08/2021   |              |
| Muciño Paz Nazario  | Ayudante General            | Certificado                                 | 02/09/2021   |              |
| Hernández Gutiérrez José Luis                                       | Ayudante General            | Certificado                                 | 23/09/2021   |              |
| Rodríguez Muciño Emmanuel   | Ayudante General            | Pasante Ing. Petrolero                      | 04/10/2021   |              |
| Personal de laboratorio   |                             |   |              |              |
| Reyes Varela Verónica   | Especialista de Laboratorio | Maestría en Prevención de Riesgos Laborales | 16/05/2017   | 01/04/2019   |
| Miranda Martínez Elsa   | Auxiliar de Laboratorio     | Certificado                                 | 16/05/2017   |              |
| Martínez Ángeles Karemi   | Analista de Laboratorio     | Lic. Química                                | 16/05/2017   |              |
| Ramírez García Marytere   | Analista de Laboratorio     | Ing. Química                                | 27/12/2017   | 01/04/2019   |
| Cruz Saldívar Gabriela  | Auxiliar de Laboratorio     | Ing. Ambiental                              | 01/06/2017   |              |
| Sánchez Hernández Yessica Ithzayana                                 | Auxiliar de Laboratorio     | Ing. Ambiental                              | 27/07/2020   | 16/03/2021   |
| López de La Cruz María del Socorro                                  | Jefe de Laboratorio         | Ing. Química                                | 16/05/2017   |              |
| García López José Armando   | Practicante                 | Ing. Química                                | 22/04/2021   |              |
| Personal de Calidad, Medio Ambiente, Salud & Higiene - Oficina Tec. |                             |   |              |              |

| Nombre                     | Puesto                          | Escolaridad                   | Antigüedad   |              |
|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|
|                            |                                 |                               | En la planta | En el puesto |
| Pacheco Juárez Edgar Jesús | Analista de Medio Ambiente      | Lic. Biología                 | 01/06/2017   |              |
| Cazares Pérez Rosa Isela   | Analista de Seguridad           | Ing. Química                  | 01/06/2017   | 01/11/2018   |
| Maya Juárez Abysael Amando | Jefe de Seguridad               | Ing. Industrial               | 29/05/2017   |              |
| Sierra Martínez Sergio     | Jefe Medio Ambiente             | Lic. Biología                 | 01/06/2017   |              |
| Villa Enriquez Lucía       | Coordinador Control Información | Ing. Sistemas Computacionales | 01/06/2017   |              |
| Luna Montoya José Emmanuel | Proyectista                     | Ing. Mecatrónica              | 23/08/2017   |              |

## **PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

**PROYECTO No. 309621**

# **“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA”**

## **DIAGNÓSTICO DE LA PTAR**

**“CD. AGUASCALIENTES”**

**AGUASCALIENTES, AGS.**

## ÍNDICE

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 1      | INFORMACIÓN DE LA PTAR .....                                   | 807 |
| 1.1    | Datos generales.....   | 807 |
| 1.2    | Ubicación.....   | 807 |
| 1.3    | Descripción del proceso .....                                  | 808 |
| 2      | REVISIÓN DOCUMENTAL .....                                      | 810 |
| 2.1    | Planos.....  | 810 |
| 2.2    | Permiso de descarga .....                                      | 810 |
| 2.3    | Análisis de la memoria de cálculo.....                         | 813 |
| 2.3.1  | Datos de diseño.....   | 813 |
| 2.3.2  | Criterios de diseño .....                                      | 814 |
| 2.4    | Análisis de la información histórica de calidad del agua ..... | 820 |
| 2.4.1  | Caudal.....  | 825 |
| 2.4.2  | pH.....  | 825 |
| 2.4.3  | Coliformes fecales.....  | 826 |
| 2.4.4  | Grasas y Aceites .....   | 826 |
| 2.4.5  | Materia Flotante .....   | 827 |
| 2.4.6  | Sólidos sedimentables.....                                     | 827 |
| 2.4.7  | Sólidos suspendidos totales (SST).....                         | 827 |
| 2.4.8  | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....                       | 827 |
| 2.4.9  | Nitrógeno Total (NT) .....                                     | 828 |
| 2.4.10 | Fósforo Total (PT).....  | 829 |
| 2.4.11 | Demanda Química de Oxígeno (DQO).....                          | 830 |
| 2.4.12 | Metales pesados y cianuros.....                                | 831 |
| 2.5    | Análisis de la información del Proceso.....                    | 831 |
| 2.5.1  | Análisis rutinarios .....                                      | 831 |
| 2.5.2  | Manual de operación.....                                       | 846 |
| 2.5.3  | Reportes de operación (bitácoras) .....                        | 847 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 2.5.4 | Mantenimiento.....                               | 852 |
| 3     | ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR..... | 853 |
| 3.1   | Descripción de las unidades de proceso .....     | 853 |
| 3.2   | Estado de las unidades de proceso .....          | 860 |
| 3.2.1 | Pretratamiento.....                              | 860 |
| 3.2.2 | Sedimentadores primarios.....                    | 862 |
| 3.2.3 | Filtros percoladores .....                       | 863 |
| 3.2.4 | Equipos electromecánicos .....                   | 864 |
| 3.3   | Muestreo y calidad del agua residual.....        | 864 |
| 3.3.1 | Resultados del muestreo compuesto .....          | 868 |
| 3.3.2 | Resultados de muestreo simple .....              | 875 |
| 3.3.3 | Eficiencias de las unidades de tratamiento ..... | 878 |
| 3.3.4 | Influencia industrial.....                       | 888 |
| 4     | DIAGNÓSTICO DE PERSONAL.....                     | 889 |
| 4.1   | Recursos Humanos.....                            | 889 |
| 4.2   | Evaluación de conocimientos .....                | 889 |
| 4.3   | Capacitación .....                               | 890 |
| 4.3.1 | Cursos de capacitación recibidos.....            | 890 |
| 4.3.2 | Temas de capacitación solicitados .....          | 890 |
| 4.3.3 | Material didáctico entregado .....               | 891 |
| 5     | SEGURIDAD E HIGIENE .....                        | 904 |
| 6     | LABORATORIO.....                                 | 911 |
| 7     | CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR.....  | 919 |
| 7.1   | Causas.....                                      | 919 |
| 7.2   | Descripción de la causa y recomendaciones.....   | 920 |
| 7.2.1 | Nivel I .....                                    | 920 |
| 7.2.2 | Nivel II.....                                    | 920 |
| 7.2.3 | Nivel III .....                                  | 921 |
| 8     | RESUMEN.....                                     | 923 |
| 9     | CONCLUSIONES.....                                | 928 |



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



|  |     |
|--|-----|
| Anexo A. Formato 3. Recursos Humanos .....     | 928 |
| Anexo B. Formato 15. Seguridad e Higiene ..... | 933 |



## TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1. Datos generales .....  | 807 |
| Tabla 2. Ubicación y contacto .....   | 807 |
| Tabla 3. Condiciones particulares de descarga (CPD) de PTAR Cd. Aguascalientes .....                                | 812 |
| Tabla 4. Calidad del agua de entrada .....  | 814 |
| Tabla 5. Calidad del agua a la salida del sedimentador primario .....   | 815 |
| Tabla 6. Calidad del agua a la salida del filtro percolador .....   | 816 |
| Tabla 7. Calidad del agua a la salida del sedimentador intermedio .....   | 816 |
| Tabla 8. Calidad del agua a la salida del reactor biológico .....   | 818 |
| Tabla 9. Calidad del agua a la salida del reactor biológico .....   | 819 |
| Tabla 10. Calidad del agua a la salida del reactor biológico .....  | 819 |
| Tabla 11. Calidad del agua del efluente de la PTAR Aguascalientes 2021. A .....                                     | 821 |
| Tabla 12. Calidad del agua del efluente de la PTAR Aguascalientes 2021. B .....                                     | 822 |
| Tabla 13. Calidad del agua del efluente de la PTAR Aguascalientes 2021. C .....                                     | 823 |
| Tabla 14. Calidad del agua residual y residual tratad de la PTAR Aguascalientes 2019. A .....                       | 831 |
| Tabla 15. Calidad del agua residual y residual tratad de la PTAR Aguascalientes 2019. B.....                        | 832 |
| Tabla 16. Calidad del agua residual y residual tratad de la PTAR Aguascalientes 2020. A.....                        | 834 |
| Tabla 17. Calidad del agua residual y residual tratad de la PTAR Aguascalientes 2020. B.....                        | 834 |
| Tabla 18. Relación DBO/DQO .....  | 842 |
| Tabla 19. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua .....                                   | 866 |
| Tabla 20. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y 2021 ..... | 868 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 21. Eficiencia de remoción de los principales contaminantes en la PTAR Aguascalientes ..... | 870 |
| Tabla 22. Eficiencia de remoción global de los trenes de tratamiento.....                         | 877 |
| Tabla 23. Resultados volumen de lodo.....   | 879 |
| Tabla 24. Resultados de IVL .....   | 880 |
| Tabla 25. Características de los flóculos .....   | 881 |
| Tabla 26. Manto de lodos en sedimentadores.....   | 881 |
| Tabla 27. Perfil de OD.....   | 885 |
| Tabla 28. Perfil de pH.....   | 886 |
| Tabla 29. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR .....                    | 919 |

## FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1. Tren de tratamiento de la PTAR.....  | 809 |
| Figura 2. Datos del permiso de descarga de la PTAR Cd Aguascalientes en el REPDA ..... | 811 |
| Figura 3. Ubicación de la descarga de la PTAR Cd Aguascalientes.....                   | 812 |
| Figura 4. Tendencia del Caudal del efluente .....                                      | 825 |
| Figura 5. Tendencia del pH del efluente con relación a la NOM-001-SEMARNAT-1996.....   | 826 |
| Figura 6. Tendencia del pH del efluente con relación a la NOM-001-SEMARNAT-2021.....   | 827 |
| Figura 7. Tendencia de la demanda bioquímica de oxígeno del efluente .....             | 828 |
| Figura 8. Tendencia del nitrógeno total del efluente.....                              | 829 |
| Figura 9. Tendencia del fósforo total del efluente .....                               | 830 |
| Figura 10. Tendencia de la demanda química de oxígeno del efluente....                 | 831 |
| Figura 11. Tendencia del caudal 2019.....  | 836 |
| Figura 12. Tendencia del caudal 2020 .....   | 836 |
| Figura 13. Tendencia del pH 2019 .....   | 837 |
| Figura 14. Tendencia del pH 2020 .....   | 837 |
| Figura 15. Tendencia de los SST 2019 .....   | 838 |
| Figura 16. Tendencia de los SST 2020.....  | 839 |
| Figura 17. Tendencia de la DBO 2019 .....  | 839 |
| Figura 18. Tendencia de la DBO 2020.....   | 840 |
| Figura 19. Tendencia de la DQO 2019.....   | 841 |
| Figura 20. Tendencia de la DQO 2020.....   | 841 |
| Figura 21. Tendencia del PT 2019.....  | 843 |
| Figura 22. Tendencia del PT 2020 .....   | 844 |
| Figura 23. Tendencia de las G Y A SST 2019.....  | 844 |
| Figura 24. Tendencia de las G Y A SST 2020 .....                                       | 844 |
| Figura 25. Tendencia de los CF 2019.....   | 845 |
| Figura 26. Tendencia de los CF 2020 .....  | 846 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 27. Reporte de Pretratamiento.....  | 848 |
| Figura 28. Reporte de Tratamiento .....  | 849 |
| Figura 29. Reporte de Tratamiento Biológico.....   | 850 |
| Figura 30. Reporte de Encargado de turno.....  | 851 |
| Figura 31. Reporte de mantenimiento .....  | 852 |
| Figura 32. a) Cárcamo de Llegada y b) cárcamo demasías 2 .....                                 | 853 |
| Figura 33. Rejillas gruesas .....  | 853 |
| Figura 34. Mezclado y medidor ultrasónico .....  | 854 |
| Figura 35 Rejillas medianas.....   | 854 |
| Figura 36. Rejillas finas.....   | 855 |
| Figura 37. Desarenadores.....  | 855 |
| Figura 38. Cárcamo de bombeo primario .....  | 856 |
| Figura 39. Sedimentadores primarios .....  | 856 |
| Figura 40. Cárcamo de bombeo principal .....   | 857 |
| Figura 41. Biofiltros o filtros percoladores.....  | 858 |
| Figura 42 Sedimentadores intermedios .....   | 858 |
| Figura 43. Reactor de lodos activados.....   | 859 |
| Figura 44. Sedimentador secundario.....  | 859 |
| Figura 45. a) Canal de cloración, b) efluente PTAR y c) lago.....                              | 860 |
| Figura 46. Corrosión en pretratamiento y tratamiento primario .....                            | 861 |
| Figura 47. Falta de mantenimiento.....   | 862 |
| Figura 48. tubería colapsada.....  | 863 |
| Figura 49. Fugas de agua en biofiltros.....  | 863 |
| Figura 50. Puntos de muestreo.....   | 865 |
| Figura 51. Variación del caudal en el influente y efluente de la PTAR Aguascalientes .....     | 870 |
| Figura 52. Concentración de GyA en el influente y efluente de la PTAR Aguascalientes .....     | 871 |
| Figura 53. Variación de CF y E.coli en el influente y efluente de la PTAR Aguascalientes ..... | 872 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 54. Variación del pH y temperatura en el influente y efluente de la PTAR Aguascalientes .....                      | 873 |
| Figura 55. Variación de la toxicidad ( <i>Vibrio fischeri</i> ) en el influente y efluente de la PTAR Aguascalientes..... | 874 |
| Figura 56. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 1.....                               | 875 |
| Figura 57. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 2.....                               | 876 |
| Figura 58. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 3.....                               | 877 |
| Figura 59. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 4.....                               | 877 |
| Figura 60. Comportamiento de las formas de nitrógeno en los Trenes de tratamiento.....                                    | 878 |
| Figura 61. Prueba de sedimentación reactores LA.....  | 880 |
| Figura 62. Lodos en prueba de sedimentación reactores LA.....   | 881 |
| Figura 63. Lodos en sedimentadores .....  | 882 |
| Figura 64. Válvulas del sistema de aeración.....  | 883 |
| Figura 65. Perfil de OD en reactores biológicos.....  | 886 |
| Figura 66. Perfil de pH en reactores biológicos .....   | 887 |
| Figura 67. Sustancias transferidas al alcantarillado de Aguascalientes en el año 2020 (RECT).....                         | 888 |
| Figura 68. Portada de los manuales.....   | 892 |
| Figura 69. Infografías.....   | 897 |
| Figura 70. Manual de ejercicios prácticos.....  | 898 |
| Figura 71. Kit de figuras.....  | 903 |
| Figura 72. Reparación .....   | 904 |
| Figura 73. Señalización .....   | 905 |
| Figura 74. Extintores .....   | 906 |
| Figura 75. Botiquín.....  | 907 |
| Figura 76. Personal de los equipos de brigadas.....   | 908 |
| Figura 77. Jefes de los equipos de brigadas .....   | 909 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 78. Número de emergencia.....                                | 910 |
| Figura 79. Equipo para actividades de mayor riesgo .....            | 910 |
| Figura 80. Laboratorio de la PTAR .....                             | 911 |
| Figura 81. Pared con grietas.....                                   | 912 |
| Figura 82. Instrumentos en el laboratorio.....                      | 912 |
| Figura 83. Regadera fuera de servicio, obstruida .....              | 913 |
| Figura 84. Señalización .....                                       | 914 |
| Figura 85. Botiquín y lava ojos .....                               | 915 |
| Figura 86. Carpeta de procedimientos y manuales en laboratorio..... | 916 |
| Figura 87. Personal de laboratorio .....                            | 916 |
| Figura 88. Constancias de cursos tomados .....                      | 917 |
| Figura 89. Sin fin de recolección de arena rehabilitados .....      | 921 |

## 18 INFORMACIÓN DE LA PTAR

### 18.1 Datos generales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “Aguascalientes”, inició sus operaciones en 1991. La PTAR recibe aguas residuales de las zonas norte, noroeste, oeste y suroeste de la Ciudad de Aguascalientes. Fue diseñada para un caudal de 2,000 L/s. En el 2013 en una 1ra etapa fue ampliada (se construyeron 4 sedimentadores primarios y la conducción de lodo primario) y modernizada (pretratamiento). Actualmente la PTAR opera con un gasto de 1,500 L/s aproximadamente y es administrada por el Instituto del Agua del Estado (INAGUA). En la Tabla 1 se presentan algunos datos generales de la planta.

**Tabla 145. Datos generales**

| <b>Datos generales</b>                    |                              |                     |  |
|---|------------------------------|---------------------|--|
| Año de construcción                       | <b>1991</b>                  | Inicio de operación | <b>1994</b>                              |
| Municipios de los cuales recibe descargas | <b>Ciudad Aguascalientes</b> | Población servida   | <b>SD</b>                                |
| Actualización más reciente                | <b>2013-2016</b>             | Tipo de tratamiento | <b>Lodos Activados (Dual-biofiltros)</b> |
| Gasto de diseño                           | <b>2,000 L/s</b>             | Gasto de operación  | <b>1,500 L/s (2021)</b>                  |

SD: Sin información disponible.

### 18.2 Ubicación

La PTAR “Cd. Aguascalientes” se encuentra ubicada en Carretera Agostaderito km. 3, Municipio Aguascalientes, Aguascalientes y se encuentra a cargo de Dionicio López García. En la Tabla 2 se muestran los datos de ubicación y contacto de la PTAR.

**Tabla 146. Ubicación y contacto**

| <b>Ubicación</b>  |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| Nombre de la PTAR | <b>Cd. Aguascalientes</b>             |
| Calle y número    | <b>Carretera AGS 42 a San pascual</b> |

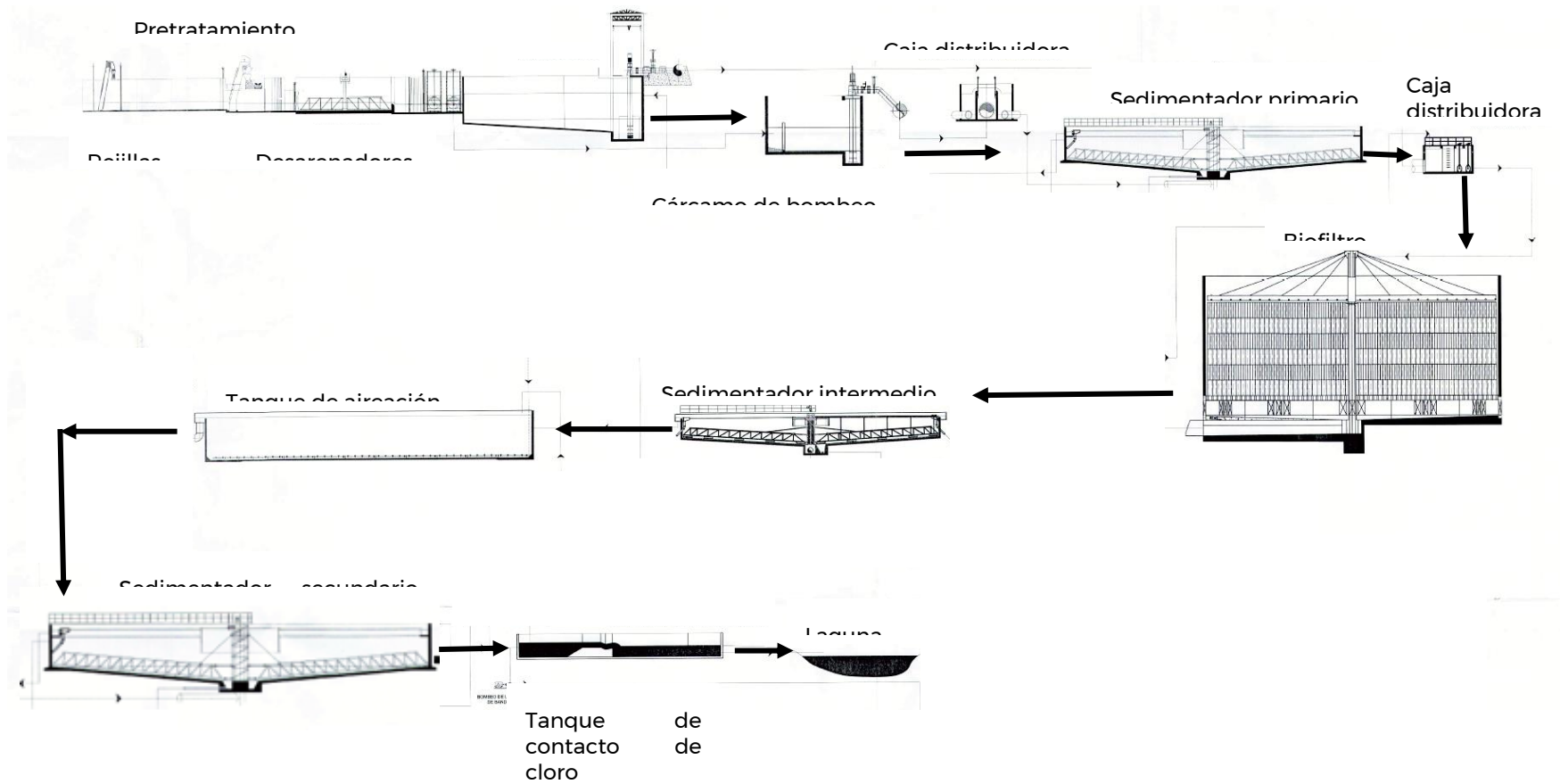
|                    |   |  |                               |
|--------------------|---|--|-------------------------------|
| Colonia y C.P.     |   |  |                               |
| Municipio y estado | <b>Aguascalientes, Aguascalientes</b>   |  |                               |
| Coordenadas        | <b>Latitud: 21° 50' 0.56" N</b><br><b>Longitud: 102° 20' 16.07" O</b>   |  |                               |
| <b>Contacto</b>    |   |  |                               |
| Nombre             | <b>Dionicio López García</b>  | Puesto   | <b>Encargado de operación</b> |
| Correo electrónico | <a href="mailto:dionicioplanta@gmail.com">dionicioplanta@gmail.com</a><br><b>Dionicio.lopez@aguascalientes.gob.mx</b> | Teléfono   | <b>Cel. 449 1201 023</b>      |

### 18.3 Descripción del proceso

El proceso de tratamiento de la PTAR Aguascalientes se muestra en la Figura 1 y consta de un pretratamiento conformado por dos rejillas gruesas consecutivas, cuatro rejillas medianas mecánicas, cinco rejillas finas escalonadas mecánicas y tres desarenadores de flujo horizontal con extracción mecánica de arenas. El tratamiento primario consta de cuatro sedimentadores primarios cuyo efluente es enviado a un cárcamo de bombeo hacia el sistema de tratamiento biológico de dos fases.

La primera fase del sistema de tratamiento biológico consta de cuatro filtros percoladores circulares conectados a cuatro sedimentadores intermedios. La segunda fase del tratamiento biológico consta de cuatro tanques de aireación o sistema de lodos activados seguidos de cuatro sedimentadores secundarios. El efluente de los sedimentadores secundarios se envía a un tanque de contacto de cloro. El efluente de la PTAR es descargado a una laguna y posteriormente a un río.





**Figura 400. Tren de tratamiento de la PTAR**

## 19 REVISIÓN DOCUMENTAL

Se recopilaron diez carpetas de información relacionados a la PTAR Cd. Aguascalientes:

9. Planos
10. Memoria de calculo
11. Manual de operación
12. Manual de mantenimiento
13. Manuales y garantías de equipos
14. Bitácoras de operación
15. Bitácoras de mantenimiento
16. Programa de mantenimiento
17. Datos históricos de calidad del agua
18. Análisis de calidad del agua de cumplimiento ante Conagua
19. Permiso de descarga

La información se puede consultar en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/18eiB89Bqh0aBsZEgq-cle1Q1hJTn-Y3g> y serán entregados en memoria extraíble al término del proyecto.

### 19.1 Planos

Se recopilaron 210 archivos en formato PDF y 239 en formato DWG, con un tamaño de 1.36 GB relacionados a los planos generales, planos por unidad de tratamiento, planos eléctricos y planos de edificios de la PTAR Cd de Aguascalientes.

### 19.2 Permiso de descarga

La Comisión Nacional del agua expidió el título de asignación 08AGS106917/12HMDL12 en el cual se da permiso para descargas aguas residuales por un volumen de 63,665,555.70 metros cúbicos, tiene un plazo de DIEZ AÑOS, contados a partir del 20 de abril de 2011. El documento está fechado el 24 de julio de 2012 (Figura 401).

Por lo anterior la vigencia concluyó el 20 de abril de 2021, personal de la PTAR indica que tienen prorroga hasta noviembre del 2023.

En el anexo 4.1 del permiso de descarga de aguas residuales se mencionan las condiciones particulares de descarga de aguas residuales (Tabla 3). Siendo el tipo de descarga público-urbano al cuerpo receptor Río San Pedro y al suelo (Figura 270).

| Titular   | Título                               | Uso            | Autoridad que emite el acto    | Fecha de registro | Número de anexos de descarga: | Volumen de descarga (m3/día): | Fecha de inicio de vigencia: | Fecha de término de vigencia: |
|---|--------------------------------------|----------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| INSTITUTO DEL AGUA DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES | <a href="#">08AGS106917/12HMDL12</a> | PUBLICO URBANO | DIRECCIÓN LOCAL AGUASCALIENTES | 03/06/2013        | 1                             | 174,426.18                    | 20/04/2011                   | 19/04/2021                    |

### Títulos y permisos de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes

Salir

|                                       |   |  |            |
|---------------------------------------|---|--|------------|
| Título de concesión/asignación:       | 08AGS106917/12HMDL12                            |  |            |
| Titular:                              | INSTITUTO DEL AGUA DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES |  |            |
| Fecha de registro:                    | 03 de Junio del 2013                            |  |            |
| Uso que ampara el título:             | PUBLICO URBANO                                  |  |            |
| Volumen de aguas nacionales (m3/año): | 0.00  |  |            |
| Anexos superficiales:                 | 0   | Volumen de aguas superficiales (m3/año): | 0.00       |
| Anexos subterráneos:                  | 0   | Volumen de aguas subterráneos (m3/año):  | 0.00       |
| Anexos de descarga(s):                | 1   | Volumen de descarga (m3/día):            | 174,426.18 |
| Anexos de zona(s) federal(es):        | 0   | Superficie (m2):                         | 0.00       |
| Anotaciones marginales:               | NO  |  |            |

Selecciona el tipo de anexo(s) a visualizar

Superficiales
  Subterráneos
  Descargas Residuales
  Zonas Federales

#### Anexo(s) de aguas residuales

| No. | Latitud        | Longitud         | Estado         | Municipio      | Región Hidrológica | Cuenca | Cuerpo Receptor          | Descarga Afluente | Procedencia                                       | Forma Descargar                         | Tipo           | Volumen Descarga (m3/día) | Volumen Descarga (m3/año) |
|-----|----------------|------------------|----------------|----------------|--------------------|--------|--------------------------|-------------------|---|---|----------------|---------------------------|---------------------------|
| 1   | 21°50'03.0000" | -102°20'32.7000" | AGUASCALIENTES | AGUASCALIENTES | LERMA-SANTIAGO     | 0      | RIO SAN PEDRO Y AL SUELO | RIO SAN PEDRO     | SERVICIOS MUNICIPALES DE LA CD. DE AGUASCALIENTES | LIBRE POR TUBERIA INFILTRACION AL SUELO | PUBLICO-URBANO | 174,426                   | 63,665.556                |

Fuente: Base de datos del REPDA, <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>

Consultado el 21 de septiembre de 2022

### Figura 401. Datos del permiso de descarga de la PTAR Cd Aguascalientes en el REPDA



**Figura 402. Ubicación de la descarga de la PTAR Cd Aguascalientes**

**Tabla 147. Condiciones particulares de descarga (CPD) de PTAR Cd. Aguascalientes**

| Parámetro         | Unidades | CPD     |         | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Ríos - CR A |         | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Ríos, arroyos, canales, drenes |    |
|-------------------|----------|---------|---------|--------------------------------------|---------|---|----|
|                   |          | PM      | PD      | PM                                   | PD      | PM  | PD |
| Temperatura       | °C       | -       | -       | NA                                   | NA      | 35  | 35 |
| C y A             | mg/L     | 15      | -       | 15                                   | 25      | 15  | 18 |
| Material flotante | mm       | Ausente | Ausente | Ausente                              | Ausente | NA  | NA |
| S. Sed.           | ml/L     | -       | -       | 1                                    | 2       | NA  | NA |
| SST               | mg/L     | 20      | -       | 150                                  | 200     | 60  | 72 |
| DBO <sub>5</sub>  | mg/L     | 20      | -       | 150                                  | 200     | NA  | NA |
| NT                | mg/L     | -       | -       | 40                                   | 60      | 25  | 30 |
| PT                | mg/L     | -       | -       | 20                                   | 30      | 15  | 18 |

| Parámetro               | Unidades      | CPD   |      | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Ríos - CR A |       | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Ríos, arroyos, canales, drenes |       |
|-------------------------|---------------|-------|------|--------------------------------------|-------|---|-------|
|                         |               | PM    | PD   | PM                                   | PD    | PM  | PD    |
| As                      | mg/L          | 0.2   | 0.4  | 0.2                                  | 0.4   | 0.2   | 0.3   |
| Cd                      | mg/L          | 0.2   | 0.4  | 0.2                                  | 0.4   | 0.2   | 0.3   |
| CN                      | mg/L          | 2.0   | 3.0  | 2.0                                  | 3.0   | 1   | 2     |
| Cu                      | mg/L          | 4.0   | 6.0  | 4.0                                  | 6.0   | 4   | 5     |
| Cr                      | mg/L          | 1.0   | 1.5  | 1                                    | 1.5   | 1   | 1.25  |
| Hg                      | mg/L          | 0.001 | 0.02 | 0.01                                 | 0.02  | 0.01  | 0.015 |
| Ni                      | mg/L          | 2.0   | 4.0  | 2                                    | 4     | 2   | 3     |
| Pb                      | mg/L          | 0.5   | 1.0  | 0.5                                  | 1.0   | 0.2   | 0.3   |
| Zn                      | mg/L          | 10    | 20   | 10                                   | 20    | 10  | 15    |
| HH                      | H/L           | <=1   | -    | NA                                   | NA    | NA  | NA    |
| CF                      | NMP/100 ml    | 240   | -    | 1,000                                | 2,000 | NA  | NA    |
| DQO                     | mg/L          | NA    | NA   | NA                                   | NA    | 150   | 180   |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 ml    | NA    | NA   | NA                                   | NA    | 250   | 500   |
| Color                   | Long. de onda | NA    | NA   | NA                                   | NA    | Coeficiente absorción espectral máximo                  |       |
|                         | 436 nm        |       |      |                                      |       | 7.0 m <sup>-1</sup>                                     |       |
|                         | 525 nm        |       |      |                                      |       | 5.0 m <sup>-1</sup>                                     |       |
|                         | 620 nm        |       |      |                                      |       | 3.0 m <sup>-1</sup>                                     |       |
| Toxicidad               | UT            | NA    | NA   | NA                                   | NA    | 2 a los 15 minutos                                      |       |

**PM. - Promedio mensual,**

**PD. - Promedio diario**

**NA. - No aplica.**

### 19.3 Análisis de la memoria de cálculo

#### 19.3.1 Datos de diseño

##### a) Caudal:

- Medio de 2,000 L/s
- Máximo de 3,000 L/s

- Mínimo de 800 L/s

### b) de influente y efluente

En la Tabla 148 se muestra la calidad del agua de entrada a la PTAR.

**Tabla 148. Calidad del agua de entrada**

| Parámetro                           | Unidad       | Influente | Efluente |
|-------------------------------------|--------------|-----------|----------|
| Temperatura máxima                  | ° C          | 26.00     |          |
| Temperatura media                   | ° C          | 25.00     |          |
| Temperatura mínima                  | ° C          | 20.00     |          |
| Potencial de hidrógeno (pH)         | -            | 7.50      |          |
| Grasas y aceites                    | (mg/L)       | 81.00     | 15.00    |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | (mg/L)       | 412.00    | 30.00    |
| Sólidos sedimentables               | (mg/L)       | 3.70      | 1.00     |
| Sólidos suspendidos totales (SST)   | (mg/L)       | 368.00    | 30.00    |
| Sólidos suspendidos volátiles (SSV) | (mg/L)       | 280.00    |          |
| Nitrógeno total (NT)                | (mg/L)       | 57.00     |          |
| Fósforo total (P)                   | (mg/L)       | 13.00     |          |
| Coliformes fecales                  | -(NMP/100mL) | 1.0E+08   | 1000.00  |
| Huevos de helminto                  | (H/L)        | 5.00      | 1.00     |

### 19.3.2 Criterios de diseño

El agua residual tratada es descargada al Río San Pedro para su posterior reúso en la agricultura, sin embargo, en la memoria de cálculo se establece que se cumplirá con la NOM-003-SEMARNAT-1997. Las concentraciones de los parámetros con los que se debe cumplir se muestran en la Tabla 148.

El Instituto Nacional del Agua (INA) seleccionó como sistema dual de tratamiento de aguas residuales, que consiste en tratamiento primario, filtros percoladores, sedimentadores intermedios, lodos activados y sedimentador secundario.

#### a) Pretratamiento

Se citan tres rejillas de barras con limpieza mecánica y una en reserva de desbaste grueso. Los cálculos son correctos.

Se citan tres rejillas de barras tipo criba móvil escalonada de autolimpieza mecánica para desbaste fino y 2 en reserva. La memoria de cálculo presenta datos de cómo se diseñaron las rejillas, los cuales son correctos.

Se cuentan con dos desarenadores de flujo horizontal con extracción mecánica de arenas y uno en reserva. Los cálculos son correctos.

Es una unidad cuadrada con dimensiones de 12X12 m.

El caudal de arena removido por módulo es de 1.73 m<sup>3</sup>/d.

**b) Tratamiento primario. Sedimentadores primarios.**

Se cuenta con cuatro unidades circulares. Los cálculos son correctos.

- Diámetro de 38 m.
- Tirante al perímetro 3.75 m.
- Tiempo de residencia hidráulico 2.31 h.

La Calidad del efluente se muestra en la Tabla 149.

**Tabla 149. Calidad del agua a la salida del sedimentador primario**

| Parámetro                | Efluente | Unidades  |
|--------------------------|----------|-----------|
| SST                      | 199.29   | mg/L      |
| SSV                      | 154.57   | mg/L      |
| DBO                      | 290.04   | mg/L      |
| Nitrógeno orgánico       | 17.05    | mg/L      |
| Nitrógeno Kjeldahl total | 56.03    | mg/L      |
| Nitrógeno total          | 56.03    | mg/L      |
| Fósforo total            | 11.39    | mg/L      |
| Grasas y aceites         | 64.63    | mg/L      |
| Coliformes fecales       | 5.0E+07  | NMP/100mL |
| Huevos de helminto       | 1.58     | H/L       |

- Concentración de lodo purgado; 3.5% (35 kg/m<sup>3</sup>).
- Caudal de lodos purgado; 1 231.28 m<sup>3</sup>/d.
- Masa de lodo purgado; 43 094.89 kg/d.

**c) Filtro percolador**

Se cuenta con cuatro unidades de configuración dodecagonal, circular para efectos prácticos, que están empacados con medio sintético de flujo cruzado. Los cálculos son correctos.

- Diámetro de 38 m.

- Tirante de filtro de 3.66 m.
- Intensidad de rociado
- Mínima: 3.97 min/rev.
- Media: 9.92 min/rev.
- Máxima: 14.87 min/rev.
- Recirculación del 50%.

Puertos de ventilación. El número no es claro, ya que se realizaron varias aproximaciones y no se cita cual es la correcta.

Requerimientos de nitrógeno. En el cálculo del consumo de nitrógeno se considera una DBO de 180 cuando es de 290 mg/L. Por lo que, a partir de este punto todo el balance de nitrógeno está mal.

Requerimiento de fósforo. En el cálculo del consumo de fósforo se considera una DBO de 180 cuando es de 290 mg/L. Por lo que, a partir de este punto todo el balance de fósforo está mal.

La Calidad del efluente se muestra en la Tabla 150.

**Tabla 150. Calidad del agua a la salida del filtro percolador**

| Parámetro                | Efluente | Unidades |
|--------------------------|----------|----------|
| SST                      | 232.03   | mg/L     |
| SSV                      | 162.42   | mg/L     |
| DBO                      | 110.00   | mg/L     |
| Nitrógeno orgánico       | 6.82     | mg/L     |
| Nitrógeno Kjeldahl total | 47.02    | mg/L     |
| Fósforo total            | 9.59     | mg/L     |

#### **d) Sedimentación intermedia**

Se cuenta con cuatro unidades circulares. Los cálculos son correctos.

- Diámetro de 42 m.
- Tirante al perímetro 2.70 m.
- Tiempo de residencia hidráulico 2.04 h.

La Calidad del efluente se muestra en la Tabla 151.

**Tabla 151. Calidad del agua a la salida del sedimentador intermedio**

| Parámetro | Efluente | Unidades |
|-----------|----------|----------|
| SST       | 116.02   | mg/L     |
| SSV       | 81.21    | mg/L     |



| Parámetro                | Efluente | Unidades  |
|--------------------------|----------|-----------|
| DBO                      | 110.00   | mg/L      |
| Nitrógeno orgánico       | 6.82     | mg/L      |
| Nitrógeno Kjeldahl total | 47.02    | mg/L      |
| Fósforo total            | 9.59     | mg/L      |
| Grasas y aceites         | 25.85    | mg/L      |
| Coliformes fecales       | 1.0E+7   | NMP/100mL |
| Huevos de helminto       | 0.40     | H/L       |

Los cálculos de purga de lodos están antes de los cálculos del sedimentador intermedio.

- Concentración de lodo purgado; 2.5% (25 kg/m<sup>3</sup>).
- Caudal de lodos purgado; 819.13 m<sup>3</sup>/d.
- Masa de lodo purgado; 20 478.37 kg/d.

#### **e) Lodos activados**

El proceso de lodos activados es de modalidad convencional y de acuerdo a la memoria de cálculo solo oxidará materia carbonácea.

Se cuenta con cuatro unidades rectangulares.

De acuerdo a ecuaciones mostradas en la memoria de cálculo y los valores de los parámetros citados, existen diferencias de cálculo en los siguientes parámetros: Q<sub>Sr</sub>, P<sub>xv-b</sub>, P<sub>xv</sub>, Z<sub>io</sub>, P<sub>x</sub>.

Existen varios cálculos que no tienen un uso.

- Tiempo medio de retención celular: 2 d.
- Temperatura; media 25, verano 26 (baja), invierno 20 °C (alta).
- SSTLM 2 700 mg/L y SSVLM 1 917.14 mg/L.
- A/M 0.65 kg DBO/ kg SSV d, valor que se sale de lo recomendado 0.2 a 0.6 kg DBO/ kg SSV d. Esto se debe a que los SSVLM son bajos para la carga orgánica que entra.
- En relación a la DBO, primero se fija una de salida de 25 mg/L, después se hace un cálculo y se tiene 11.54 mg/L y posteriormente se calcula a diferentes temperaturas 20.95, 20.82 y 21.67 mg/L, en donde "Yo" no está definida.
- Volumen 3,969 m<sup>3</sup>.
- Largo 42 m.
- Ancho 21 m.
- Tirante efectivo 4.5 m.
- Tiempo de retención hidráulico 2.13 h.

- Índice volumétrico de lodos 125 ml/g, se desconoce de dónde se toma este valor como referencia.
- SSTR 8,000 mg/L.
- Tasa de recirculación 51%.
- Caudal de recirculación 22,271.91 m<sup>3</sup>/d (Se calculó y da 22,376.23 m<sup>3</sup>/d).
- Masa de lodos recirculados 178,175.24 (Se calculó y da 179,0009.83 m<sup>3</sup>/d).
- Caudal de purga 521.00 m<sup>3</sup>/d mod (Se calculó y da 509.00 m<sup>3</sup>/d mod).

Existen diferencias entre los valores reportados de requerimientos de nitrógeno y fósforo con relación a lo calculado.

Se establece que no habrá nitrificación por lo que solo se calcula la demanda de oxígeno para oxidar materia de carbono. No se presenta justificación. Esto puede obedecer a que la demanda de energía sea menor y por tanto el costo energético también lo sea, sin embargo, está la producción de biogás que compensará este costo.

En el cálculo de requerimiento de oxígeno se presentan cuatro diferentes formas de obtenerlo (no hay referencia del origen de las ecuaciones) y al final se toma la que proporciona una mayor demanda.

En el punto de requerimiento de oxígeno estándar (SOR), el cálculo de la variable “ζ” se determinó de forma errónea, al no considerar adecuadamente la variable “C\*20”. Esto se refleja en el valor final 43,038.89 kg/d con el calculado 52,632.38 kg/d.

Lo anterior se ve reflejado en el requerimiento de aire estándar (Qs).

No se menciona si el caudal de aire por difusor es un dato del fabricante.

Se cita que el sistema de difusión está diseñado en tres secciones, sin embargo, no se menciona la base para esta distribución.

1<sup>a</sup>; 45% de aire, 1,317 difusores.

2<sup>a</sup>; 32.5% de aire, 951 difusores.

3<sup>a</sup>; 22.5% de aire, 659 difusores.

En la determinación de potencia de sopladores, en el cálculo de la variable Pd, no está definida “w”. Además, la pérdida de carga se suma dos veces.

La Calidad del efluente se muestra en la Tabla 152.

**Tabla 152. Calidad del agua a la salida del reactor biológico**

| Parámetro | Efluente | Unidades |
|-----------|----------|----------|
| SSTLM     | 2 700    | mg/L     |

|                    |                  |           |
|--------------------|------------------|-----------|
| DBO                | 25, 11.54, 20.95 | mg/L      |
| Nitrógeno total    | 40.48 (21.81)    | mg/L      |
| Fósforo total      | 8.27 (7.17)      | mg/L      |
| Coliformes fecales | 5.0E+6 (2.45E+5) | NMP/100mL |
| Huevos de helminto | 0.5 (0.35)       | H/L       |

#### f) Sedimentador secundario

Se cuenta con cuatro unidades circulares.

- Diámetro de 46 m.
- Tirante al perímetro 4.5 m.
- Tiempo de residencia hidráulico 4.1

Considerando el diámetro de 46 m el área es de 1,661.91 m<sup>2</sup>, que es diferente al reportado 1,681.50 m<sup>2</sup>.

En la carga de sólidos media se consideró una concentración de 4,000 mg/L de SST, cuando el valor correcto es de 2,700 mg/L.

La Calidad del efluente se muestra en la Tabla 153.

**Tabla 153. Calidad del agua a la salida del reactor biológico**

| Parámetro          | Efluente         | Unidades  |
|--------------------|------------------|-----------|
| SST                | 25               | mg/L      |
| DBO                | 25, 11.54, 20.95 | mg/L      |
| Nitrógeno total    | 40.48 (21.81)    | mg/L      |
| Fósforo total      | 8.27 (7.17)      | mg/L      |
| Grasas y aceites   | 12.93            | mg/L      |
| Coliformes fecales | 5.0E+6 (2.45E+5) | NMP/100mL |
| Huevos de helminto | 0.5 (0.35)       | H/L       |

#### g) Desinfección

No se presentan las dimensiones.

Se desconoce si se propone o se realizó una ampliación.

La Conagua recomienda una dosis de cloro para agua residual de 8 mg/L, y se propone una de 5 mg/L.

La Calidad del efluente se muestra en la Tabla 154.

**Tabla 154. Calidad del agua a la salida del reactor biológico**

| <b>Parámetro</b>   | <b>Efluente</b>  | <b>Unidades</b> |
|--------------------|------------------|-----------------|
| SST                | 25               | mg/L            |
| DBO                | 25, 11.54, 20.95 | mg/L            |
| Nitrógeno total    | 40.48 (21.81)    | mg/L            |
| Fósforo total      | 8.27 (7.17)      | mg/L            |
| Grasas y aceites   | 12.93            | mg/L            |
| Coliformes fecales | 1 000            | NMP/100mL       |
| Huevos de helminto | 0.5 (0.35)       | H/L             |

#### **19.4 Análisis de la información histórica de calidad del agua**

A continuación, se muestra una serie de tablas (Tabla 155 a la Tabla 157) que muestran la calidad del agua de salida de la PTAR Aguascalientes, que se reportó a la Comisión Nacional del Agua en el 2021.

Posteriormente, se presenta una discusión de los parámetros que se reportan cada mes a la Comisión Nacional del Agua, tomando como referencia la NOM-001-SEMARNAT-1996 “que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”, y considerando que el agua residual tratada es descargada a río para uso agrícola. Así como en la NOM-001-SEMARNAT-2021. “que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación”. Para esta discusión se tomaron como referencia los valores de los promedios mensuales.

Por otra parte, para facilitar la interpretación de los resultados de los análisis, solo se graficaron parámetros de interés para el riego agrícola, como el caudal, DBO, DQO, SST, pH, grasas y aceites, y nutrientes.

**Tabla 155. Calidad del agua del efluente de la PTAR Aguascalientes 2021. A**

| Parámetro     | Unidad     | CPD     | 01/09/2021 | 01/10/2021 | 11/02/2021 | 12/02/2021 | 10/03/2021 | 11/03/2021 | 15/05/2021 |
|---------------|------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Temperatura   | °C         |         | 19         | 20         | 22         | 23         | 24         | 25         | 25         |
| pH            |            |         | 7.5        | 7.5        | 7.4        | 7.4        | 7.5        | 7.5        | 7.7        |
| Mat. flotante |            | Ausente | Ausente    | Ausente    | Ausente    | Ausente    | Ausente    | Ausente    | Ausente    |
| Cond. Elect.  | µS/cm      |         | 1361       | 1356       | 1251       | 1350       | 1342       | 1337       |            |
| Caudal        | L/s        |         | 866.3      | 1294.69    | 1563.82    | 1568.65    | 1653.42    | 1540.65    | 1549.5     |
| G y A         | mg/L       |         | <5.0       | <5         | <5         | <5         | <5         | <5         | 5.11       |
| CF            | NMP/100 ml | 240     | <3         | <3         | <3         | <3         | <3         | <3         | 4          |
| H de H        | H/L        | <=1     | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         |
| S sed.        | ml/L       |         | <0.5       | <0.5       | <0.5       | <0.5       | <0.5       | <0.5       | <0.1       |
| SST           | mg/L       | 20      | <12        | <12        | <12        | <12        | <12        | 48         | <10        |
| DBO           | mg/L       | 20      | 10.08      | 11.24      | 20.46      | 10.76      | 15.04      | 14.22      | 10         |
| NTK           | mg/L       |         | 31.8       | 19.6       | 27.5       | 29.6       | 35.7       | 30.6       | 29.46      |
| N-Nitritos    | mg/L       |         | 0.077      | 0.954      | 0.265      | 814        | 0.745      | 0.793      | 0.427      |
| N-Nitratos    | mg/L       |         | 7.81       | 6.129      | 0.216      | 0.596      | 0.686      | 1.302      | 0.303      |
| NT            | mg/L       |         | 39.7       | 26.7       | 28         | 31         | 37.1       | 32.7       | 30.19      |
| PT            | mg/L       |         | 9.811      | 9.101      | 4.936      | 5.004      | 9.267      | 7.427      | 5.191      |
| As            | mg/L       | 0.2     | 0.004      | 0.004      | 0.004      | 0.004      | 0.004      | 0.004      | <0.05      |
| Cd            | mg/L       | 0.2     | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.05      |
| CN            | mg/L       | 2       | <0.02      | <0.02      | <0.02      | <0.02      | <0.02      | <0.02      | <0.025     |
| Cu            | mg/L       | 4       | <0.10      | <0.10      | <0.10      | <0.10      | <0.10      | <0.10      | <0.05      |

| Parámetro | Unidad | CPD  | 01/09/2021 | 01/10/2021 | 11/02/2021 | 12/02/2021 | 10/03/2021 | 11/03/2021 | 15/05/2021 |
|-----------|--------|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Cr        | mg/L   | 1    | <0.06      | <0.06      | <0.06      | <0.06      | <0.06      | <0.06      | <0.05      |
| Hg        | mg/L   | 0.01 | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.003     |
| Ni        | mg/L   | 2    | 0.042      | <0.040     | 0.042      | 0.049      | <0.04      | <0.04      | <0.05      |
| Pb        | mg/L   | 0.5  | <0.15      | <0.15      | <0.15      | <0.15      | <0.15      | <0.15      | <0.05      |
| Zn        | mg/L   | 10   | <0.03      | <0.03      | 0.045      | <0.03      | 0.046      | 0.084      | <0.05      |
| DQO       | mg/L   |      | 29.3       | 39.5       | 45.6       | 28         | 33.7       | 47.6       | 30         |

**Tabla 156. Calidad del agua del efluente de la PTAR Aguascalientes 2021. B**

| Parámetro     | Unidades   | CPD     | 16/05/2021 | 29/06/2021 | 30/06/2021 | 17/07/2021 | 30/07/2021 | 13/08/2021 | 14/08/2021 |
|---------------|------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Temperatura   | °C         |         | 24         | 25         | 25         | 27         | 26         | 27         | 26         |
| pH            |            |         | 7.9        | 7          | 7.1        | 7.4        | 6.8        | 7.3        | 7.5        |
| Mat. flotante |            | Ausente | Ausente    | Ausente    | Ausente    | Ausente    | Ausente    | Ausente    | Ausente    |
| Cond. Elect.  | µS/cm      |         |            | 856        | 788        | 1262       | 712        | 1177       | 1254       |
| Caudal        | L/s        |         | 1356.5     | 1000.5     | 1633.5     | 2043.03    | 1918.91    | 1655.13    | 1676.45    |
| G y A         | mg/L       |         | 3.58       | <5         | <5         | <5         | <5         | <5         | <5         |
| CF            | NMP/100 ml | 240     | 3          | <3         | <3         | <3         | <3         | <3         | <3         |
| H de H        | H/L        | <=1     | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         |
| S sed.        | ml/L       |         | <0.1       | <0.5       | <0.5       | <0.5       | <0.5       | <0.5       | <0.5       |
| SST           | mg/L       | 20      | <10        | <12        | <12        | <12        | <12        | <12        | 12         |
| DBO           | mg/L       | 20      | <10        | <9.9       | <9.9       | 15.56      | <9.9       | <9.9       | 28.86      |
| NTK           | mg/L       |         | 27.11      | 8.4        | 7.7        | 17.6       | 6.5        | 19         | 23.1       |

| Parámetro  | Unidades | CPD  | 16/05/2021 | 29/06/2021 | 30/06/2021 | 17/07/2021 | 30/07/2021 | 13/08/2021 | 14/08/2021 |
|------------|----------|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| N-Nitritos | mg/L     |      | 0.777      | 0.827      | 0.641      | 0.311      | 0.304      | 0.361      | 0.242      |
| N-Nitratos | mg/L     |      | 0.46       | 6.814      | 6.857      | 3.527      | 7.63       | 1.703      | 0.658      |
| NT         | mg/L     |      | 28.35      | 16         | 15.2       | 21.4       | 14.4       | 21.1       | 24         |
| PT         | mg/L     |      | 4.6        | 4.779      | 3.578      | 5.025      | 3.797      | 4.47       | 4.563      |
| As         | mg/L     | 0.2  | <0.05      | 0.003      | 0.003      | 0.004      | 0.004      | 0.003      | 0.003      |
| Cd         | mg/L     | 0.2  | <0.05      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      |
| CN         | mg/L     | 2    | <0.025     | <0.02      | <0.02      | <0.02      | <0.02      | <0.02      | <0.02      |
| Cu         | mg/L     | 4    | <0.05      | <0.10      | <0.10      | <0.10      | <0.10      | <0.10      | <0.10      |
| Cr         | mg/L     | 1    | <0.05      | <0.06      | <0.06      | <0.06      | <0.06      | <0.06      | <0.06      |
| Hg         | mg/L     | 0.01 | <0.003     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     |
| Ni         | mg/L     | 2    | <0.05      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      |
| Pb         | mg/L     | 0.5  | <0.05      | <0.15      | <0.15      | <0.15      | <0.15      | <0.15      | <0.15      |
| Zn         | mg/L     | 10   | <0.05      | 0.336      | 0.119      | 0.05       | 0.044      | 0.044      | 0.036      |
| DQO        | mg/L     |      | 34.54      | 17.9       | 14.5       | 25.1       | 20.4       | 40.7       | 43.1       |

**Tabla 157. Calidad del agua del efluente de la PTAR Aguascalientes 2021. C**

| Parámetro     | Unidades | Límite  | 02/09/2021 | 03/09/2021 | 06/10/2021 | 10/11/2021 | 18/11/2021 | 10/12/2021 | 15/12/2021 |
|---------------|----------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Temperatura   | °C       |         |            | 26         | 25         | 24         | 23         | 24         | 23         |
| pH            |          |         |            | 7.3        | 7.2        | 7.3        | 7.5        | 7.4        | 7.2        |
| Mat. flotante |          | Ausente | Ausente    | Ausente    | Ausente    | Ausente    | Ausente    | Ausente    | Ausente    |
| Cond. Elect.  | µS/cm    |         |            | 1253       | 1292       | 1327       | 1267       | 1450       | 1376       |
| Caudal        | l/s      |         |            | 1591.8     | 1751.68    | 1399.23    | 1524.23    | 1543.99    | 912.17     |
| C.v.A.        | mg/l     |         | <5         | <5         | <5         | <5         | <5         | <5         | <5         |

| Parámetro  | Unidades   | Límite | 02/09/2021 | 03/09/2021 | 06/10/2021 | 10/11/2021 | 18/11/2021 | 10/12/2021 | 15/12/2021 |
|------------|------------|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| CF         | NMP/100 ml | 240    | <3         | <3         | <3         | <3         | <3         | <3         | <3         |
| H de H     | H/l        | <=1    | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         |
| S sed      | ml/l       |        | <0.5       | <0.5       | <0.5       | <0.5       | <0.5       | <0.5       | <0.5       |
| SST        | mg/l       | 20     | <12        | <12        | 12         | 20         | 30         | 14         | <12        |
| DBO        | mg/l       | 20     | 16.44      | 15.8       | <9.9       | <9.9       | 12.64      | 17.64      | 17.2       |
| NTK        | mg/l       |        | 22.9       | 23.5       | 26.6       | 24.4       | 28.1       | 21.9       | 27.1       |
| N-Nitritos | mg/l       |        | 0.168      | 0.502      | 0.365      | 0.353      | 0.244      | 0.165      | 0.369      |
| N-Nitratos | mg/l       |        | 0.17       | <0.1       | 1.843      | 3.841      | 1.459      | 17.918     | 1.63       |
| NT         | mg/l       |        | 23.2       | 24.1       | 28.8       | 28.6       | 29.8       | 4.0        | 29.1       |
| DT         | mg/l       |        | 4.41       | 4.545      | 5.048      | 4.87       | 5.763      | 6.096      | 5.04       |
| As         | mg/l       | 0.2    | 0.002      | 0.003      | 0.002      | 0.002      | 0.002      | 0.003      | 0.004      |
| Cd         | mg/l       | 0.2    | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      |
| CN         | mg/l       | 2      | <0.02      | <0.02      | <0.02      | <0.02      | <0.02      | <0.02      | <0.02      |
| Cu         | mg/l       | 4      | <0.10      | <0.10      | <0.10      | <0.10      | <0.10      | <0.10      | <0.10      |
| Cr         | mg/l       | 1      | <0.06      | <0.06      | <0.06      | <0.06      | <0.06      | <0.06      | <0.06      |
| Hg         | mg/l       | 0.01   | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     |
| Ni         | mg/l       | 2      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      | <0.04      |
| Pb         | mg/l       | 0.5    | <0.15      | <0.15      | <0.15      | <0.15      | <0.15      | <0.15      | <0.15      |
| Zn         | mg/l       | 10     | <0.03      | <0.03      | 0.053      | <0.03      | <0.03      | <0.03      | <0.03      |
| DOO        | mg/l       |        | 44.3       | 45         | 30.8       | 21.2       | 28.1       | 45.8       | 31.6       |



### 19.4.1 Caudal

Si bien la capacidad de tratamiento de la PTAR de Aguascalientes es de 2,000 L/s, en el año de 2021 operó a un caudal promedio de 1,500 L/s, lo que representa el 75.0% de su capacidad.

Observando la Figura 403, se aprecia un descenso en el caudal tratado durante los meses de mayo y junio, sin embargo, en julio aumenta, y nuevamente disminuye en agosto. Además, de que a finales e inicio de año también se aprecia una disminución de agua tratada. En los meses restantes se aprecia un valor promedio de 1,500 L/s.

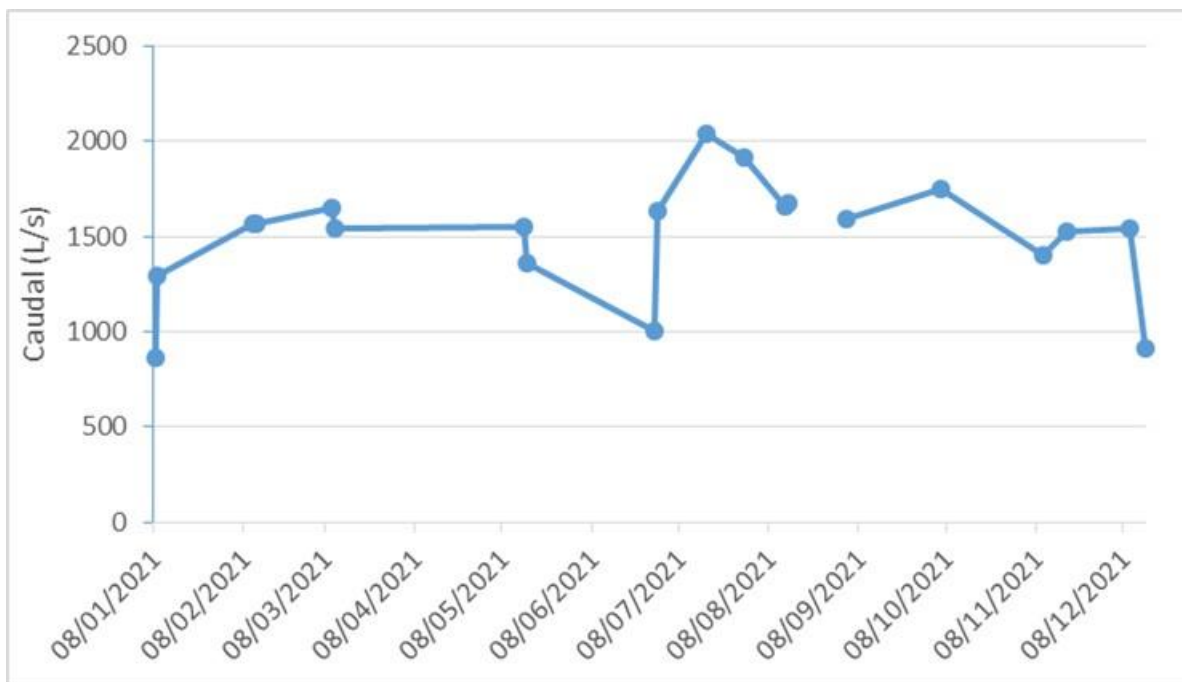


Figura 403. Tendencia del Caudal del efluente

### 19.4.2 pH

Al ser un proceso de tratamiento biológico, éste considera el empleo de microorganismos, por lo que para que éstos se desarrollen adecuadamente deben coexistir en un rango de 6.0 a 8.5 unidades de pH. Por lo que de acuerdo a lo que se observa en las tablas y gráficas el agua de salida presenta un pH en promedio cercano a 7.37 unidades, dentro de rango, lo que indica que en las lagunas existen microorganismos favorables para la estabilización de la materia orgánica.

Por otra parte, en la NOM-001-SEMARNAT-1996, se estipula un rango óptimo de descarga es de 5 a 10 unidades, y en la NOM-001-SEMARNAT-

2021 de 6 a 9, por lo que este parámetro cumple en el efluente de la PTAR (Figura 404 y Figura 405).

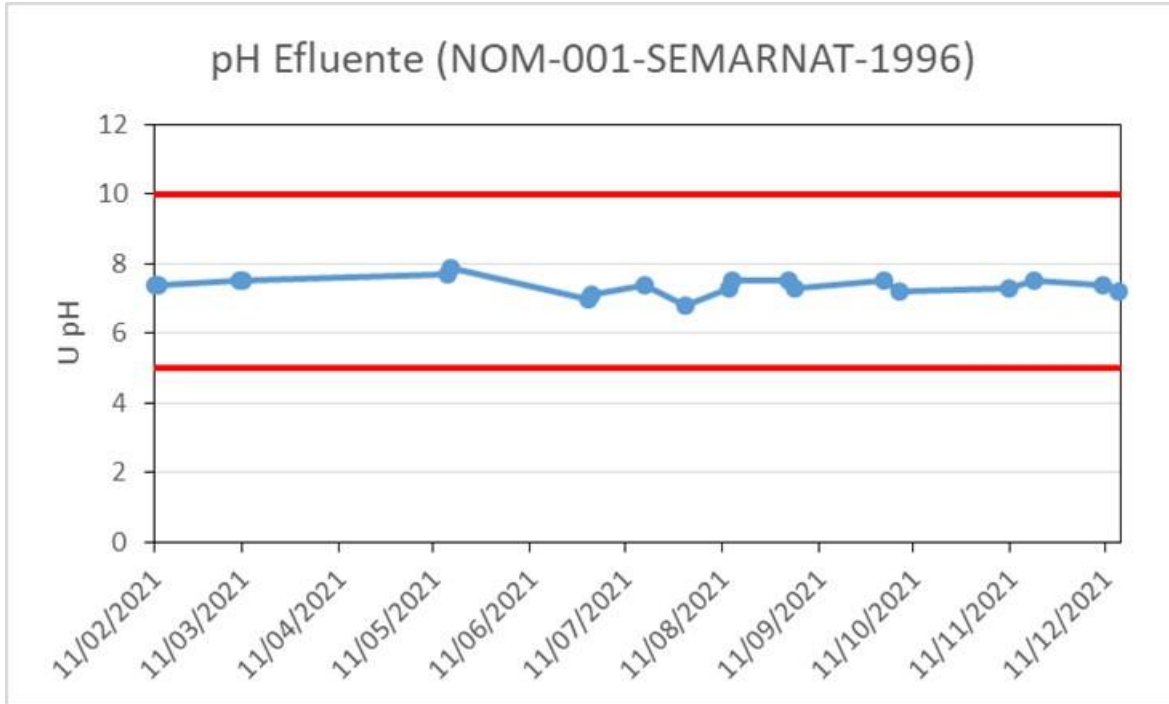


Figura 404. Tendencia del pH del efluente con relación a la NOM-001-SEMARNAT-1996

### 19.4.3 Coliformes fecales

Debido a que el sistema de tratamiento cuenta con un tanque de cloración, se cumple con lo estipulado en la NOM-001-SEMARNAT-1996, ya que el valor reportado casi siempre fue menor a 3 NMP/100 ml y nunca se rebasó los 2,000 NMP/100 ml estipulados en la norma y en las CPD.

### 19.4.4 Grasas y Aceites

En las CPD, en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y en la NOM-001-SEMARNAT-2021 se establece como límite máximo permisible para promedio mensual de grasas y aceites un valor de 15 mg/L, concentración que no es rebasada, ya que la en la mayoría de los datos reportados se encuentra por debajo de los 5 mg/L.

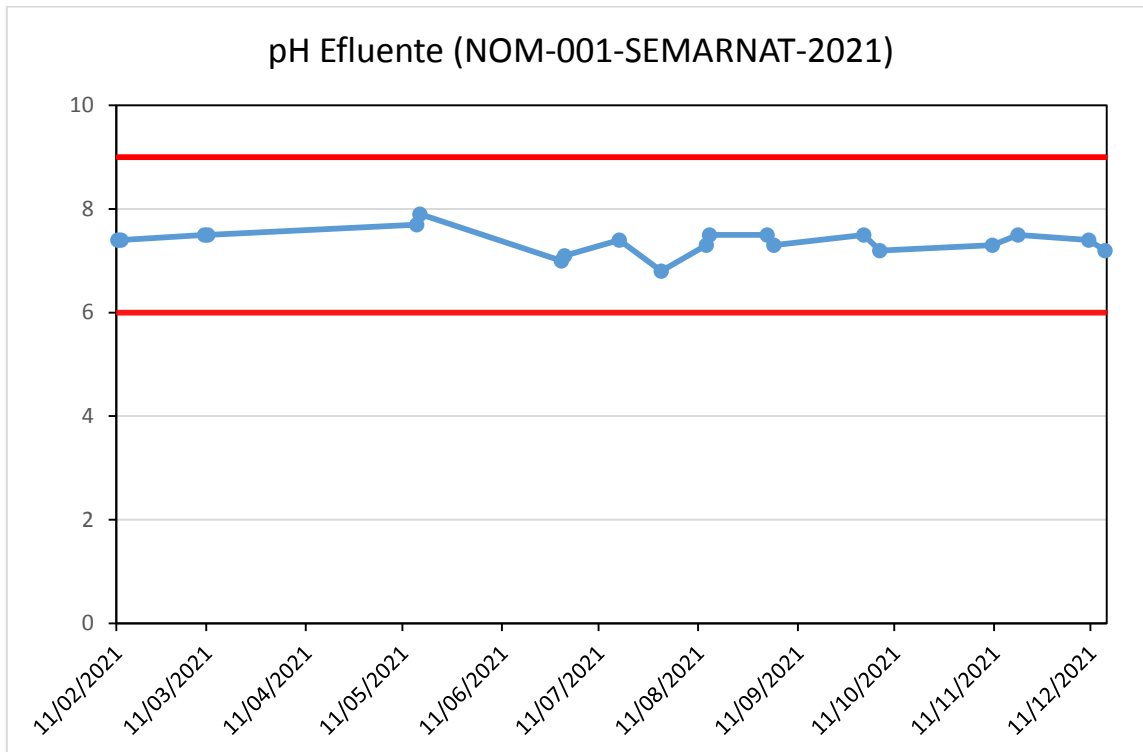


Figura 405. Tendencia del pH del efluente con relación a la NOM-001-SEMARNAT-2021

#### 19.4.5 Materia Flotante

Siempre fue ausente, por lo que se cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996.

#### 19.4.6 Sólidos sedimentables

La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que los sólidos sedimentables deben ser menores a 1 ml/L, y en este caso en el periodo de estudio se reportó <0.5 ml/L, por lo que se cumple con la normatividad.

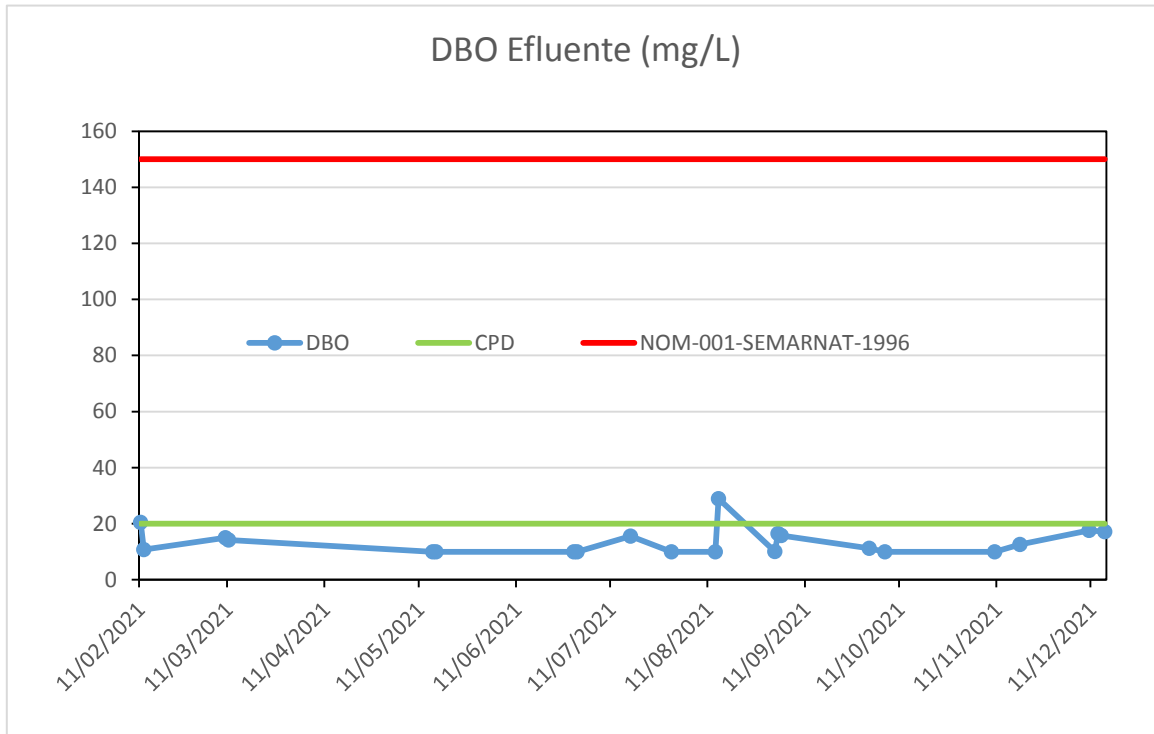
#### 19.4.7 Sólidos suspendidos totales (SST)

Los datos muestran que casi siempre se tienen concentraciones menores de 12 mg/L, y en la NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que para los sólidos suspendidos totales el LMP es de 150 mg/L, para la NOM-001-SEMARNAT-2021 se establece un máximo de 60 mg/L y para la CPD de 20 mg/L, por lo que se cumple con la normatividad.

#### 19.4.8 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

En la NOM-001-SEMARNAT-1996 se establece un límite máximo permisible de 150 mg/L y la NOM-001-SEMARNAT-2021 no lo considera. Por lo cual, se

cumple con esta normatividad. Pero para las CPD se considera una concentración de 20 mg/L, valor que solo es rebasado en el mes de agosto con 28.86 mg/L (Figura 406). En promedio la DBO fue de 13.6 mg/L para el periodo de estudio.

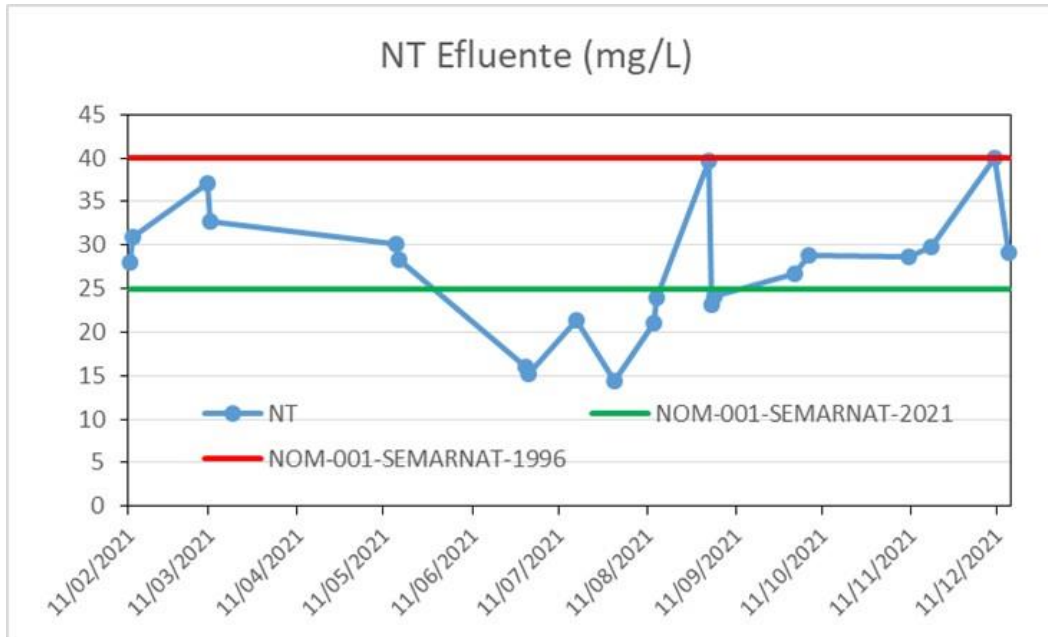


**Figura 406. Tendencia de la demanda bioquímica de oxígeno del efluente**

#### 19.4.9 Nitrógeno Total (NT)

A este parámetro están asociados el nitrógeno total Kjeldahl (NTK), nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal, y el reporte de calidad del agua presenta concentraciones de los tres primeros, sin embargo, solo el NT es de importancia para efectos de normatividad. Es necesario comentar, que en el reporte de análisis prácticamente las concentraciones del NTK y las del NT son muy similares, la diferencia entre ellos es la suma de los nitritos y nitratos.

Si bien en las CPD no se considera el NT, de acuerdo con la Figura 407 actualmente se está cumpliendo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, sin embargo, en época de secas no sucede lo mismo con la NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece como LMP 25 mg/L. Por lo que, la PTAR deberá implantar acciones que lleven a su cumplimiento en un futuro.

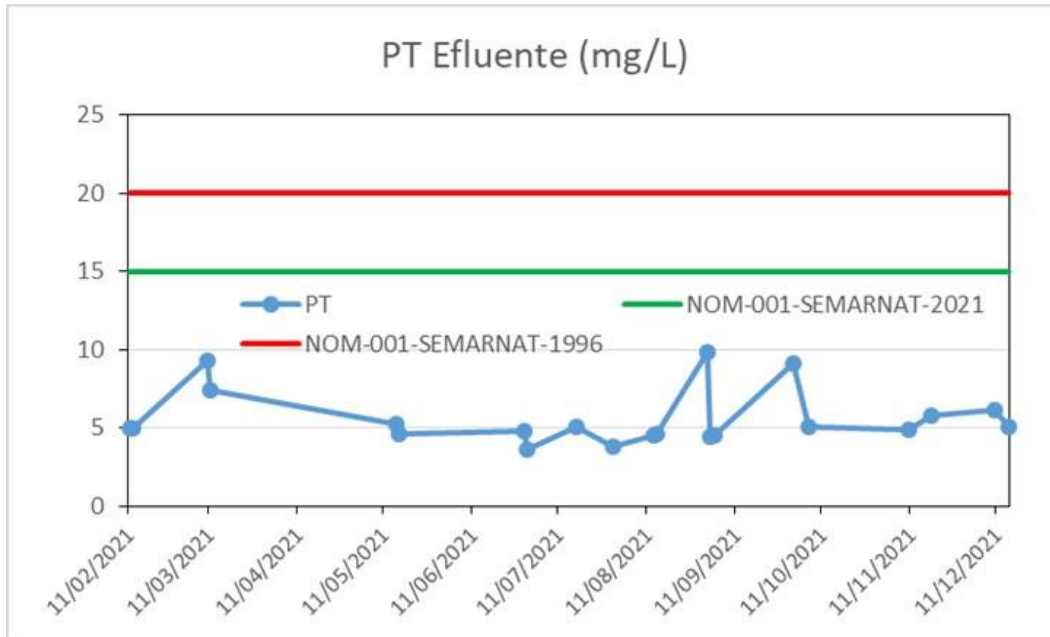


**Figura 407. Tendencia del nitrógeno total del efluente**

#### 19.4.10 Fósforo Total (PT)

La Figura 408, se puede apreciar que en los meses de lluvia la concentración de fósforo prácticamente está por debajo de los 5 mg/L, sin embargo, en época de secas éste aumenta, pero sin rebasar los 10 mg/L.

Si bien en las CPD no se considera el fósforo, las concentraciones reportadas cumplen con los LMP establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, y en la NOM-001-SEMARNAT-2021.

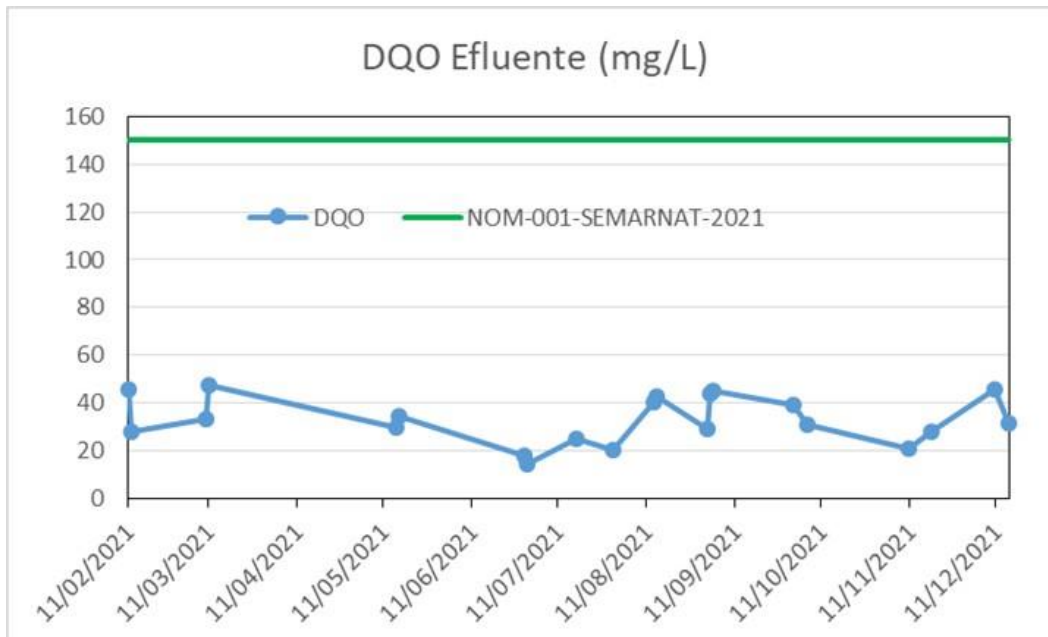


**Figura 408. Tendencia del fósforo total del efluente**

#### 19.4.11 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Si bien este parámetro no está considerado en la NOM-001-SEMARNAT-1996, en la NOM-001-SEMARNAT-2021 se establece un límite máximo permisible de 150 mg/L.

Como se observa en la Figura 409, las concentraciones más bajas que se reportaron corresponden a la época de lluvias, por otra parte, en la temporada de secas las concentraciones máximas que se alcanzan son de 45 mg/L. Lo anterior, lleva que no se tendrá problema por cumplir con la NOM-001-SEMARNAT-2021.



**Figura 409. Tendencia de la demanda química de oxígeno del efluente**

#### 19.4.12 Metales pesados y cianuros

Como se puede apreciar en la Tabla 155, Tabla 156 y

Tabla 157 las concentraciones de los metales y cianuros fueron reportados menores a los límites de detección. Por lo tanto, siempre se cumplió con la NOM-001-SEMARNAT-1996, y la NOM-001-SEMARNAT-2021. Además de las condiciones particulares de descarga establecidas.

### 19.5 Análisis de la información del Proceso

#### 19.5.1 Análisis rutinarios

Como ya se mencionó la PTAR de Aguascalientes cuenta con un laboratorio que se encuentra equipado y con material y reactivos para realizar el análisis de diferentes parámetros para el control y monitoreo del proceso.

En este sentido solo se proporcionó información de los años 2019 y 2020, la cual se muestra en la Tabla 158 a la Tabla 161.

**Tabla 158. Calidad del agua residual y residual tratada de la PTAR Aguascalientes 2019. A**

| Fecha de muestreo | Turbiedad (UNT) |      | S Sed (ml/L) |      | SST (mg/L) |     | SSV (mg/L) |     | DQO (mg/L) |     |
|-------------------|-----------------|------|--------------|------|------------|-----|------------|-----|------------|-----|
|                   | AR              | ART  | AR           | ART  | AR         | ART | AR         | ART | AR         | ART |
| 07/01/2019        |                 | 5.76 | 1.5          | <0.2 | 197        | <10 | 169        | <10 | 396        | 52  |
| 16/01/2019        |                 | 6.91 | 2.0          | <0.2 | 162        | <10 | 136        | <10 | 463        | 75  |
| 23/01/2019        |                 | 3.57 | 2.0          | <0.2 | 180        | <10 | 158        | <10 | 459        | 51  |
| 11/02/2019        |                 | 4.13 | 2.5          | <0.2 | 183        | <10 | 124        | <10 | 443        | 39  |
| 20/02/2019        |                 | 4.33 | 2.5          | <0.2 | 170        | <10 | 160        | <10 | 506        | 54  |
| 06/03/2019        |                 | 4.38 | 2.5          | <0.2 | 229        | 7   | 175        | 7   | 493        | 61  |
| 19/03/2019        |                 | 4.04 | 2.0          | <0.2 | 184        | <10 | 161        | <10 | 460        | 169 |
| 03/04/2019        |                 | 3.59 | 7.0          | <0.2 | 273        | <10 | 232        | <10 | 544        | 185 |
| 15/04/2019        |                 | 4.93 | 10.0         | <0.2 | 152        | 48  | 136        | 48  | N/R        | N/R |
| 14/05/2019        |                 | 4.02 | 3.5          | <0.2 | 178        | <10 | 123        | <10 | N/R        | N/R |
| 22/05/2019        |                 | 5.35 | 3.0          | <0.2 | 180        | <10 | 166        | <10 | N/R        | N/R |
| 05/06/2019        |                 | 3.68 | 2.5          | <0.2 | 250        | <10 | 164        | <10 | N/R        | N/R |
| 25/06/2019        |                 | 2.92 | 2.9          | <0.2 | 182        | <10 | 115        | <10 | N/R        | N/R |
| 03/07/2019        |                 | 2.86 | 1.0          | <0.2 | 140        | <10 | 107        | <10 | N/R        | N/R |
| 18/07/2019        |                 | 3.69 | 3.1          | <0.2 | 158        | <10 | 130        | <10 | N/R        | N/R |
| 08/08/2019        |                 | 2.92 | 10.0         | <0.5 | 173        | <10 | 145        | <10 | N/R        | N/R |
| 20/08/2019        |                 | 4.71 | 2.0          | <0.2 | 117        | <10 | 107        | <10 | N/R        | N/R |
| 10/09/2019        |                 | 4.38 | 1.5          | <0.2 | 167        | <10 | 93         | <10 | N/R        | N/R |
| 08/10/2019        |                 | 7.28 | 2.0          | <0.2 | 171        | <10 | 133        | <10 | N/R        | N/R |
| 21/10/2019        |                 | 4.79 | 1.0          | <0.2 | 81         | <10 | 58         | <10 | 97         | 22  |
| 06/11/2019        |                 | 3.44 | 1.5          | <0.2 | 133        | <10 | 110        | <10 | 210        | 22  |
| 21/11/2019        |                 | 7.13 | 16.0         | <0.2 | 191        | <10 | 160        | <10 | 235        | 29  |
| 04/12/2019        |                 | 6.18 | 2.3          | <0.2 | 136        | 7   | 113        | 7   | 432        | 37  |
| 19/12/2019        |                 | 5.32 | 9.0          | <0.2 | 162        | <10 | 150        | <10 | 436        | 27  |

**Tabla 159. Calidad del agua residual y residual tratad de la PTAR Aguascalientes 2019. B**



| Fecha de muestreo | DBO (mg/L) |     | Nitrógeno amoniacal (mg/L) |       | Fósforo total (mg/L) |       | Grasas y aceites (mg/L) |     | Coliformes Fecales (NMP/100mL) |       |
|-------------------|------------|-----|----------------------------|-------|----------------------|-------|-------------------------|-----|--------------------------------|-------|
|                   | AR         | ART | AR                         | ART   | AR                   | ART   | AR                      | ART | AR                             | ART   |
| 07/01/2019        | 150        | <10 | 22.30                      | 16.10 | 6.22                 | 5.74  | 36                      | 5   | N/A                            | 40    |
| 16/01/2019        | 129        | <10 | 17.00                      | 14.45 | 10.63                | 7.10  | 29                      | 2   | N/A                            | 230   |
| 23/01/2019        | 168        | <10 | 20.30                      | 11.70 | 3.48                 | 2.16  | 106                     | 2   | N/A                            | 230   |
| 11/02/2019        | 162        | 17  | 40.00                      | 28.90 | 1.72                 | 1.09  | 35                      | 2   | N/A                            | 2400  |
| 20/02/2019        | 185        | 31  | 45.50                      | 25.80 | 29.38                | 26.44 | 24                      | 2   | N/A                            | >2400 |
| 06/03/2019        | 138        | <10 | 21.50                      | 15.10 | 7.93                 | 7.37  | 61                      | 1   | N/A                            | 930   |
| 19/03/2019        | 211        | <10 | 19.75                      | 12.30 | 10.94                | 8.69  | 17                      | 4   | N/A                            | 2400  |
| 03/04/2019        | 333        | 12  | 38.25                      | 22.90 | 8.67                 | 7.40  | 2                       | 25  | N/A                            | 930   |
| 15/04/2019        | 71         | <10 | 33.30                      | 47.50 | 13.87                | 5.58  | 40                      | 19  | N/A                            | 2400  |
| 14/05/2019        | 156        | 13  | 37.50                      | 34.25 | 10.54                | 14.76 | 55                      | 11  | N/A                            | 930   |
| 22/05/2019        | 214        | <10 | 17.00                      | 9.00  | 8.36                 | 6.08  | 46                      | 2   | N/A                            | 430   |
| 05/06/2019        | 167        | <10 | 26.25                      | 26.50 | 24.38                | 15.93 | 13                      | 2   | N/A                            | 430   |
| 25/06/2019        | 77         | 11  | 41.25                      | 23.58 | 11.15                | 17.32 | 33                      | 3   | N/A                            | 930   |
| 03/07/2019        | 73         | <10 | 12.25                      | 9.45  | 2.29                 | 3.15  | 18                      | 3   | N/A                            | ≥2400 |
| 18/07/2019        | 100        | 13  | 17.00                      | 12.55 | 5.09                 | 6.72  | 24                      | 2   | N/A                            | 90    |
| 08/08/2019        | 276        | <10 | N/R                        | N/R   | 7.03                 | 6.53  | 209                     | 6   | N/A                            | 430   |
| 20/08/2019        | 143        | <10 | N/R                        | N/R   | 12.08                | 7.89  | N/R                     | N/R | N/A                            | 430   |
| 10/09/2019        | 74         | <10 | N/R                        | N/R   | 7.28                 | 8.90  | N/R                     | N/R | N/A                            | 2400  |
| 08/10/2019        | 152        | 10  | N/R                        | N/R   | 8.88                 | 7.55  |                         | 0   | N/A                            | 930   |
| 21/10/2019        | 69         | 11  | N/R                        | N/R   | 2.13                 | 3.24  | 7                       | 3   | N/A                            | ≥2400 |
| 06/11/2019        | 87         | <10 | N/R                        | N/R   | 4.18                 | 2.93  | 33                      | 1   | N/A                            | 4600  |
| 21/11/2019        | 225        | 7   | N/R                        | 0     | 6.24                 | 3.50  | 25                      | 2   | N/A                            | 2400  |
| 04/12/2019        | 163        | <10 | N/R                        | 0     | 4.54                 | 3.50  | 21                      | 1   | N/A                            | >2400 |
| 19/12/2019        | 207        | <10 | N/R                        | 0     | 4.01                 | 4.86  | 29                      | 2   | N/A                            | 1500  |

**Tabla 160. Calidad del agua residual y residual tratad de la PTAR Aguascalientes 2020. A**

| Fecha de muestreo | Turbiedad (UNT) |       | S Sed (mL/L) |      | SST (mg/L) |     | SSV (mg/L) |     | DQO (mg/L) |     |
|-------------------|-----------------|-------|--------------|------|------------|-----|------------|-----|------------|-----|
|                   | AR              | ART   | AR           | ART  | AR         | ART | AR         | ART | AR         | ART |
| 09/01/2020        |                 | 7.91  | 9.0          | <0.2 | 198        | 10  | 167        | 10  | 501        | 15  |
| 15/01/2020        |                 | 12.70 | 2.5          | <0.2 | 165        | 17  | 125        | 17  | 507        | 111 |
| 22/01/2020        |                 | 12.30 | 1.5          | <0.2 | 130        | 17  | 98         | 17  | 362        | 10  |
| 28/01/2020        |                 | 5.89  | 2.5          | <0.2 | 209        | 10  | 141        | 10  | 552        | 82  |
| 10/02/2020        |                 | 11.20 | 4.0          | <0.2 | 175        | 12  | 143        | 12  | 478        | 39  |
| 21/02/2020        |                 | 5.46  | 3.0          | <0.2 | 110        | 4   | 88         | 4   | 406        | 19  |
| 02/03/2020        |                 | 5.54  | 1.5          | <0.2 | 180        | 8   | 113        | 8   | 428        | 16  |
| 12/03/2020        |                 | 5.80  | 12.0         | <0.2 | 257        | 7   | 200        | 7   | 590        | 40  |
| 21/04/2020        |                 | 5.18  | 2.0          | <0.2 | 145        | <10 | 130        | <10 | 385        | 68  |
| 14/05/2020        |                 | 4.54  | 2.0          | <0.2 | 127        | 7   | 82         | 7   | 338        | 12  |
| 28/05/2020        |                 | 6.32  | 7.0          | <0.2 | 158        | 5   | 122        | 5   | 456        | 54  |
| 11/06/2020        |                 | 6.61  | 1.0          | <0.2 | 126        | <10 | 98         | <10 | 287        | 70  |
| 17/06/2020        |                 | 5.68  | 2.0          | <0.2 | 139        | <10 | 111        | <10 | 365        | 57  |
| 14/07/2020        |                 | 4.32  | 1.5          | <0.2 | 83         | <10 | 50         | <10 | 299        | 22  |
| 29/10/2020        |                 | 3.57  | 3.0          | <0.2 | 180        | 4   | 153        | 4   | 399        | 59  |
| 18/11/2020        |                 | 4.23  | 2.0          | <0.2 | 138        | 4   | 116        | 4   | 356        | 69  |
| 15/12/2020        |                 | 3.01  | 1.2          | <0.2 | 104        | 5   | 85         | 5   | 311        | 60  |

**Tabla 161. Calidad del agua residual y residual tratad de la PTAR Aguascalientes 2020. B**

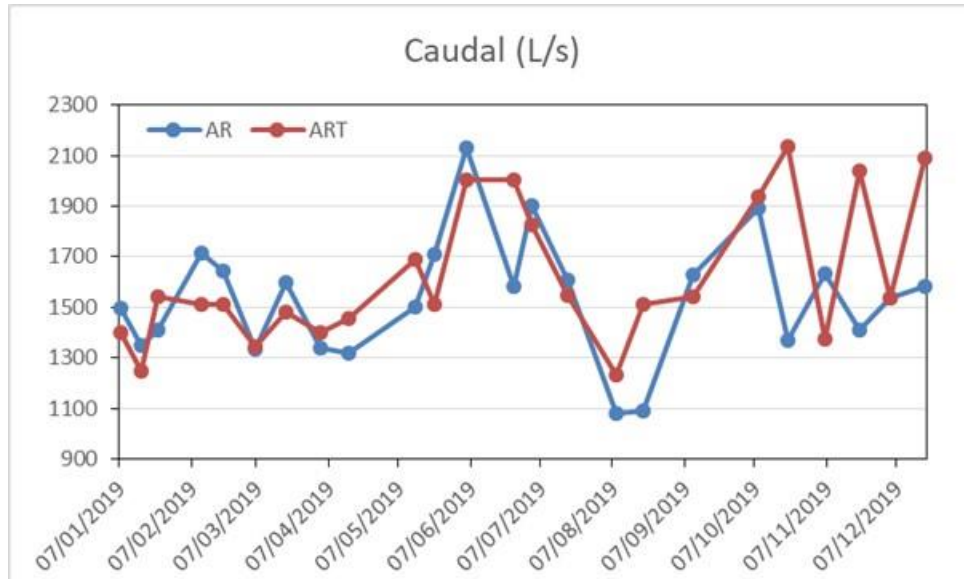
| Fecha de muestreo | DBO (mg/L) |     | Nitrógeno amoniacoal (mg/L) |      | Fósforo total (mg/L) |      | Grasas y aceites (mg/L) |     | Coliformes Fecales (NMP/100mL) |     |
|-------------------|------------|-----|-----------------------------|------|----------------------|------|-------------------------|-----|--------------------------------|-----|
|                   | AR         | ART | AR                          | ART  | AR                   | ART  | AR                      | ART | AR                             | ART |
| 09/01/2020        | 237        | <10 | 20.3                        | 18.5 | 7.29                 | 9.73 | 38                      | 2   | N/A                            | 430 |
| 15/01/2020        | 306        | <10 | 19.0                        | 17.8 | 6.99                 | 9.21 | 31                      | 7   | N/A                            | 230 |

| Fecha de muestreo | DBO (mg/L) |     | Nitrógeno amoniacal (mg/L) |      | Fósforo total (mg/L) |       | Grasas y aceites (mg/L) |     | Coliformes Fecales (NMP/100mL) |       |
|-------------------|------------|-----|----------------------------|------|----------------------|-------|-------------------------|-----|--------------------------------|-------|
|                   | AR         | ART | AR                         | ART  | AR                   | ART   | AR                      | ART | AR                             | ART   |
| 22/01/2020        | 222        | <10 | 17.0                       | 14.8 | 4.40                 | 7.62  | 23                      | 3   | N/A                            | 1500  |
| 28/01/2020        | 176        | <10 | 26.0                       | 14.7 | 8.80                 | 9.03  | 28                      | 3   | N/A                            | <30   |
| 10/02/2020        | 287        | 12  | 37.5                       | 36.9 | 5.94                 | 9.66  | 18                      | 1   | N/A                            | 4600  |
| 21/02/2020        | 106        | 11  | 43.8                       | 32.0 | 9.63                 | 8.48  | 18                      | 4   | N/A                            | 2400  |
| 02/03/2020        | 230        | <10 | 17.5                       | 19.9 | 6.14                 | 4.89  | 34                      | 5   | N/A                            | 750   |
| 12/03/2020        | 192        | <10 | 18.3                       | 14.0 | 12.99                | 6.62  | 46                      | 7   | N/A                            | 930   |
| 21/04/2020        | 164        | 26  | 45.0                       | 33.7 | 3.38                 | 3.20  | 33                      | 3   | N/A                            | ≥2400 |
| 14/05/2020        | 121        | <10 | 16.8                       | 13.8 | 7.50                 | 16.35 | 25                      | 3   | N/A                            | 4600  |
| 28/05/2020        | 264        | <10 | 15.5                       | 12.7 | 5.44                 | 9.70  | 32                      | 1   | N/A                            | 11000 |
| 11/06/2020        | 168        | <10 | 31.7                       | 24.3 | 4.21                 | 4.62  | 5                       | 3   | N/A                            | 4600  |
| 17/06/2020        | 162        | 10  | 31.3                       | 26.6 | 2.05                 | 4.92  | 13                      | 3   | N/A                            | 11000 |
| 14/07/2020        | 134        | <10 | 15.3                       | 11.2 | 9.80                 | 9.08  | 61                      | 3   | N/A                            | 1500  |
| 29/10/2020        | 160        | 24  | 32.5                       | 16.5 | 6.68                 | 12.59 | 27                      | 2   | N/A                            | 2400  |
| 18/11/2020        | 142        | 28  | 17.3                       | 14.8 | 8.43                 | 6.70  | 30                      | 2   | N/A                            | 930   |
| 15/12/2020        | 124        | 24  | 16.5                       | 15.1 | 8.86                 | 5.40  | 27                      | 4   | N/A                            | 4600  |

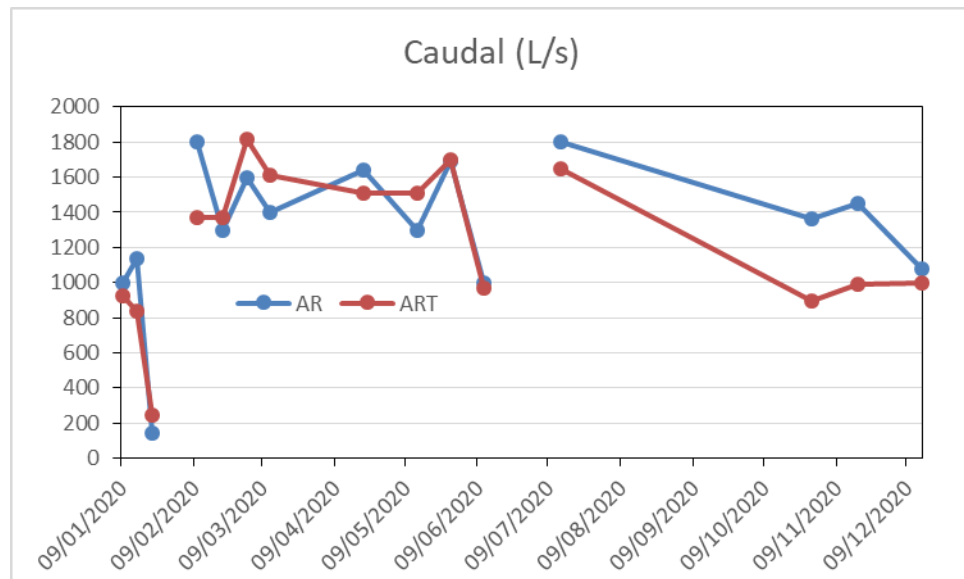
A continuación, se muestran algunas gráficas del comportamiento de estos parámetros.

### 19.5.1.1 Caudal

Como se parecía en la Figura 410 y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura 411 el flujo de agua residual no presenta una tendencia uniforme, por ejemplo, en 2019 vario de 1,100 a 2,100 L/s, con un promedio 1,600 L/s de agua residual tratada (ART) y en 2020 descendió entre 900 a 1,800 L/s, con un promedio de 1,200 L/s de ART.



**Figura 410. Tendencia del caudal 2019**

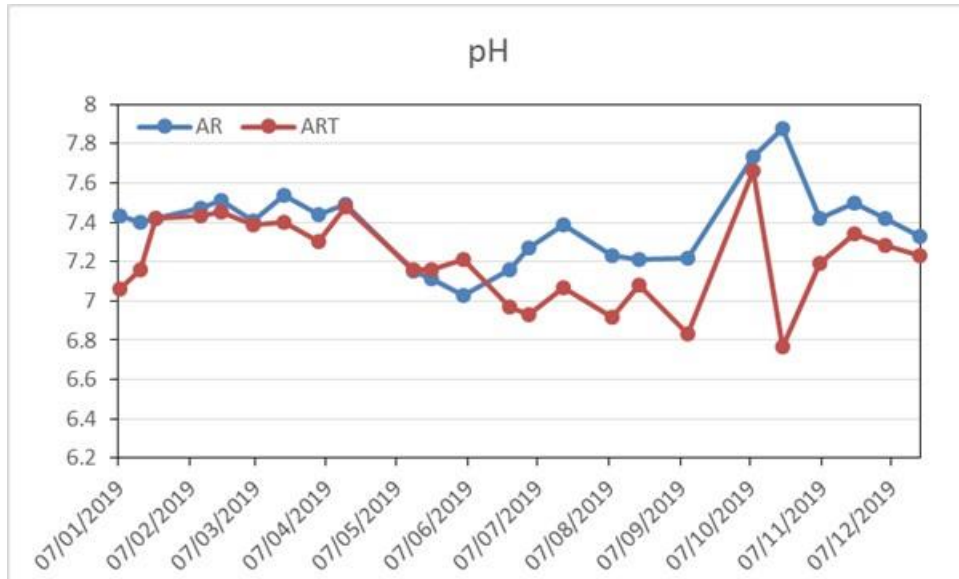


**Figura 411. Tendencia del caudal 2020**

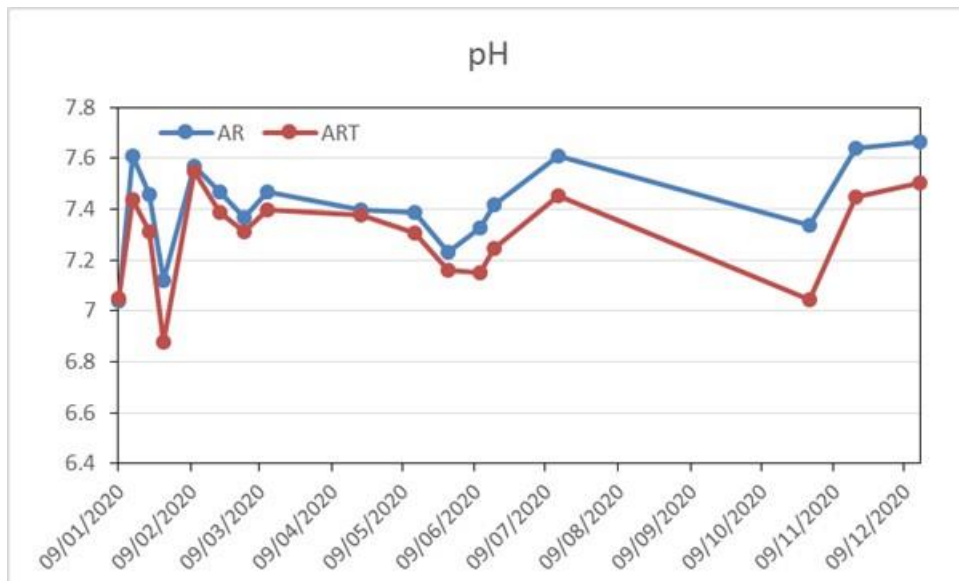
Lo anterior muestra que a través del tiempo se observa una disminución del agua residual que llega a la PTAR. Lo que posiblemente, lleve a la PTAR a ser subutilizada, ya que a diciembre del 2020 operó al 60% de su capacidad.

### 19.5.1.2 pH

En el año de 2019 el pH tuvo una variación entre 6.8 y 7.8 y en el 2020 entre 6.8 y 7.7 unidades (Figura 412 y Figura 413).



**Figura 412. Tendencia del pH 2019**



**Figura 413. Tendencia del pH 2020**

Para un proceso de lodos activados se recomienda que el pH este comprendido entre 6 y 8.5 unidades, por lo que, los que se reporten en el agua residual (AR) son idóneos para el proceso de tratamiento. Por otra parte, el ART cumple satisfactoriamente con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

### 19.5.1.3 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Con relación a los SST también se observa un descenso de su concentración en el AR al estar en 172 mg/L en promedio en el 2019 y para el 2020 estar en 154 mg/L.

Para el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996, de la NOM-001-SEMARNAT-2021 y de las CPD la concentración de los SST casi siempre estuvo por debajo de los 10 mg/L, en ambos años de estudio (Figura 414 y Figura 415).

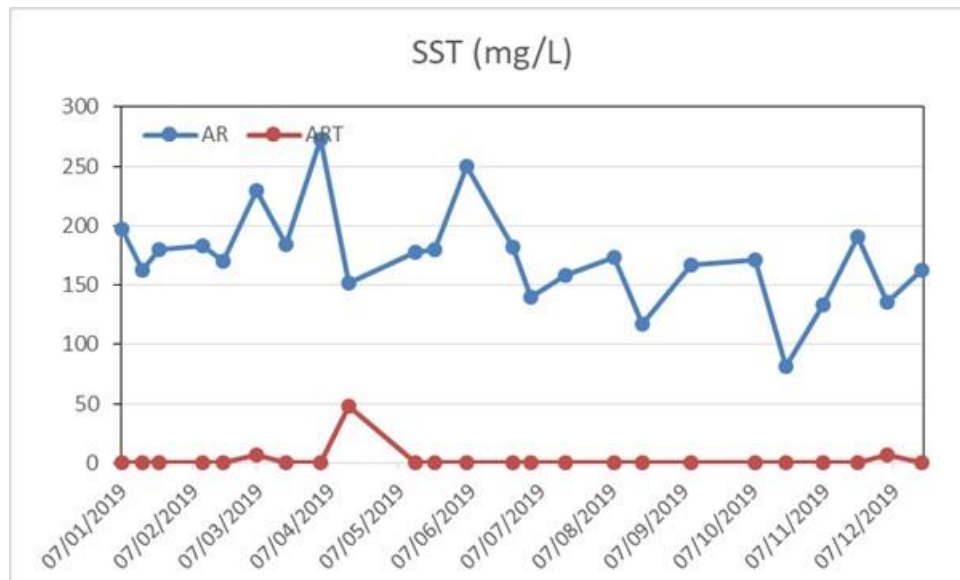


Figura 414. Tendencia de los SST 2019

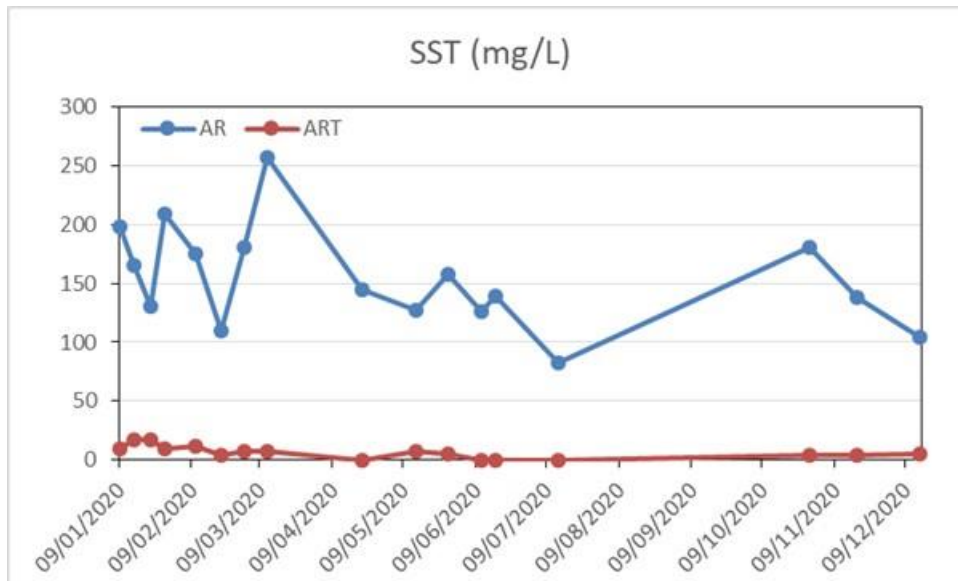


Figura 415. Tendencia de los SST 2020

#### 19.5.1.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

En la Figura 416 y Figura 417 se observa que la DBO del AR muestra una tendencia de incremento y descenso constante, la cual va de 70 a 330 mg/L. Esta tendencia se mantiene hasta junio del 2020, ya que en el resto del año se mantiene alrededor de los 150 mg/L.

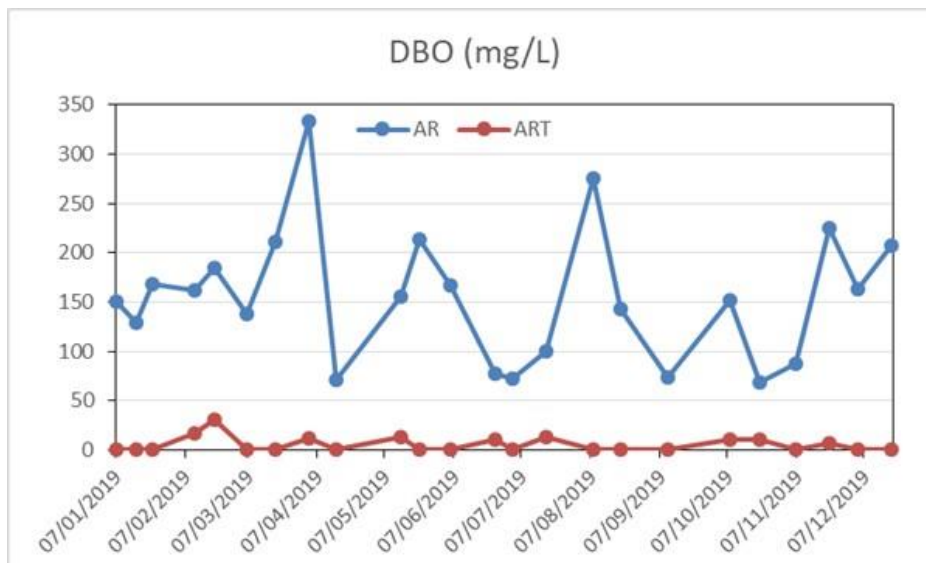
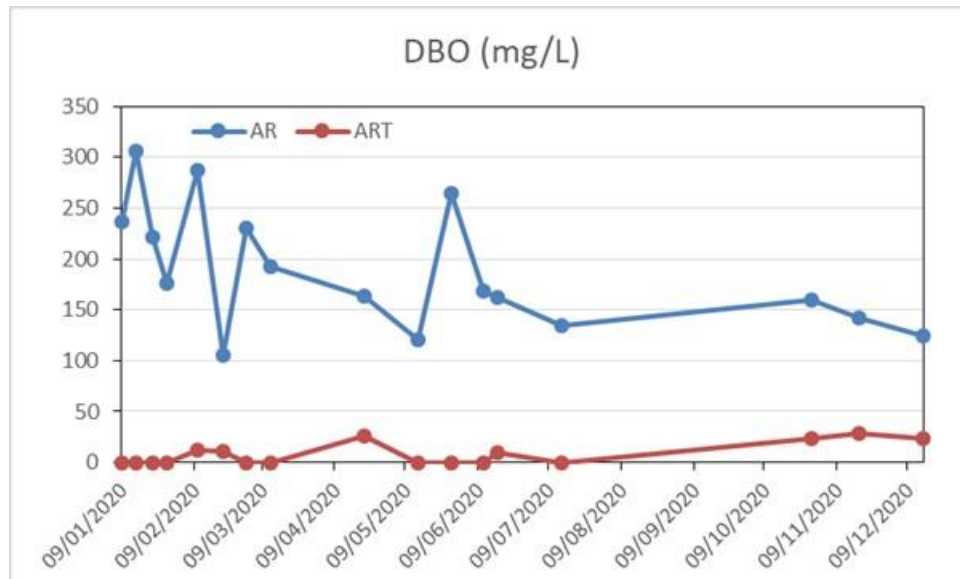


Figura 416. Tendencia de la DBO 2019



**Figura 417. Tendencia de la DBO 2020**

En promedio la DBO en el AR no sobrepasó los 200 mg/L, lo que la hace un agua débil con relación a materia orgánica.

Para el ART la mayoría de los valores reportados están como menores a los 10 mg/L y son muy contados los que se presentan entre los 20 y 30 mg/L, en ambos años de estudio.

Por lo anterior, para la NOM-001-SEMARNAT-1996 y las CPD la concentración de la DBO se cumplen en 2019 y 2020 (Figura 416 y Figura 417)

#### **19.5.1.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

El comportamiento de este parámetro es un poco inusual, ya que presenta grandes variaciones, esto es, en el primer semestre de ambos años, la concentración de la DQO en el AR es de 400 a 600 mg/L, mientras que en la segunda parte del año va de 300 a 400 mg/L.

Para el caso del ART solo dos determinaciones sobrepasan los 150 mg/L estipulados como LMP en la NOM-001-SEMARNAT-2021, los promedios de ambos años no sobrepasan los 50 mg/L, por lo que se puede establecer que no se tendrá problema para el cumplimiento de este parámetro en un futuro (Figura 418 y Figura 419).



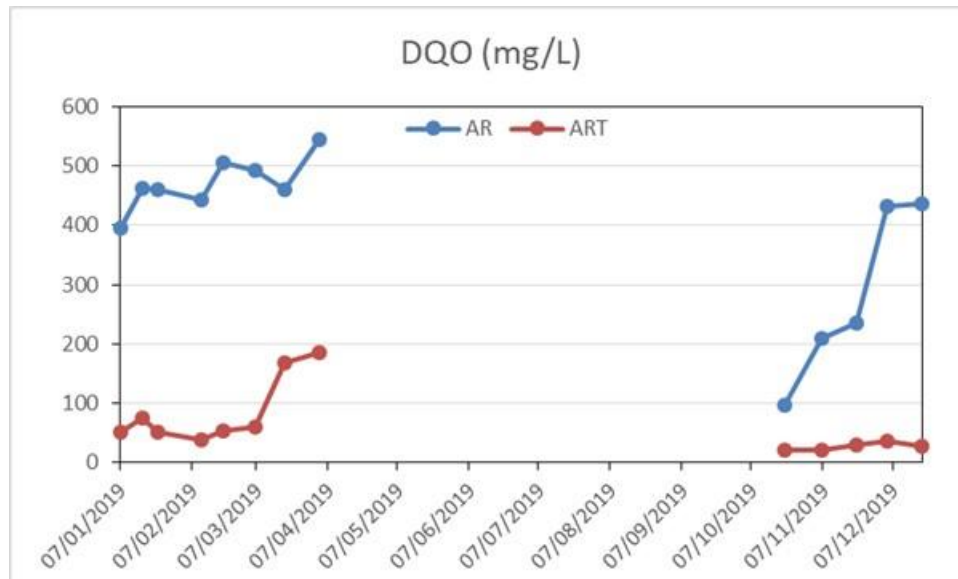


Figura 418. Tendencia de la DQO 2019

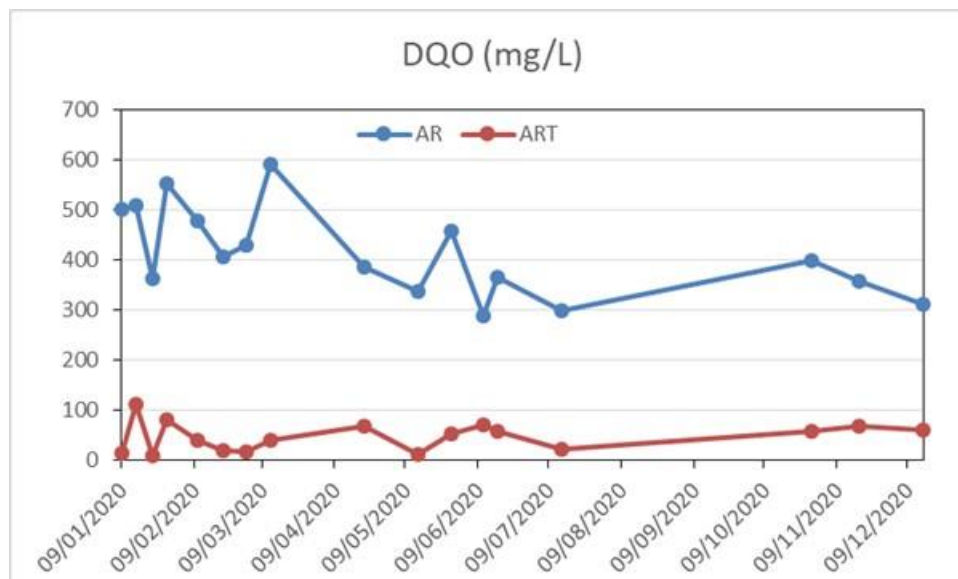


Figura 419. Tendencia de la DQO 2020

### 19.5.1.6 Relación DBO/DQO

En la Tabla 162 se muestra la relación que guarda la DBO con relación a la DQO, y en este sentido Metcalf&Eddy (2014) citan que un agua residual municipal típica presenta una relación DBO/DQO entre 0.5 y 0.8, por lo que si esta relación está por arriba de 0.5 el agua residual es fácilmente tratable por medios biológicos, pero que si está por debajo de 0.3 puede contener algunos componentes tóxicos.

En este sentido, en la Tabla 162 se muestran las relaciones obtenidas para los dos años en estudio.

**Tabla 162. Relación DBO/DQO**

| <b>Fecha</b> | <b>DBO/DQO</b> | <b>Fecha</b> | <b>DBO/DQO</b> |
|--------------|----------------|--------------|----------------|
| 07/01/2019   | 0.38           | 09/01/2020   | 0.47           |
| 16/01/2019   | 0.28           | 15/01/2020   | 0.60           |
| 23/01/2019   | 0.37           | 22/01/2020   | 0.61           |
| 11/02/2019   | 0.37           | 28/01/2020   | 0.32           |
| 20/02/2019   | 0.37           | 10/02/2020   | 0.60           |
| 06/03/2019   | 0.28           | 21/02/2020   | 0.26           |
| 19/03/2019   | 0.46           | 02/03/2020   | 0.54           |
| 03/04/2019   | 0.61           | 12/03/2020   | 0.33           |
| 15/04/2019   |                | 21/04/2020   | 0.43           |
| 14/05/2019   |                | 14/05/2020   | 0.36           |
| 22/05/2019   |                | 28/05/2020   | 0.58           |
| 05/06/2019   |                | 11/06/2020   | 0.59           |
| 25/06/2019   |                | 17/06/2020   | 0.44           |
| 03/07/2019   |                | 14/07/2020   | 0.45           |
| 18/07/2019   |                | 29/10/2020   | 0.40           |
| 08/08/2019   |                | 18/11/2020   | 0.40           |
| 20/08/2019   |                | 15/12/2020   | 0.40           |
| 10/09/2019   |                |              |                |
| 08/10/2019   |                |              |                |
| 21/10/2019   | 0.71           |              |                |
| 06/11/2019   | 0.41           |              |                |
| 21/11/2019   | 0.96           |              |                |
| 04/12/2019   | 0.38           |              |                |
| 19/12/2019   | 0.47           |              |                |

Como se puede apreciar, la mayoría de los datos están comprendidos entre 0.3 y 0.5, lo que hace suponer que si existe una influencia industrial, que hace al agua residual medianamente tratable por medios biológicos, en este caso por el proceso de lodos activados.

### 19.5.1.7 Fósforo Total (PT)

Este parámetro toma relevancia en el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y de la NOM-001-SEMARNAT-2021, donde los LMP son de 20 y 15 mg/L, respectivamente, y de acuerdo con lo que se observa en la Figura 420 y en la Figura 421, las concentraciones de este parámetro generalmente están por debajo de los 10 mg/L. Aunque, existen algunas determinaciones que sobrepasan los 15 mg/L.

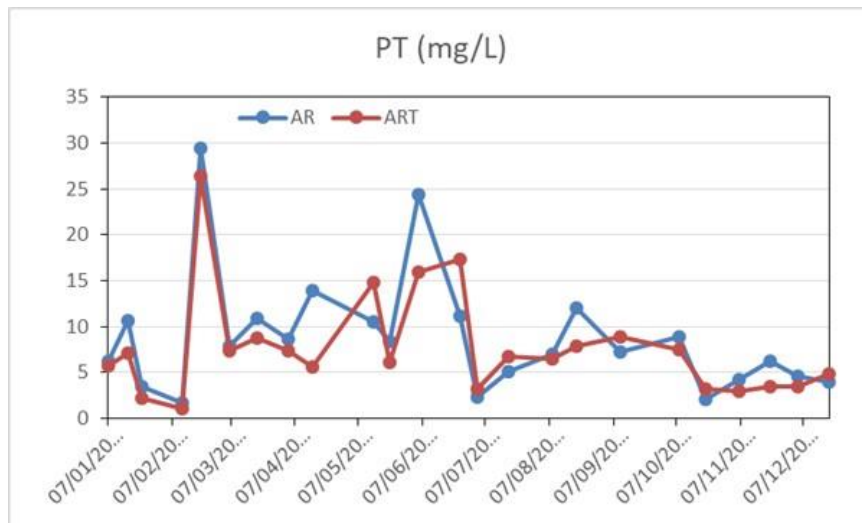


Figura 420. Tendencia del PT 2019

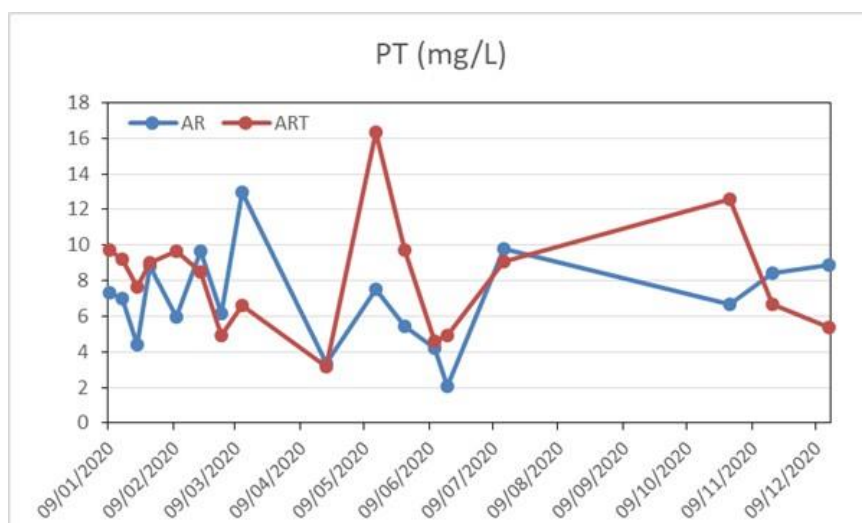


Figura 421. Tendencia del PT 2020

### 19.5.1.8 Grasas y Aceites (G y A)

El AR en el año 2019 en promedio tuvo una concentración de 42 mg/L y para el 2020 descendió a 28 mg/L, por lo que su concentración en el ART en promedio estuvo por debajo de los 5 mg/L, en ambos años.

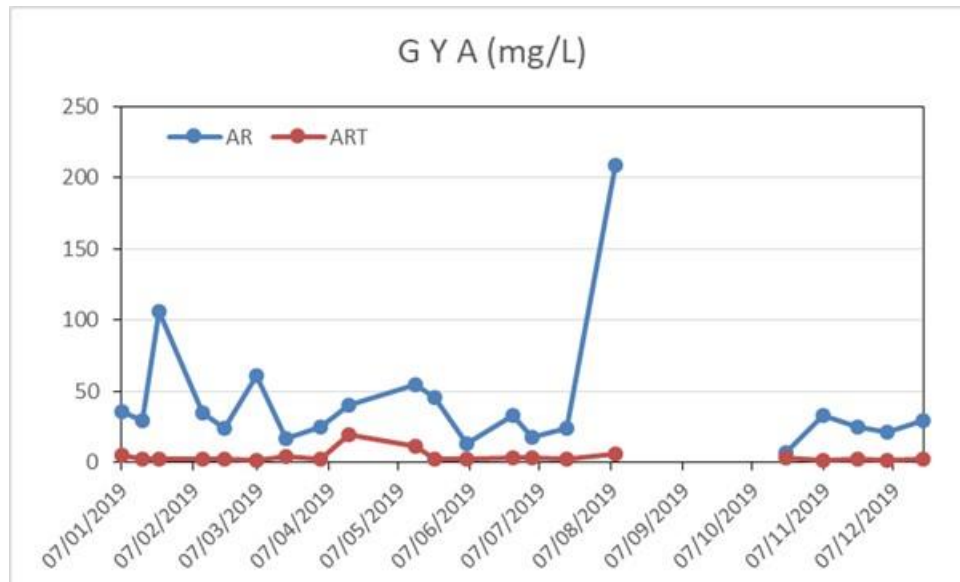


Figura 422. Tendencia de las G Y A SST 2019

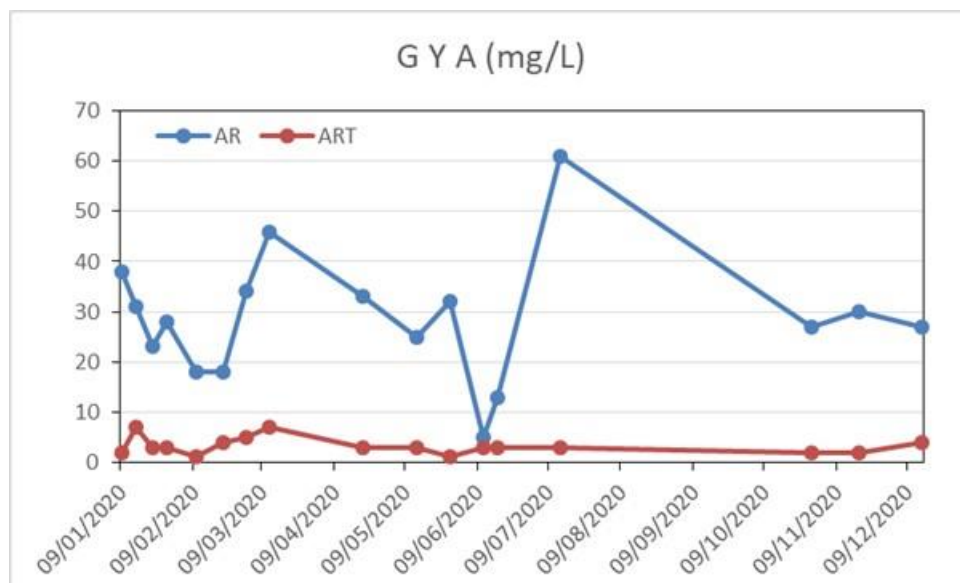


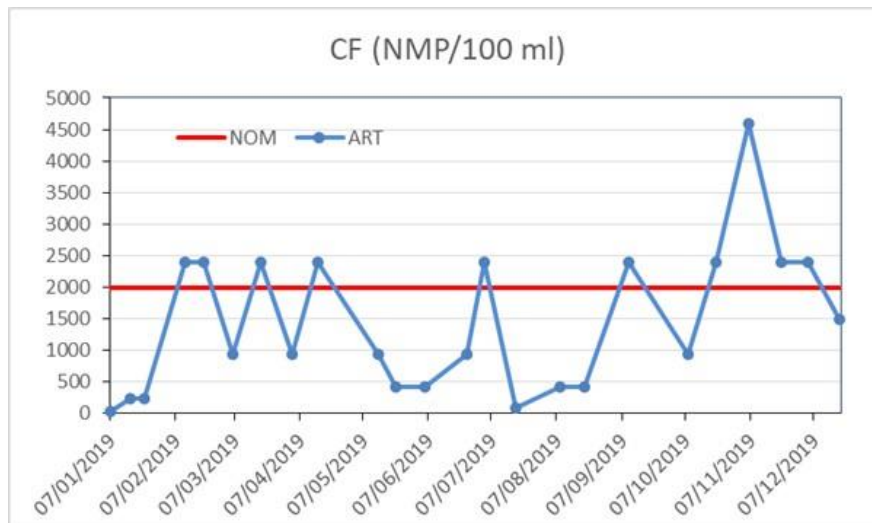
Figura 423. Tendencia de las G Y A SST 2020

Lo anterior establece el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996, la NOM-001-SEMARNAT-2021 y las CPD para los años 2019 y 2020 (Figura 422 y Figura 423).

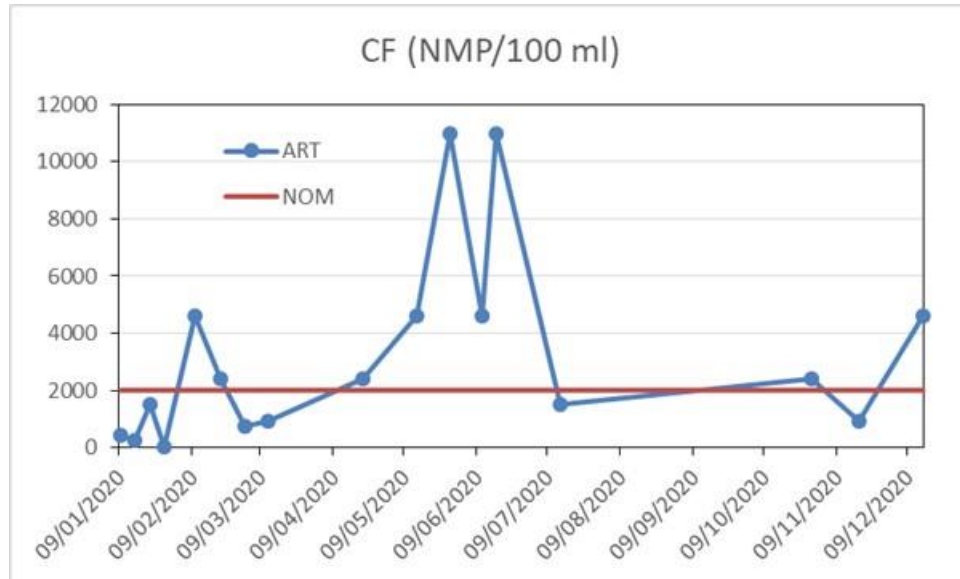
### 19.5.1.9 Coliformes Fecales (CF)

Si bien se reportan datos de cloro residual, que en promedio rondan los 0.5 mg/L, al parecer no se lleva a cabo una buena desinfección, como se muestra en la Figura 424 y en la Figura 425, donde se observa que varias determinaciones sobrepasan los 2,000 NMP/100 ml estipulados en las CPD y en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Por lo anterior, es importante considerar una revisión de la dosis de cloro que se está empleando. Considerar que la CONAGUA recomienda una dosis de 8 mg/L para aguas residuales municipales.



**Figura 424. Tendencia de los CF 2019**



**Figura 425. Tendencia de los CF 2020**

## 19.5.2 Manual de operación

Se proporcionó el Manual de Operación que contempla el siguiente índice.

INDICE

1.0 INTRODUCCION

2.0 PRETRATAMIENTO

3.0 TRATAMIENTO PRIMARIO

4.0 TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE PRIMERA FASE

5.0 TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE SEGUNDA FASE

6.0 DESINFECCION

7.0 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DIGESTOR Y SECUENCIA DE PURGA.

8.0 DIGESTION ANAEROBIA EQUIPAMIENTO E INSTRUMENTACION.

En este sentido, en cada uno de los capítulos se hace una descripción de las unidades, detallando en algunos casos sus dimensiones y características de equipos electromecánicos, cuál es su objetivo y algunas recomendaciones de operación.

En una parte que se puede considerar como "Anexos" se describen conceptos de parámetros de control y como se calculan, como, por ejemplo:

- MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO
  - Prueba de sedimentabilidad de lodo
  - Índice volumétrico de lodo (IVL)
  - Cálculo de la relación f/m
  - Cálculo del tiempo medio de retención celular
  - Cálculo de la tasa de recirculación de lodos
  - Cálculo de la purga de lodos

Además;

- PROCEDIMIENTO PARA EL REGISTRO DIARIO DE CONTROL DE PROCESO.
  - Bitácora de operación
  - Reporte para el control del proceso
  - Gráficas de evaluación de funcionamiento
  - Reporte de la calidad del Influyente y efluente.

En este apartado solo se describe lo que se tiene que registrar, pero no se dan ejemplos de cómo deben ser los formatos a utilizar para el registro de datos o actividades.

- INDICADORES VISUALES

Nuevamente, solo se hace una descripción de éstos, sin dar criterios ni cómo deben ser registrados.

- PARO DE LA PLANTA POR SITUACIONES DE EMERGENCIA

En términos generales, hace falta describir como se deben hacer las operaciones de control en cada una de las unidades de proceso y los formatos o bitácoras para el registro de datos de operación y de las actividades realizadas.

### **19.5.3 Reportes de operación (bitácoras)**

En relación a los reportes de operación en la PTAR se cuenta con tres; uno de “Pretratamiento”, un segundo de “Tratamiento” y el tercero de “Encargado de turno”. A continuación, se muestra un ejemplo de cada uno de ellos.

Turno de 08:00 a 20:00 Juan Carlos Muñoz 05-agosto-2020  
 Se recibe operando en c-prim. la M4 con 100 Herts Tubo 1/2  
 " " " " c-prim. la M3 y M4 con 1/2 abierta  
 a las 13:30 opera la M2 del c-prim. 13:35 opera la M1 del c-ppal  
 " 15:20 Se para de nuevo la M2 de c-prim. y la M1 del c-prim. ppa  
 Se purga 2 1/2 horas todo primario a los ESP. Gabimetricos  
 Se opera el recolector #2 por 3 horas  
 Personal de obra de mantenimiento Se vea los 4 extinguidores  
 de los CCM'S.  
 Se purga 2.5 horas todo prim. a los ESP. Gabimetricos  
 Se entrega operando c-prim. M4 con tubo - 1/2  
 c-prim. M3 y M4 con 1/2 abierta

Turno de 20:00 a 08:00 David Silva 06-Ago-2020  
 Se recibe op. en 1/2 prim. M4, en 1/2 ppa op M3 y M4  
 8 vueltas de 1/2 y colector en 1/2.  
 A las 20:45 se hace cambio de bombas en 1/2 primario  
 sale #4 y op. M1 y M3  
 En 1/2 ppa op. M7 y sale M3. se cierra la 1/2.  
 Se realiza limpieza de CCM'S se quitan telarañas y  
 se barren.  
 Se opera recolector por 3 horas. (#2)  
 Se purga por 1 hora todo primario a espesadores.  
 Se entrega op. M1 y M3 en 1/2 prim.  
 en 1/2 ppa op. M4 y M7.  
 Carretillas de arena = 2 1/2  
 Carretillas de basura = 2

**Figura 426. Reporte de Pretratamiento**

Como se puede apreciar en la Figura 426, se cuenta con una bitácora en donde se registran por turno las actividades realizadas, como a qué hora se hace un cambio de bombas en la operación, el tiempo de purga de lodos de los sedimentadores primarios y cuanta arena y basura se recolecta.



CONTROL ANTES DEL DISEÑO DEL TRATAMIENTO  
INDEFINITE

SEALINDA: 000000

EJECUTIVO: Juan Carlos Muñoz Gil

Planta de la ciudad  
2 de agosto 2020

| CANTIDAD | MATERIAS PRIMAS |                  |              |      |      |      | MATERIAS SECUNDARIAS |      |      |      | TOTAL | UNIDAD | CONCENTRACION | EXCELENTE |      |
|----------|-----------------|------------------|--------------|------|------|------|----------------------|------|------|------|-------|--------|---------------|-----------|------|
|          | AGUA            | AGUA CLARIFICADA | AGUA POTABLE | AGUA | AGUA | AGUA | AGUA                 | AGUA | AGUA | AGUA |       |        |               |           | AGUA |
| regia    | 45              | 24               | 43.5         | 44   | 43   | 39   |                      |      |      |      |       |        |               |           |      |
| LPS      | 1689            | 1629             | 1600         | 1629 | 1530 | 1342 |                      |      |      |      |       |        |               |           |      |

| MATERIAS PRIMAS | MATERIAS SECUNDARIAS |      | MATERIAS TERCERIAS |   | MATERIAS CUARTAS |   | MATERIAS QUINTAS |   | MATERIAS SEIS |    | MATERIAS SIETE |    | MATERIAS OCHO |    | MATERIAS NUEVE |    | MATERIAS DIEZ |    |
|-----------------|----------------------|------|--------------------|---|------------------|---|------------------|---|---------------|----|----------------|----|---------------|----|----------------|----|---------------|----|
|                 | 1                    | 2    | 3                  | 4 | 5                | 6 | 7                | 8 | 9             | 10 | 11             | 12 | 13            | 14 | 15             | 16 | 17            | 18 |
| 22800           | 7.2                  | 3814 | 54                 |   |                  |   |                  |   |               |    |                |    |               |    |                |    |               |    |
| 29000           | 7.2                  | 4014 | 56                 |   |                  |   |                  |   |               |    |                |    |               |    |                |    |               |    |
| 29000           | 7.2                  | 4051 | 56                 |   |                  |   |                  |   |               |    |                |    |               |    |                |    |               |    |

| TIPO DE TRATAMIENTO | TIPO DE TRATAMIENTO | TIPO DE TRATAMIENTO | TIPO DE TRATAMIENTO | TIPO DE TRATAMIENTO | TIPO DE TRATAMIENTO |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| E 186464.44         | E 215250.31         | E 56312.02          | 2000 oct            |                     |                     |
| S 186779.86         | S 215400.20         | S 86399.79          | c=2 1/2             | Raras               | Purga interm.       |
| T 315.42            | T 149.89            | T 87.72             | c=2 1/2             | Horas               | c=2 1/2 15 min      |

Figura 427. Reporte de Tratamiento

En la Figura 427 se aprecia que se utiliza un formato, sin embargo, no se pueden apreciar claramente los conceptos a registrar, además existen varios registros en blanco, así como anotaciones extras. Por lo que se considera que el formato es obsoleto y que se tiene que elaborar uno acorde a las necesidades del área.

7-8 de Agosto de 2020 turno de noche Jorge Enrique Sandoval d.

- Se recibe ope. soplador #1 con 58 de S.V. y abierta salidas de agua de aire a 21:00 se baja el S.V. a 57 y se abren las del medio. 6:30 de baja S.V. a 56 y se abren todas las salidas.
- Se recibe ope. bomba de recirculación # 2 y 5
- 6:30 ope. bomba de recirculación # 2 así se entroye
- Se recibe ope. cloración normal en múltiple # 2 se entroye dose 600 así se entroye

- Observaciones

Se hace limpieza de CCM-243 y cuarto de sopladores turno de 800 A 20:00M 8 de agosto - 2020 pasado s/r- op soplador H-1 - con 56 S.V. y bulbos de comand. Abiertos y bomba de biofiltros #2 y bombas se. 2-5 s/r- op cloración en 600 Lt3 Alas 11:00ms según bomba de biofiltros #2 y se le sube a cloración A 800 Lt3 Alas 11:00ms se cierra válvulas del comando de T.A de 11:00 ms A 14:00 M según instrucción sed #3. INT para arreglar biofiltro de RUSTON H-3 INT

Se realiza limpieza de sed. sed #3 se sigue a veces INT personal de MT - POMP limpiar nuevas en el C.C. #2

**Figura 428. Reporte de Tratamiento Biológico**

Nuevamente, en la Figura 428, se cuenta con una bitácora en donde se registran por turno las actividades realizadas, por ejemplo, a qué hora se hace un cambio en la operación.

| ↓ TURNO            |                            | ADDRESS VELOC |              | 02-AGOSTO-20 |                              | 08:00-20:00 |          |
|--------------------|----------------------------|---------------|--------------|--------------|------------------------------|-------------|----------|
| FLUJO              | ENTRADA                    | SALIDA        |              | PROMEDIO     |                              |             |          |
| INFLUENTE          | NO FUNCIONA                |               |              |              |                              |             |          |
| EFLUENTE           | DESCARGADO 1650 LPS. APROX |               |              |              |                              |             |          |
| PURGAS             |                            |               |              |              |                              |             |          |
| COLCHON DE LUDOS   | 1                          | 2             | 3            | 4            | SOPLOS                       |             | 14       |
| PRIMARIOS          | 1/4                        | 1/4           | 0            | 0            | 1.40 HRS = 114m <sup>3</sup> |             | 1 =      |
| INTERMEDIOS        | -1/4                       | -1/4          | -1/4         | -1/4         |                              |             | 2 =      |
| SECUNDARIOS        | 1/2                        | 1/2           | 1            | 1            | 1/2 HORA = 132               |             |          |
| SEDIMENTABLES      | 1                          | 2             | 3            | 4            | RESIDUAL                     |             | CIORAS   |
| 10:00 AM.          | 310                        | 350           | 240          | 300          | 7.2                          | E = 20 U.   |          |
| 15:00 M.           | 340                        | 320           | 250          | 290          | 1.4                          | S = DO      |          |
| 18:00 AM.          | 300                        | 300           | 210          | 300          | 1.3                          | T = 182     |          |
| TURBO SOPLADOR     | SPEED                      |               | FLOW         |              | PRESION                      |             | S. V.    |
| N.1                | 29400                      |               | 7.2          |              | 4075                         |             | 58 S. U. |
| MCOIDORS DE PURGAS |                            |               |              |              |                              |             |          |
| SEC. N. 1          | SEC. N. 2                  |               | INTERM. N. 1 |              |                              |             |          |
| E = 186779.86      | E = 215400.20              |               | E = 56399.79 |              |                              |             |          |
| S = 186866.00      | S = 215400.20              |               | S = 56467.42 |              |                              |             |          |
| T = 86.14          | T = 67.63                  |               | T = 67.63    |              |                              |             |          |

**Figura 429. Reporte de Encargado de turno**

En la Figura 429, se aprecia nuevamente el empleo de una bitácora para registrar por turno los datos de operación, como lo es el caudal de entrada y salida, nivel del colchón de lodos, velocidad de sopladores y su flujo de aire, litros de lodo de purga, entre otros.

En este caso sería más conveniente contar con un formato para el registro de esta información.

Por otra parte, esta información solo es archivada y no se realiza un análisis o seguimiento, que en un futuro pueda dar indicios de cómo está siendo operada la PTAR.

#### 19.5.4 Mantenimiento

No se proporcionó un programa de mantenimiento preventivo, solo una bitácora en la cual se registran las actividades diarias que se llevan a cabo. Como se muestra en la Figura 430.

LUNES 17/AGO/20
   
 Se llenan tinacos de agua potable de taller y oficinas.
   
 Se checa bomba # 2 de ayuda de cloracion y se lavan baleros se prueba pero continua con mucho ruido, se deja fuera y se cambia el motor a la bomba #2 y se deja trabajando normalmente, aunque tambien los baleros de la bomba # 2 hacen ruido.
   
 Se checa arrancador de la banda transportadora de rejillas parkson, se lo cambian los fusibles de control y se entrega trabajando de manera normal.
   
 Se conecta banda transportadora de rejillas door oliver, se entrefija trabajando normalmente.
   
 Se comienza a revisar polipasto de rejillas gruesas no se termina de detectar la falla queda pendiente continuar con la revision.

**Figura 430. Reporte de mantenimiento**

## 20 ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

### 20.1 Descripción de las unidades de proceso

El agua residual que ingresa a la PTAR primero pasa a un cárcamo, el cual cuenta con un bypass para las demasías y compuertas para regular el flujo de entrada a la PTAR (Figura 431 a). Posteriormente, el agua es enviada a un segundo cárcamo que se encuentra cubierto y que conecta con el pretratamiento de la PTAR y el cual también cuenta con un bypass para las demasías (Figura 431 b)



**Figura 431. a) Cárcamo de llegada y b) cárcamo demasías 2**

El agua pasa por dos rejillas gruesas manuales colocadas en serie que se muestran en la Figura 432, las cuales tienen una separación de barra de 12 cm.



**Figura 432. Rejillas gruesas**

En la entrada del canal de cribado se genera turbulencia con la finalidad de mantener el agua mezclada y que los sólidos no sedimenten. En la salida del canal se encuentra un medidor de caudal ultrasónico que marca el flujo de entrada a la PTAR (Figura 433).



**Figura 433. Mezclado y medidor ultrasónico**

El agua pasa por cuatro rejillas medianas mecánicas (2 marca Dorr Oliver al centro y 2 marca Emo a los extremos) donde se retienen partículas mayores a 25 mm. Dos de ellas se encuentran fuera de operación por reparación (Figura 434).



**Figura 434 Rejillas medianas**

Una vez que el agua pasa por las rejillas medianas es enviada a cinco rejillas finas mecánicas (3 marca Parkson y 2 marca Filter One) que retienen basura con tamaño de partícula mayor a 3 mm (Figura 435). Tres de las rejillas finas se encuentran fuera de operación.



**Figura 435. Rejillas finas**

La basura recolectada en las rejillas medianas y finas es depositada en una banda transportadora para su posterior disposición.

Una vez cribada, el agua pasa hacia tres desarenadores de flujo horizontal con extracción mecánica de arenas (Figura 436). Dos de los desarenadores se encuentran fuera de operación, esto ha provocado la acumulación de arenas en el fondo del desarenador y lodo flotante en la superficie.



**Figura 436. Desarenadores**

El agua libre de sólidos pasa a un cárcamo de bombeo primario que cuenta con cuatro equipos de bombeo con motores de 100 HP con una capacidad de 500 L/s cada uno. El agua es bombeada a los sedimentadores primarios, sin embargo, este sistema se encuentra fuera de operación debido a un colapso en la tubería de alimentación de los sedimentadores. La tubería se encontraba en reparación al momento de la evaluación (Figura 437).



**Figura 437. Cárcamo de bombeo primario**

En la PTAR se cuenta con cuatro unidades de sedimentación primaria, las cuales se encuentran fuera de operación debido al colapso en la tubería. (Figura 438). Los sedimentadores primarios son de forma circular y cuentan con rastras, lamedores y tensores sostenidos por una jaula central adosada a una tornamesa, además de un desnatador y una charola de recolección de natas.



**Figura 438. Sedimentadores primarios**

El agua clarificada es enviada a un cárcamo de bombeo principal que cuenta con dos bombas verticales de 450 HP (1,000 L/s) y dos bombas sumergibles de 250 HP (500 L/s). Al momento de la evaluación y debido al colapso de la línea de alimentación a los sedimentadores primarios, el agua proveniente de los desarenadores es enviada directamente al cárcamo de bombeo principal.





**Figura 439. Cárcamo de bombeo principal**

El agua del cárcamo de bombeo principal se envía directamente a una caja de distribución superficial de forma octagonal que se encuentra en la parte más elevada del terreno de la PTAR para que a partir de ahí fluya por gravedad durante el resto del tratamiento.

El primer paso del sistema de tratamiento biológico consiste en cuatro filtros percoladores circulares superficiales operados en paralelo con un TRH de 3.1 h empacados con un material sintético. La aireación de los filtros se da a través de ventilación natural proporcionada por ventanas en la parte baja del filtro que permiten que el aire ascienda por el filtro percolador. El material filtrante está fabricado de PVC en módulos de 2x2x4 in y 6 capas y de acuerdo con los datos proporcionados por los planos, cuenta con un área superficial de 1,145.92 m<sup>2</sup>. Cada filtro cuenta con un sistema rociador, cuatro brazos, aspersores de PVC, tensores y un soporte central. Los brazos rotatorios del filtro 1 y 4 se encuentran parcialmente obstruidos y les falta nivelación por lo que el agua residual no se distribuye de forma homogénea. Parte del efluente de los filtros se recircula para incrementar la eficiencia de remoción de los contaminantes. Sin embargo, durante la visita se pudo observar que gran parte de los sólidos que no fueron retenidos en el sedimentador primario, por encontrarse fuera de operación, salen del filtro y son enviados al sedimentador primario, esto hace que la eficiencia de remoción de contaminantes disminuya (Figura 440).



**Figura 440. Biofiltros o filtros percoladores**

El efluente de los biofiltros o filtros percoladores es enviado a cuatro sedimentadores intermedios de forma circular (Figura 441). Cada sedimentador cuenta con rastras, lamedores y tensores sostenidos por una jaula central adosada a la tornamesa. Se encontró que debido a que los sedimentadores primarios se encuentran fuera de operación, los sedimentadores intermedios presentan altas concentraciones de sólidos. Se observó nata espesa de lodo flotando en el sedimentador, burbujeo y la coloración del lodo muy oscura. En el vertedor de los sedimentadores intermedios se pudo observar lodo flotando.



**Figura 441 Sedimentadores intermedios**

El agua clarificada en los sedimentadores intermedios es enviada a cuatro sistemas de lodos activados (Figura 442) y posteriormente a cuatro sedimentadores secundarios (Figura 443). El agua proveniente de los sedimentadores intermedios se mezcla con el lodo de recirculación de los sedimentadores secundarios en la entrada del reactor. Los sistemas de lodos activados operan con un TRH (Tiempo de residencia hidráulico) de 2.1 h y con un TRC (Tiempo de residencia celular) de 2 d. Se observó que los sistemas de lodos activados presentan una coloración café oscura. Los

reactores 2, 3 y 4 no presentan un mezclado homogéneo, probablemente debido a con difusores rotos.



**Figura 442. Reactor de lodos activados**

El licor mezclado es enviado a los sedimentadores secundarios donde parte de los sólidos sedimentador son purgados y parte son recirculados. Se observó en el efluente de los sedimentadores secundarios una capa de lodos gruesa flotando en el centro, además de una nata delgada en la superficie del resto del sedimentador, esto como consecuencia de las altas concentraciones de sólidos que no son removidos en el sistema de tratamiento primario.



**Figura 443. Sedimentador secundario**

El efluente clarificado de los sedimentadores secundarios es mezclado y enviado al canal de cloración para su desinfección. Se pudo observar presencia de sólidos en el efluente de la PTAR y una coloración amarilla en el agua residual tratada, lo cual puede corresponder a los ácidos húmicos y fúlvicos que no son removidos en la planta (Figura 444).

Al final del canal de cloración se encuentra un medidor ultrasónico para medir el flujo de salida de la PTAR.

El agua residual tratada es descargada a un pequeño lago donde se observa vida silvestre, posteriormente el agua es descargada en el río de acuerdo con el permiso de descarga.



a)



b)



c)

Figura 444. a) Canal de cloración, b) efluente PTAR y c) lago

## 20.2 Estado de las unidades de proceso

### 20.2.1 Pretratamiento

En las Figura 445 a la Figura 301 se presentan el estado físico de las instalaciones de la PTAR. En general se encontró que ya existen acciones para la mejora de la planta, sin embargo, se requiere mantenimiento de los equipos e infraestructura.

Durante el recorrido a la PTAR se encontró que las instalaciones del pretratamiento y tratamiento primario se encuentran corroídas.



**Figura 445. Corrosión en pretratamiento y tratamiento primario**

Se pudo observar que se requiere mantenimiento correctivo a las rejillas medianas y finas, así como también a los motoredutores de los sistemas de desarenación.



Figura 446. Falta de mantenimiento

## 20.2.2 Sedimentadores primarios

Para el caso de los sedimentadores primarios se encontró que ya se encuentra en reparación la línea de conducción del agua y se espera el arranque de estos en el mes de diciembre, lo que permitirá mejorar la eficiencia de la PTAR puesto que actualmente los sólidos que no son removidos en la etapa primaria de tratamiento afectan negativamente la remoción de contaminantes.



**Figura 447. tubería colapsada**

### 20.2.3 Filtros percoladores

En el caso de los filtros percoladores, se observó obstrucción en los orificios de los brazos y fugas de agua.



**Figura 448. Fugas de agua en biofiltros**

#### **20.2.4 Equipos electromecánicos**

Se realizó el levantamiento de los equipos electromecánicos. La mayoría de los equipos se encuentra en servicio y para los que se encuentran dañados se tiene un programa de mantenimiento correctivo.

#### **20.3 Muestreo y calidad del agua residual**

Para realizar el muestreo del agua residual de la PTAR se realizó un recorrido previo a las instalaciones con personal de la planta para identificar los puntos de muestreo más adecuados. Los puntos de muestreo seleccionados en la PTAR Aguascalientes se muestran en la Figura 449. Se observa que los puntos de muestreo compuesto se encuentran en el influente (después de las rejillas gruesas) y efluente (después del tanque de contacto de cloro) de la planta. Para el caso de las muestras simples se analizó el agua residual a la entrada y salida de los biofiltros, salida de sedimentadores intermedios (entrada a reactores de lodos activados) y salida de salida de sedimentadores secundarios analizando los parámetros de formas del nitrógeno y materia orgánica, principalmente. Dentro de los reactores de lodos activados se determinaron los sólidos (Tabla 163).

Además del muestreo simple y compuesto se realizaron determinaciones en campo de perfil de oxígeno disuelto y pH en los cuatro reactores biológicos de lodos activados.



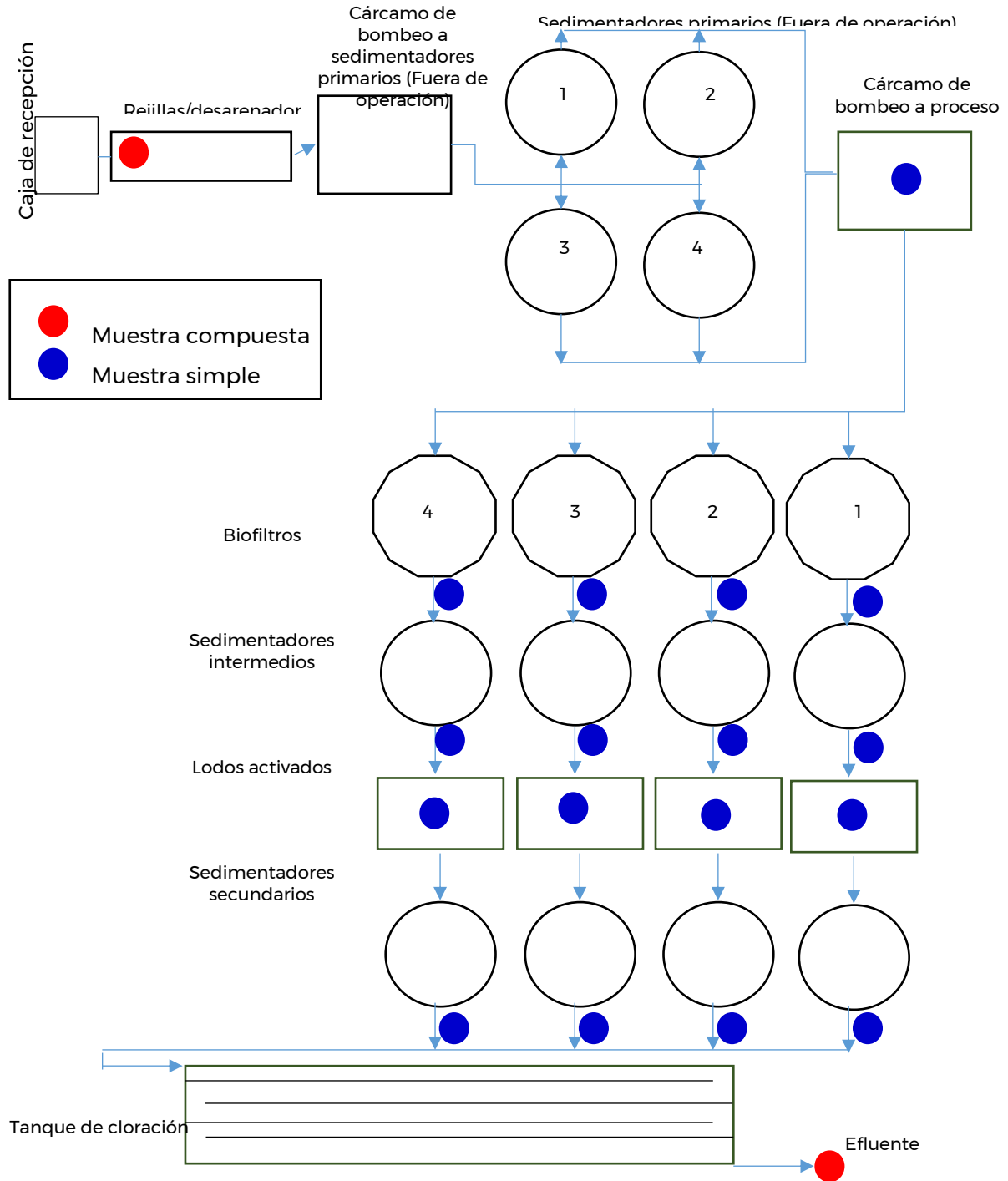


Figura 449. Puntos de muestreo

**Tabla 163. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua**

| <b>Parámetros</b>                            | <b>Punto</b>            | <b>1</b>  | <b>2</b>           | <b>3</b>             | <b>4</b>                             | <b>5</b>        | <b>6</b>               | <b>7</b>                             | <b>8</b> |
|--|-------------------------|-----------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------------------------|----------|
|  | Descripción             | Influente | Entrada biofiltros | Salida de biofiltros | Salida de sedimentadores intermedios | Lodos activados | Recirculación de lodos | Salida de sedimentadores secundarios | Efluente |
| <b>NOM-001-SEMARNAT-1996</b>                 | <b>pH</b>               |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>Temp</b>             |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>Materia flotante</b> |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>Sól. Sed.</b>        |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>GyA</b>              |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>SST</b>              |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>DBO</b>              |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>NT</b>               |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>PT</b>               |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>Metales</b>          |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>HH</b>               |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
| <b>CF</b>                                    |                         |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
| <b>NOM-001-SEMARNAT-2021 y/o adicionales</b> | <b>DQO</b>              |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>Toxicidad aguda</b>  |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>Color verdadero</b>  |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>Cianuros</b>         |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |
|  | <b>E.Coli</b>           |           |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |          |

|                         | <b>Punto</b>               | <b>1</b>                    | <b>2</b>           | <b>3</b>             | <b>4</b>                             | <b>5</b>        | <b>6</b>               | <b>7</b>                             | <b>8</b>                    |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Parámetros</b>       | Descripción                | Influyente                  | Entrada biofiltros | Salida de biofiltros | Salida de sedimentadores intermedios | Lodos activados | Recirculación de lodos | Salida de sedimentadores secundarios | Efluente                    |
|                         | <b>Cloro residual</b>      |                             |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |                             |
|                         | <b>SSV</b>                 |                             |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |                             |
|                         | <b>Nitratos</b>            |                             |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |                             |
|                         | <b>Nitrógeno amoniacal</b> |                             |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |                             |
|                         | <b>NTK</b>                 |                             |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |                             |
|                         | <b>Norgánico</b>           |                             |                    |                      |                                      |                 |                        |                                      |                             |
| <b>Tipo de muestreo</b> |                            | Compuesto, 24 h, 6 muestras | Muestreo simple    | Muestreo simple      | Muestreo simple                      | Muestreo simple | Muestreo simple        | Muestreo simple                      | Compuesto, 24 h, 6 muestras |

### 20.3.1 Resultados del muestreo compuesto

En la Tabla 164 se muestran los resultados del muestreo compuesto. De acuerdo con el título de descarga la planta descarga sus aguas residuales al cuerpo receptor Río San Pedro y al suelo por lo que cumple ciertas Condiciones Particulares de Descarga (CPD) entre las que se tienen SST, DBO<sub>5</sub>, Metales y Coliformes Fecales, siendo estos más bajos que los que menciona la NOM-001-SEMARNAT-1996 para Cuerpo Receptor Tipo A y los de la NOM-001-SEMARNAT-2021 para descarga en Ríos, arroyos, canales y drenes.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización de la descarga final de la PTAR se observa que las grasas y aceites (GyA) superan los límites permisibles tanto de las CPD como de la norma 1996 y 2021, esto probablemente debido a que los sedimentadores primarios se encuentran fuera de operación y por tanto las GyA no son removidas en esta unidad destinada para ello. Con respecto al NT el valor en el efluente sobrepasa los límites de la NOM-001-SEMARNAT-2021, lo cual concuerda con los resultados históricos de calidad del agua en el que se mencionan valores entre 23.2 y 40 mg/L durante la época de estiaje. Durante la visita de evaluación a la PTAR se encontró que se estaban realizando las adecuaciones en el sistema de lodos activados para mantener una zona anóxica que permita remover el nitrógeno, por lo que se espera que las concentraciones de NT disminuyan a corto plazo. Durante la evaluación se encontró que tanto los coliformes fecales como la *E. Coli* se encontraban en valores superiores a los permitidos por las CPD y la NOM-001-SEMARNAT-2021, sin embargo, los resultados históricos no presentan esta situación, lo cual probablemente se deba nuevamente a la falta de sedimentadores primarios que se encuentran fuera de operación (actualmente se encuentran en la última fase de rehabilitación del tramo colapsado) por lo que no se remueven adecuadamente los sólidos y éstos pudieran llegar hasta el sistema de cloración e influir en la inadecuada cloración del sistema y/o simplemente la dosis de cloro no era la adecuada ya que el cloro libre resultante en el efluente era menor a 0.1 mg/L.

**Tabla 164. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y 2021**

| Parámetro               | Unidades      | Muestreo compuesto |          | CPD     | NOM-001-SEMARNAT-1996 Ríos - CR A | NOM-001-SEMARNAT-2021 Ríos, arroyos, canales, drenes |
|-------------------------|---------------|--------------------|----------|---------|-----------------------------------|--|
|                         |               | Influyente         | Efluente |         | PM                                | PM   |
| pH                      | UpH           | 7.52               | 7.35     | -       | 5-10                              | 6-9  |
| Temperatura             | °C            | 26.33              | 25.67    | -       | NA                                | 35   |
| G y A                   | mg/L          | 25.93              | 34.35    | 15      | 15                                | 15   |
| Material flotante       | mm            | Presente           | Ausente  | Ausente | Ausente                           | NA   |
| S. Sed.                 | ml/L          | 3                  | 0.3      | -       | 1                                 | NA   |
| SST                     | mg/L          | 117                | <3.17    | 20      | 150                               | 60   |
| DBO <sub>5</sub>        | mg/L          | 206                | 12       | 20      | 150                               | NA   |
| NT                      | mg/L          | 51.5               | 35       | -       | 40                                | 25   |
| PT                      | mg/L          | 5.41               | 3.39     | -       | 20                                | 15   |
| As                      | mg/L          | 0.0039             | 0.0069   | 0.2     | 0.2                               | 0.2  |
| Cd                      | mg/L          | <0.030             | <0.030   | 0.2     | 0.2                               | 0.2  |
| Cu                      | mg/L          | <0.050             | <0.050   | 4.0     | 4.0                               | 4  |
| Cr                      | mg/L          | <0.10              | <0.10    | 1.0     | 1                                 | 1  |
| Hg                      | mg/L          | <0.0005            | <0.0005  | 0.001   | 0.01                              | 0.01   |
| Ni                      | mg/L          | <0.10              | <0.10    | 2.0     | 2                                 | 2  |
| Pb                      | mg/L          | <0.10              | <0.10    | 0.5     | 0.5                               | 0.2  |
| Zn                      | mg/L          | 0.16               | <0.10    | 10      | 10                                | 10   |
| HH                      | H/L           | 0                  | 0        | <=1     | NA                                | NA   |
| CF                      | NMP/100 ml    | 6.24E+07           | 9.58E+02 | 240     | 1,000                             | NA   |
| DQO                     | mg/L          | 496                | 22       | NA      | NA                                | 150  |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 ml    | 3.30E+07           | 3.59E+02 | NA      | NA                                | 250  |
| Color                   | Long. de onda | -                  | -        | NA      | NA                                | Coeficiente absorción espectral máximo               |
|                         | 436 nm        | 8                  | 1        |         |                                   | 7.0 m <sup>-1</sup>                                  |
|                         | 525 nm        | 5.5                | 0.3      |         |                                   | 5.0 m <sup>-1</sup>                                  |
|                         | 620 nm        | 4.1                | 0.2      |         |                                   | 3.0 m <sup>-1</sup>                                  |
| Toxicidad               | UT            | 2.28-36.496        | NA*      | NA      | NA                                | 2 a los 15 minutos                                   |

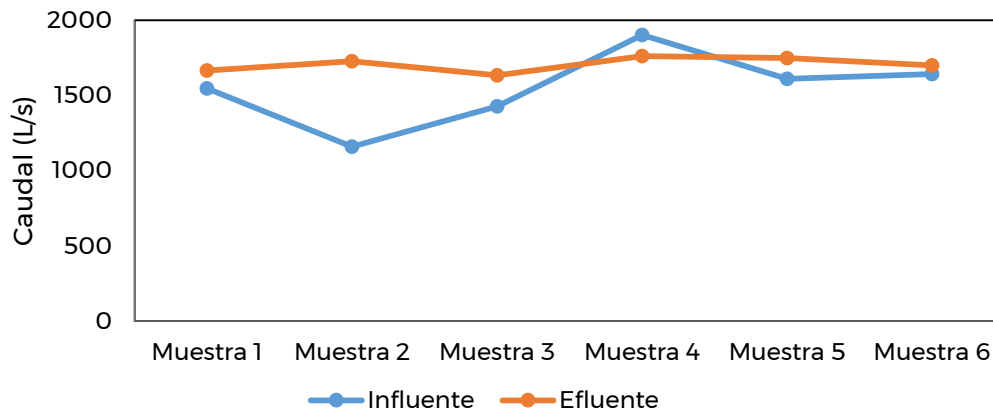
NA\*= No Aplica porque CE<sub>50</sub>(%) es Toxicidad No Detectada (TND)

La eficiencia global de tratamiento de acuerdo con los resultados anteriores se muestra en la Tabla 165. Se observa que la planta en las condiciones actuales presenta una buena remoción de materia orgánica y sólidos. Para el caso de los nutrientes la remoción es baja y los microorganismos patógenos no son removidos.

**Tabla 165. Eficiencia de remoción de los principales contaminantes en la PTAR Aguascalientes**

| Parámetro        | Remoción (%) |
|------------------|--------------|
| DBO <sub>5</sub> | 94           |
| DQO              | 96           |
| NT               | 32           |
| PT               | 37           |
| SST              | 97           |

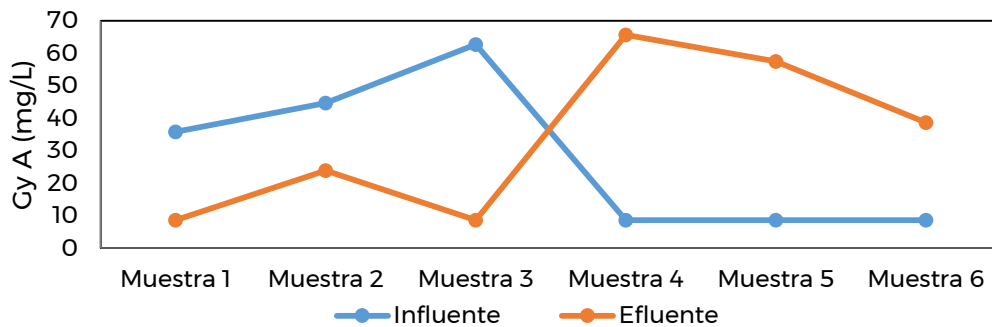
En la Figura 450 se muestra la variación del caudal durante el muestreo compuesto. El máximo caudal presentado en el influente de la PTAR fue 1,901 L/s y el menor caudal fue 1,160 L/s. En el efluente se presentó un caudal más estable con un valor promedio de 1,706 L/s. Todos los valores se encuentran dentro de los caudales de diseño de la PTAR (mínimo 800 L/s y máximo 2,000 L/s).



**Figura 450. Variación del caudal en el influente y efluente de la PTAR Aguascalientes**

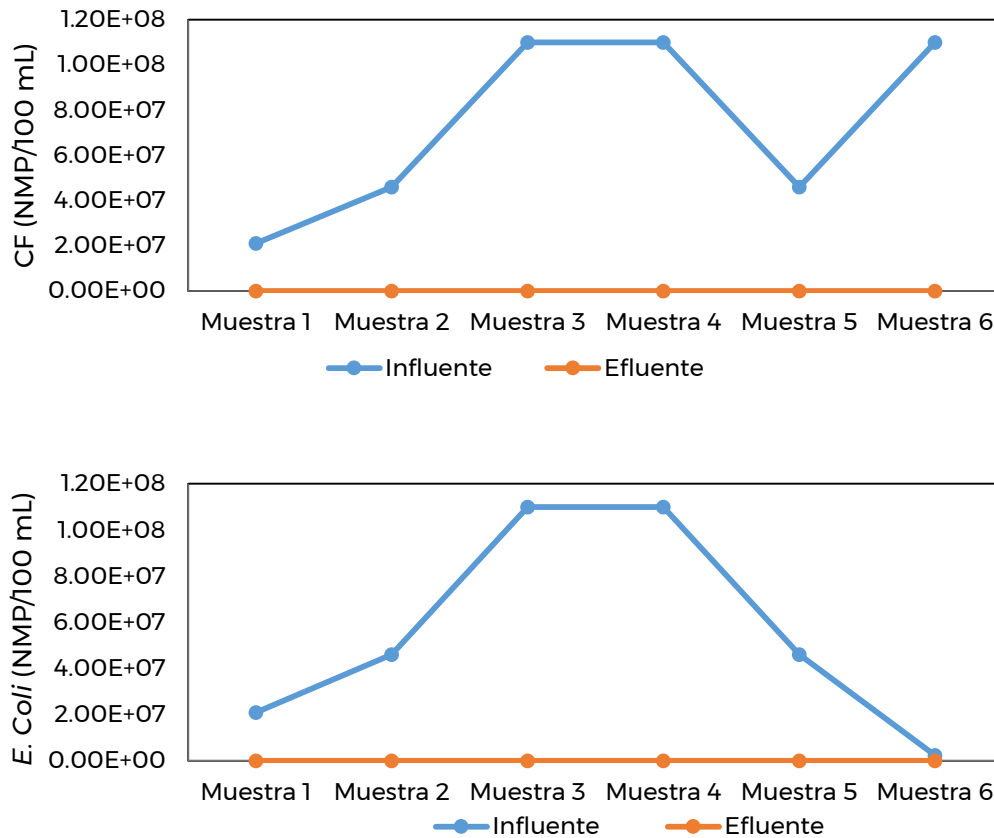
El comportamiento de las GyA se invirtió la mitad de las muestras, es decir, durante las primeras tres muestras el valor del influente fue mayor (35.8-62.7 mg/L) al del efluente (<8.56-23.9 mg/L) y a partir de la cuarta y hasta la

sexta muestra el efluente presentó mayores concentraciones (38.7-65.7 mg/L) al influente (<8.56 mg/L) (Figura 451). Estos valores probablemente se deban a que durante el día y debido a las actividades propias de las viviendas la concentración de las GyA es mayor, sin embargo a medida que va avanzando el día la concentración disminuye (por ejemplo, ya no se cocina y las actividades hacia la tarde son menores) pero el agua al pasar por el proceso y no removerse en los sedimentadores primarios que se encuentran fuera de operación va avanzando hacia el efluente, lo que podría incrementar la concentración en el efluente. El promedio ponderado de las GyA en el influente fue de 25.93 mg/L mientras que en el efluente fue de 34.35 mg/L.



**Figura 451. Concentración de GyA en el influente y efluente de la PTAR Aguascalientes**

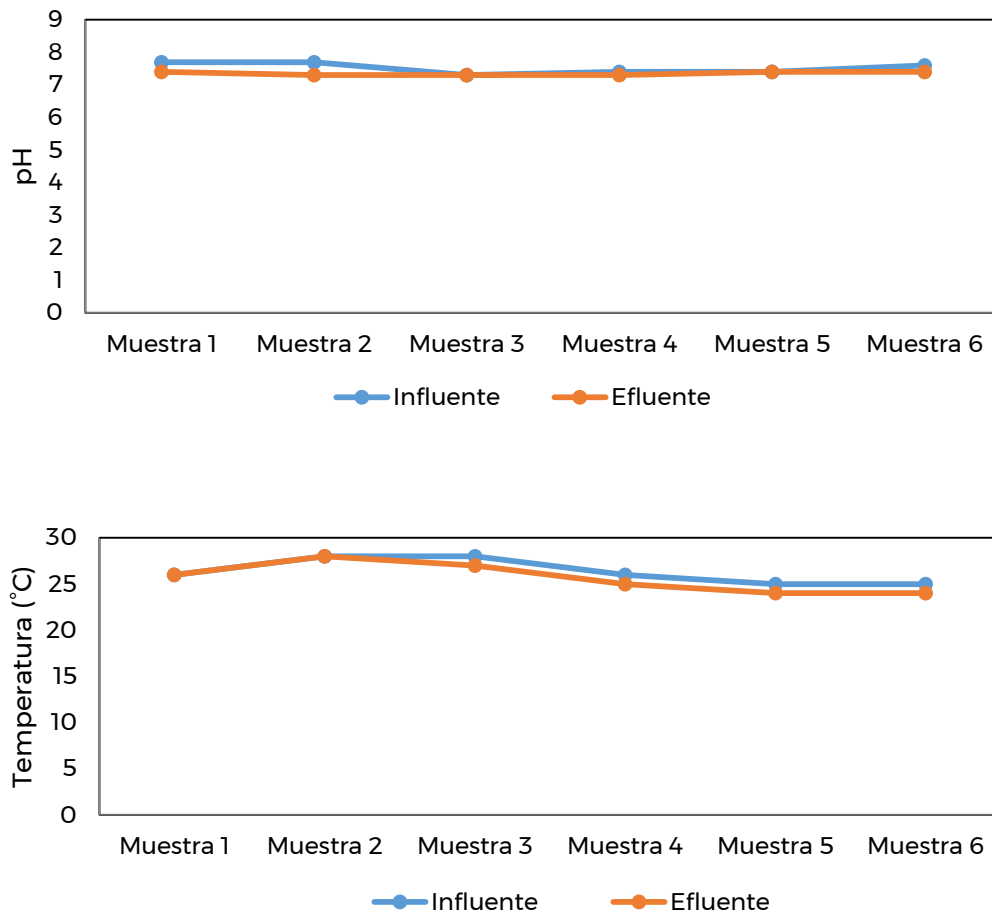
En la Figura 452 se presenta el comportamiento de los coliformes fecales (CF) y la *E.coli* durante el muestreo compuesto. Se encontró que en el influente la concentración de CF se presentó en el rango entre  $2.10E+07$  a  $1.10E+08$  NMP/100 mL, mientras que la concentración en el efluente fue de  $4.30E+01$  a  $4.60E+03$  NMP/100 mL. Para la *E.coli* la concentración en el influente se mantuvo en un rango entre  $2.10E+07$  a  $1.10E+08$  NMP/100 mL y en el efluente en un rango entre  $2.30E+01$  a  $4.60E+03$  NMP/100 mL. Los valores de concentración de CF y *E.coli* en el efluente (media geométrica:  $9.58E+02$  y  $3.59E+02$ , respectivamente) fueron mayores a los permitidos en las Condiciones Particulares de Descarga.



**Figura 452. Variación de CF y E.coli en el influente y efluente de la PTAR Aguascalientes**

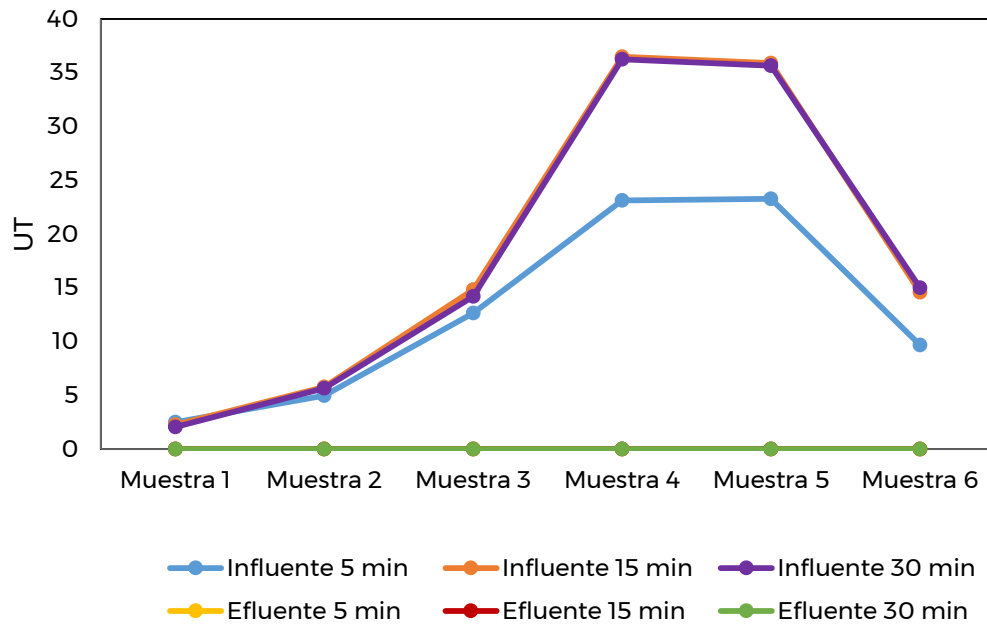
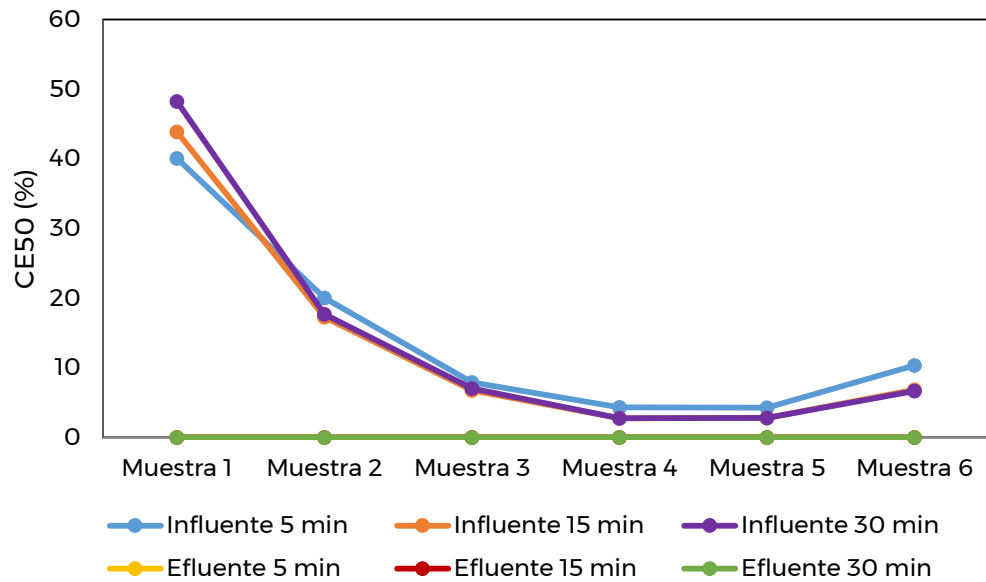
El pH en el influente fue estable con valores entre 7.3 y 7.7 (promedio 7.52). El pH en la descarga fue en promedio 7.35. Estos valores indican que tanto el influente como el efluente se encuentran dentro de los valores ideales (6.5-8.5) para el desarrollo de los microorganismos, por lo que no tendrán un impacto negativo ni a los sistemas biológicos (influyente) como a la vida acuática (efluente). La temperatura en el influente se mantuvo entre 25 a 28°C con un promedio de 26.3°C, mientras que en el efluente la temperatura se mantuvo entre 24 y 28°C, siendo las temperaturas más bajas tomadas en las muestras durante la noche (Figura 453).





**Figura 453. Variación del pH y temperatura en el influente y efluente de la PTAR Aguascalientes**

En la Figura 454 se muestran los resultados de la toxicidad determinada durante el muestreo compuesto. Como se puede observar en la gráfica la Concentración Letal media ( $CE_{50}$ ) en el influente se presentó en un rango entre 2.74 y 48.253%, lo que corresponde a 36.496 y 2.072 UT, respectivamente. Se observa que la mayor toxicidad en el influente se presenta en la muestra 4 y 5. Los valores de toxicidad en el influente a los 15 min se presentaron en un rango entre 2.28 a 36.496 UT. En lo que respecta al efluente no se detectó toxicidad en ninguna de las muestras ( $CE_{50}$ : Toxicidad no detectada, UT: No aplica).



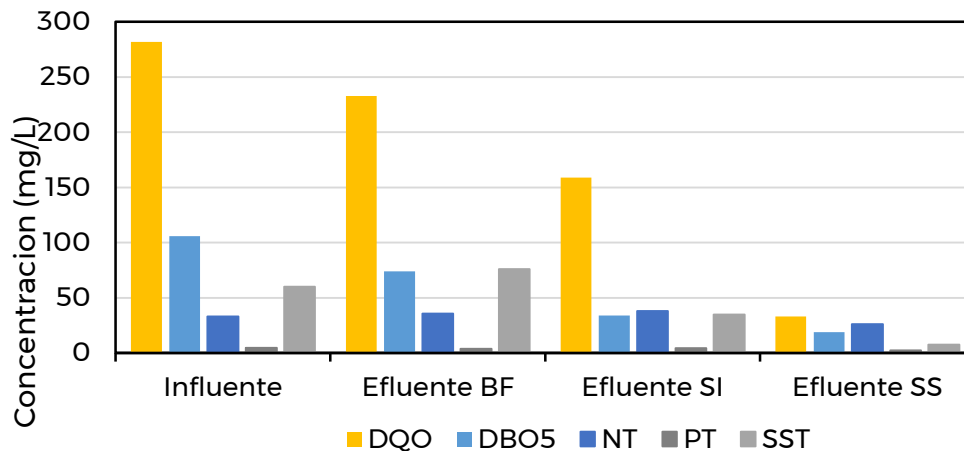
**Figura 454. Variación de la toxicidad (*Vibrio fischeri*) en el influente y efluente de la PTAR Aguascalientes**

### 20.3.2 Resultados de muestreo simple

Se realizó el monitoreo del agua residual a través de los cuatro trenes de tratamiento, los cuales constan, cada uno, de un biofiltro (BF), un sedimentador intermedio (SI), un reactor biológico de lodos activados (LA) y un sedimentador secundario (SS).

En las Figura 455 a la Figura 458 se presenta el comportamiento de la DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, PT y SST en cada etapa de los diferentes trenes de tratamiento de la PTAR Aguascalientes. Debido a que el influente se distribuye de forma homogénea en los cuatro trenes de tratamiento, los valores de cada parámetro en el influente son los mismos (282, 106, 33.2, 4.8 y 60 mg/L de DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, PT y SST, respectivamente).

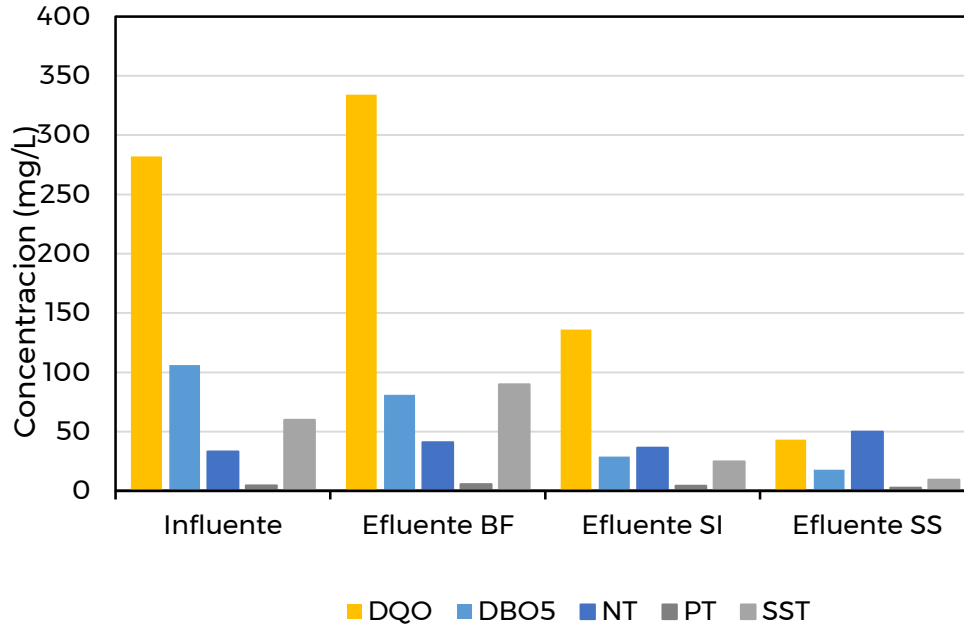
Para el Tren de tratamiento 1 se puede observar que tanto la DQO como la DBO<sub>5</sub> van disminuyendo a través de cada unidad de tratamiento, siendo el biofiltro el que mayor DBO<sub>5</sub> remueve (68%), mientras que la DQO, al igual que el NT, el PT y los SST se remueven principalmente en el reactor de lodos activados (79, 31, 47, 78%, respectivamente).



**Figura 455. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 1**

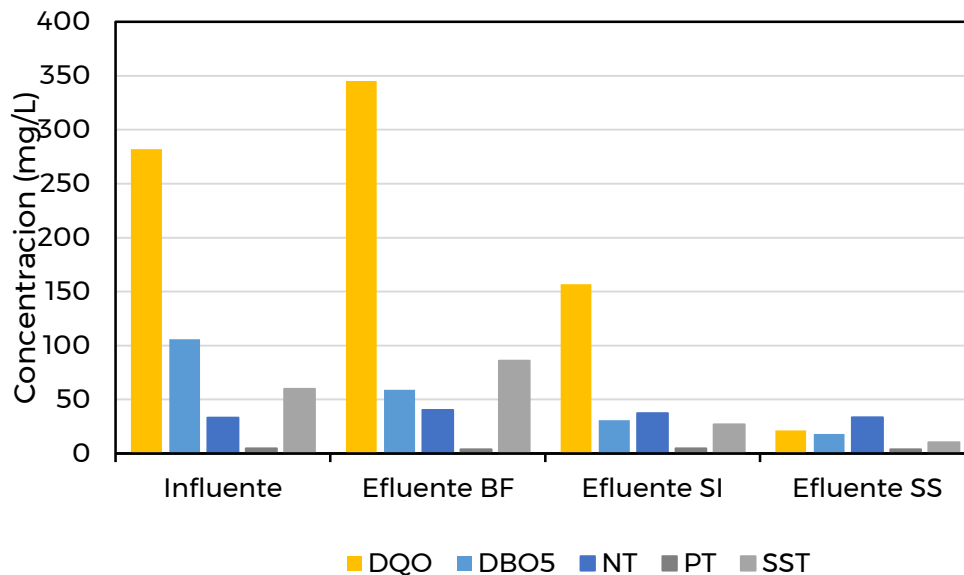
En el Tren de tratamiento 2 se puede observar un incremento en la concentración de DQO en el efluente del BF probablemente debido al desprendimiento de biomasa de la biopelícula que se desarrolla en el material filtrante del biofiltro. Esto concuerda con el incremento en la concentración de SST en el efluente del BF. Una vez que el agua residual pasa a través del sedimentador intermedio, se observa que la concentración de DQO y SST disminuyen a valores de 136 y 25 mg/L, respectivamente. El NT presenta un ligero incremento en todas las etapas del Tren de tratamiento (41.1 mg/L en el efluente del BF2, 36.5 en el efluente del SI y 49.9 en el efluente del SS). El PT se remueve un 6% en el biofiltro y un 40% en el

sistema de LA. Nuevamente en el tren de tratamiento 2 la mayor cantidad de DBO<sub>5</sub> se remueve en el BF (73%).



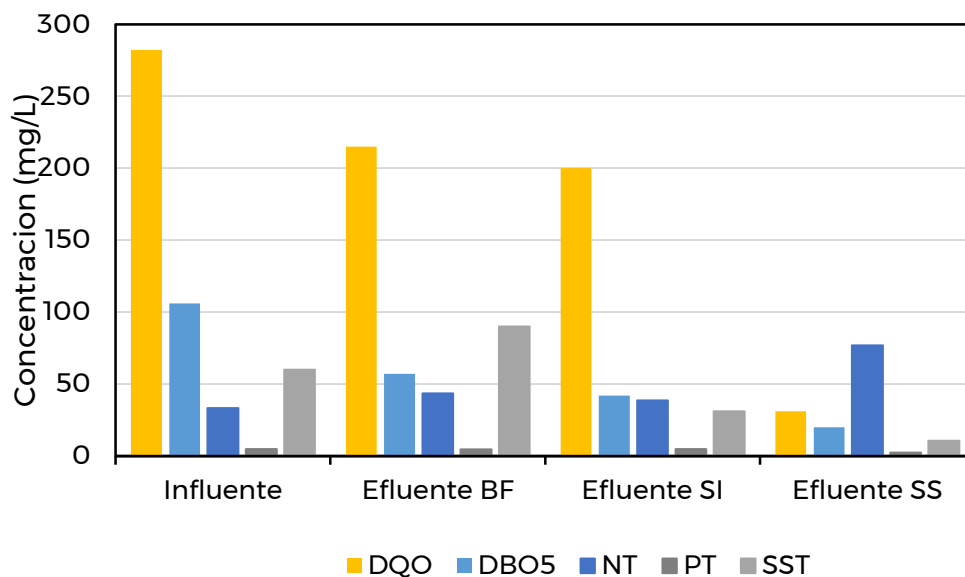
**Figura 456. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 2**

El Tren de tratamiento 3 presenta el mismo comportamiento que el Tren 2 con respecto a la DQO, DBO y SST. La DQO se remueve un 44% en el BF y un 86% del remanente en el sistema de lodos activados. El NT se incrementa ligeramente (40.4 mg/L) en el efluente del BF y disminuye en el sistema de lodos activados.



**Figura 457. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 3**

En el Tren de tratamiento 4 se observa que la DQO disminuye principalmente en el sistema de LA (85%), mientras que la mayor remoción de DBO<sub>5</sub> se alcanza en el BF (60%). Se observa en la gráfica que los SST incrementan en el efluente del BF (90 mg/L) y posteriormente disminuyen en el reactor de LA. Se observa que el NT no se remueve en el sistema.



**Figura 458. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 4**

En la Tabla 166 se presenta la eficiencia de remoción global en los trenes de tratamiento. Se observa que a pesar de que los cuatro trenes funcionan en paralelo bajo las mismas condiciones de operación, la eficiencia es diferente. La mayor remoción de materia orgánica se obtuvo en el Tren 3 con 92% de remoción de DQO y 83% de DBO<sub>5</sub>. Los sólidos se removieron de forma más estable en todos los trenes.

**Tabla 166. Eficiencia de remoción global de los trenes de tratamiento**

| Parámetro | Tren 1 | Tren 2 | Tren 3 | Tren 4 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| DQO       | 88%    | 85%    | 92%    | 89%    |
| DBO5      | 82%    | 83%    | 83%    | 81%    |
| NT        | 21%    | -50%   | -1%    | -132%  |

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| PT  | 51% | 44% | 22% | 50% |
| SST | 87% | 84% | 83% | 83% |

Con respecto a la remoción de PT el Tren de tratamiento 3 presenta la menor remoción (22%). Con respecto a la remoción de NT se puede observar en la Tabla que en ninguno de los trenes se presentó remoción. De acuerdo con el seguimiento en las formas del nitrógeno en las diferentes unidades de los trenes de tratamiento (Figura 459), se observa que la forma predominante es nitrógeno amoniacal en todas las etapas del tratamiento. El nitrógeno amoniacal no se remueve en los BF pero se observa que al pasar por el sistema de lodos activados comienza a transformarse en nitratos. Para poder eliminar el nitrógeno remanente (nitrificar-desnitrificar), es necesaria la implementación de una zona anóxica en el reactor de LA y suministrar la concentración de oxígeno adecuada para realizar la nitrificación completa.

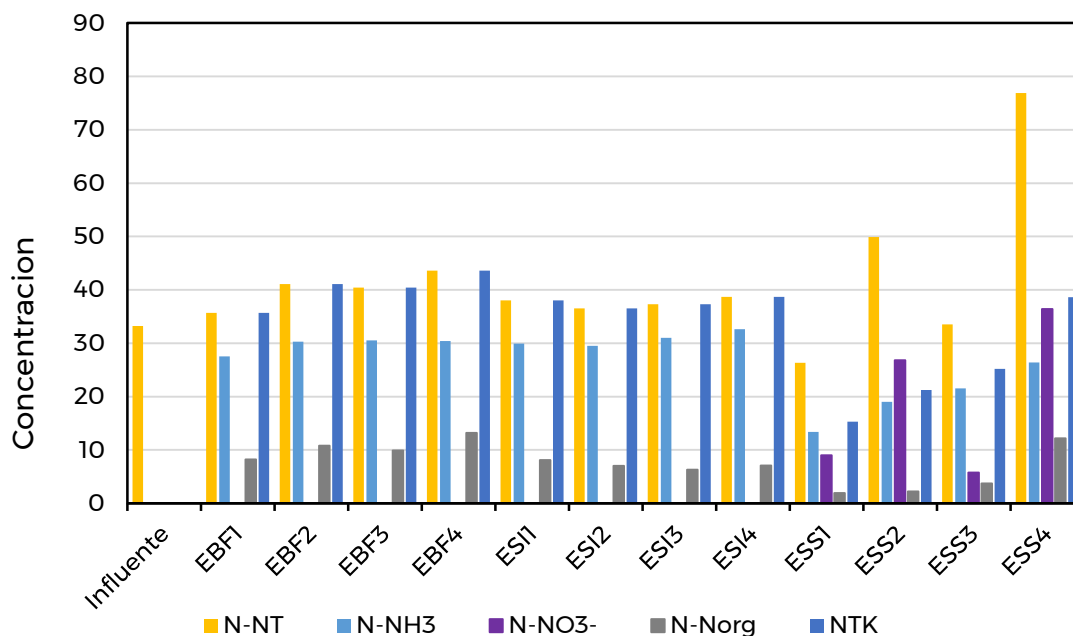


Figura 459. Comportamiento de las formas de nitrógeno en los Trenes de tratamiento

### 20.3.3 Eficiencias de las unidades de tratamiento

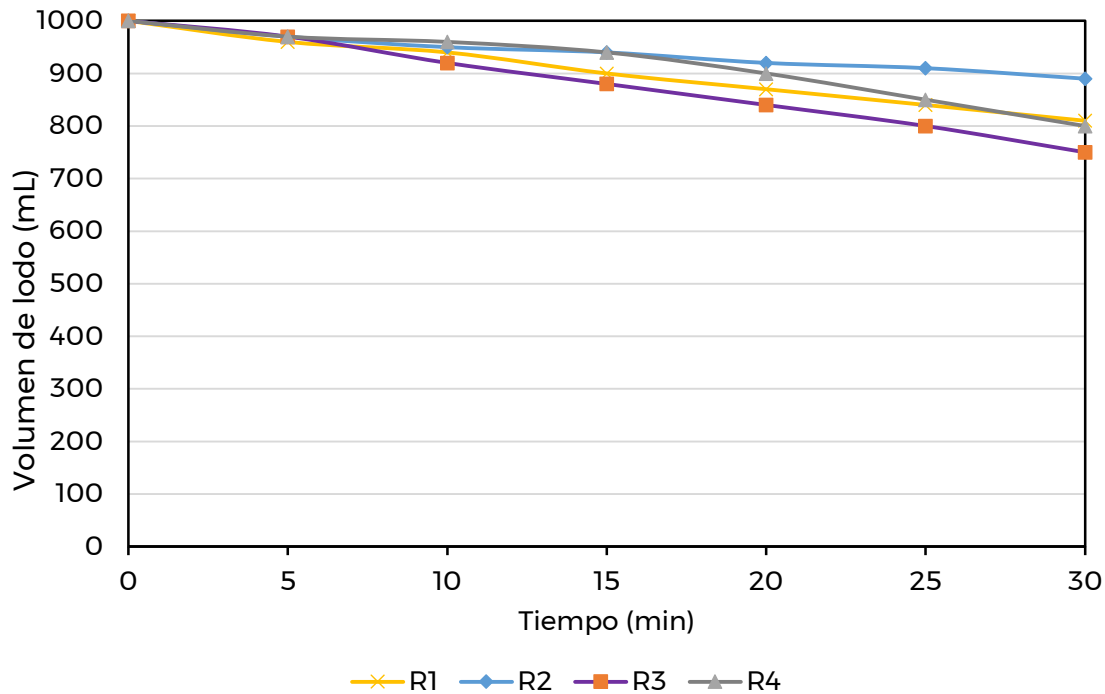
#### a) Índice Volumétrico de Lodos

En la Tabla 167 se muestran los volúmenes de lodos obtenidos en las pruebas de sedimentabilidad, en la Figura 460 se muestran las gráficas de sedimentación.

**Tabla 167. Resultados volumen de lodo**

| Tiempo (min) | Volumen de lodo (ml) |      |      |      |
|--------------|----------------------|------|------|------|
|              | LA1                  | LA2  | LA3  | LA4  |
| 0            | 1000                 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 5            | 960                  | 970  | 970  | 970  |
| 10           | 940                  | 950  | 920  | 960  |
| 15           | 900                  | 940  | 880  | 940  |
| 20           | 870                  | 920  | 840  | 900  |
| 25           | 840                  | 910  | 800  | 850  |
| 30           | 810                  | 890  | 750  | 800  |

Se observa tanto en la Tabla como en la Figura que la sedimentación es muy lenta ya que la concentración de lodos es muy alta, lo que pudo comprobarse visualmente en los sedimentadores secundarios, los cuales estaban llenos de lodo flotante. Este arrastre de lodos y falta de sedimentación en todas las unidades probablemente se deba a la falta del sedimentador primario.



**Figura 460. Prueba de sedimentación reactores LA**

En la Tabla 168 se muestra el Índice Volumétrico de lodos obtenido en los reactores de LA. De acuerdo con la literatura, se recomienda que un proceso de lodos activados mantenga una concentración de SSV en un rango de 1,500 a 3,000 mg/L, sin embargo, para el Tren 3 el sistema de LA no cumple con esta concentración. Con respecto al IVL la literatura recomienda mantenerlo en un rango entre 35 a 150 ml/g y en la Tabla puede observarse que solamente el sistema LA2 cumple con este requerimiento. Por lo anterior y de acuerdo con la prueba de sedimentabilidad cuyos resultados tampoco son adecuados se debería considerar realizar la purga de lodos, aunque nuevamente se recomienda en este punto reactivar las unidades de sedimentación primaria, para disminuir la cantidad de sólidos que llegan al sistema biológico.

**Tabla 168. Resultados de IVL**

|            | LA1    | LA2    | LA3    | LA4    |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| SST (mg/L) | 4300   | 7350   | 4850   | 3633   |
| SSV(mg/L)  | 2600   | 4900   | 3350   | 2267   |
| IVL (ml/g) | 188.37 | 121.09 | 154.64 | 220.20 |



En la Tabla 169 se describen las observaciones de cada una de las pruebas de sedimentabilidad y en la Figura 461 se presentan las fotografías de dichas pruebas. En general, los lodos de los cuatro reactores se observaron esponjosos, de color café oscuro y con un clarificado claro, sin embargo, la sedimentación fue pobre.

**Tabla 169. Características de los flóculos**

| Flóculo     | LA1         | LA2         | LA3         | LA4         |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Forma       | Esponjoso   | Esponjoso   | Esponjoso   | Esponjoso   |
| Color       | Café oscuro | Café oscuro | Café oscuro | Café oscuro |
| Clarificado | Claro       | Claro       | Claro       | Claro       |



LA1 y LA2 inicial

LA1 y LA2 final

LA3 y LA4 inicial

LA3 y LA4 final

**Figura 461. Lodos en prueba de sedimentación reactores LA**

### b) Manto de lodos

En la Tabla 170 se presentan los valores obtenidos de la medición del manto de lodos en los sedimentadores intermedios y secundarios de los cuatro trenes de tratamiento. Como puede observarse el manto de lodos en los sedimentadores intermedios es muy bajo (0.10 m) por lo que se recomienda mantener el manto en el valor que recomienda la literatura (1 m), lo cual permitirá que la sedimentación sea más adecuada y evitará los lodos flotantes que se encontraron en dichos sedimentadores y que probablemente sean consecuencia de la purga constante que provoca el movimiento del lodo y por ende su flotación (ver Figura 462).

**Tabla 170. Manto de lodos en sedimentadores**

| Sedimentador | Manto de lodos (m) |    |    |    |
|--------------|--------------------|----|----|----|
|              | S1                 | S2 | S3 | S4 |

|            |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|
| Intermedio | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| Secundario | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |

Con respecto al manto de lodos de los sedimentadores secundarios se encontró que el nivel es el adecuado, sin embargo, se observa una gran cantidad de lodo flotante en la superficie de la zona central del sedimentador (entre mamparas reductoras de velocidad del flujo), por lo que se recomienda una limpieza constante (ver Figura 462).



Sedimentador intermedio 1



Sedimentador intermedio 3



Sedimentador secundario 1



Sedimentador secundario 2

**Figura 462. Lodos en sedimentadores**

### c) Perfil de Oxígeno Disuelto

La PTAR Aguascalientes tiene con cuatro reactores biológicos, y cada uno de ellos cuenta con un sistema de difusión de burbuja fina, el cual está

dividido en tres secciones. Cada sección tiene una válvula de control de ingreso de aire, donde la abertura y la velocidad del giro del soplador son controladas por el sensor de oxígeno disuelto. Además, la cantidad de difusores va de más a menos en cada sección (aeración escalonada) y de acuerdo con el flujo del agua (Figura 463).



**Figura 463. Válvulas del sistema de aeración**

Lo anterior permite controlar de una manera más efectiva el suministro de aire, y evita tener excesos de consumo de energía.

En la Tabla 171 se muestran los resultados de las determinaciones de oxígeno disuelto en los cuatro reactores biológicos.



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**Tabla 171. Perfil de OD**

| Metros | Oxígeno Disuelto (mg/L) |      |      |      |
|--------|-------------------------|------|------|------|
|        | R1                      | R2   | R3   | R4   |
| 0      | 1.48                    | 1.46 | 1.66 | 1.46 |
| 4      | 1.46                    | 1.30 | 1.50 | 1.30 |
| 8      | 1.32                    | 1.26 | 1.46 | 1.35 |
| 12     | 1.26                    | 1.24 | 1.38 | 1.30 |
| 16     | 1.42                    | 1.21 | 1.37 | 1.27 |
| 20     | 1.32                    | 1.24 | 1.37 | 1.43 |
| 24     | 1.23                    | 1.24 | 1.29 | 1.46 |
| 28     | 1.20                    | 1.24 | 1.25 | 1.40 |
| 32     | 1.24                    | 1.27 | 1.26 | 1.30 |
| 36     | 1.27                    | 1.27 | 1.26 | 1.29 |
| 40     | 1.22                    | 1.21 | 1.24 | 1.24 |

La literatura indica que en un reactor biológico que no cuenta con aeración escalonada, al principio la concentración de OD es baja debido a la presencia de una alta carga orgánica, la cual va siendo menor conforme avanza el flujo de agua y por lo tanto, se incrementa la concentración de OD.

En este caso en particular, al contar con una aeración escalonada y con el control de suministro de aire, se observa una pequeña tendencia de descenso de OD en los reactores (Figura 464). Sin embargo, el residual de OD está dentro de lo recomendado.

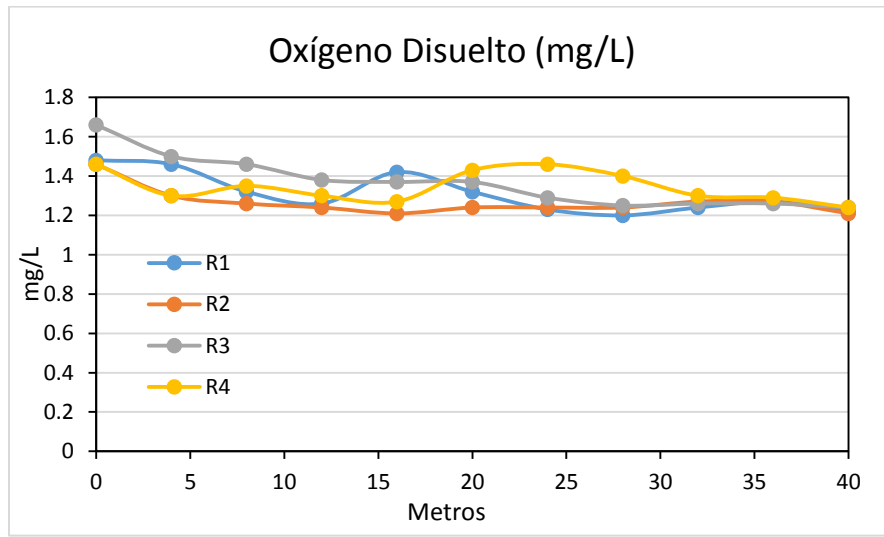


Figura 464. Perfil de OD en reactores biológicos

#### d) Perfil de pH

En la Tabla 172 se muestran los resultados de las determinaciones de pH en los cuatro reactores biológicos.

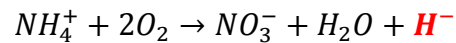
Tabla 172. Perfil de pH

| Metros | pH   |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|
|        | R1   | R2   | R3   | R4   |
| 0      | 7.31 | 7.40 | 7.39 | 7.58 |
| 4      | 7.25 | 7.34 | 7.34 | 7.57 |
| 8      | 7.21 | 7.34 | 7.33 | 7.49 |
| 12     | 7.20 | 7.32 | 7.33 | 7.46 |
| 16     | 7.23 | 7.32 | 7.28 | 7.44 |
| 20     | 7.18 | 7.30 | 7.28 | 7.45 |
| 24     | 7.15 | 7.26 | 7.26 | 7.45 |
| 28     | 7.14 | 7.25 | 7.26 | 7.42 |
| 32     | 7.14 | 7.26 | 7.26 | 7.43 |
| 36     | 7.15 | 7.26 | 7.26 | 7.42 |
| 40     | 7.14 | 7.25 | 7.25 | 7.41 |

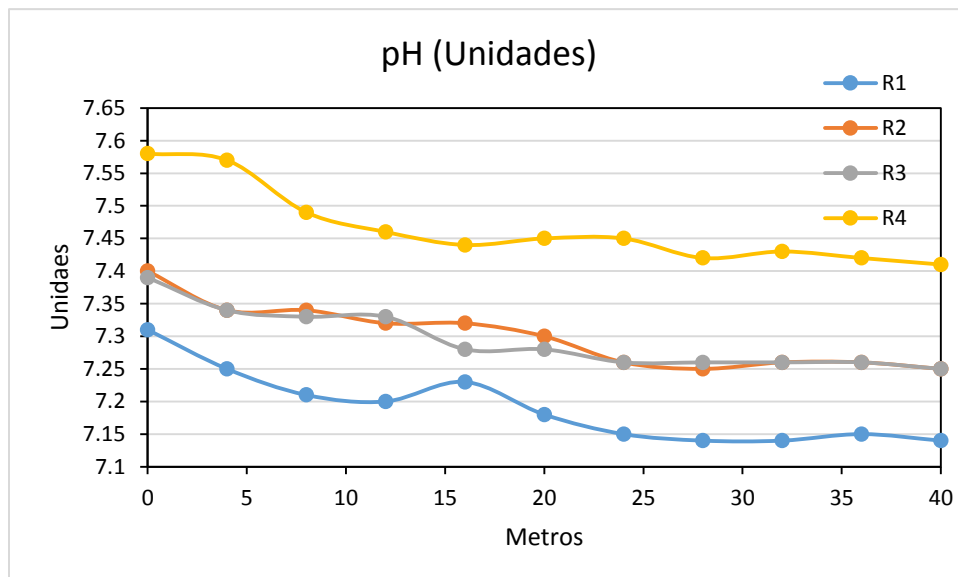
En un reactor biológico, en su zona de aeración se da el proceso de nitrificación, el cual consume alcalinidad, por la que el pH a la salida de este proceso será menor.

Bajo esta premisa, el comportamiento del pH en el reactor biológico se relaciona directamente con la reacción de nitrificación, en la que está presente el nitrógeno.

Nitrificación (condición ácida,  $H^-$ )



Así, el pH dentro en la zona de aeración presenta un comportamiento de más a menos (disminuirá).



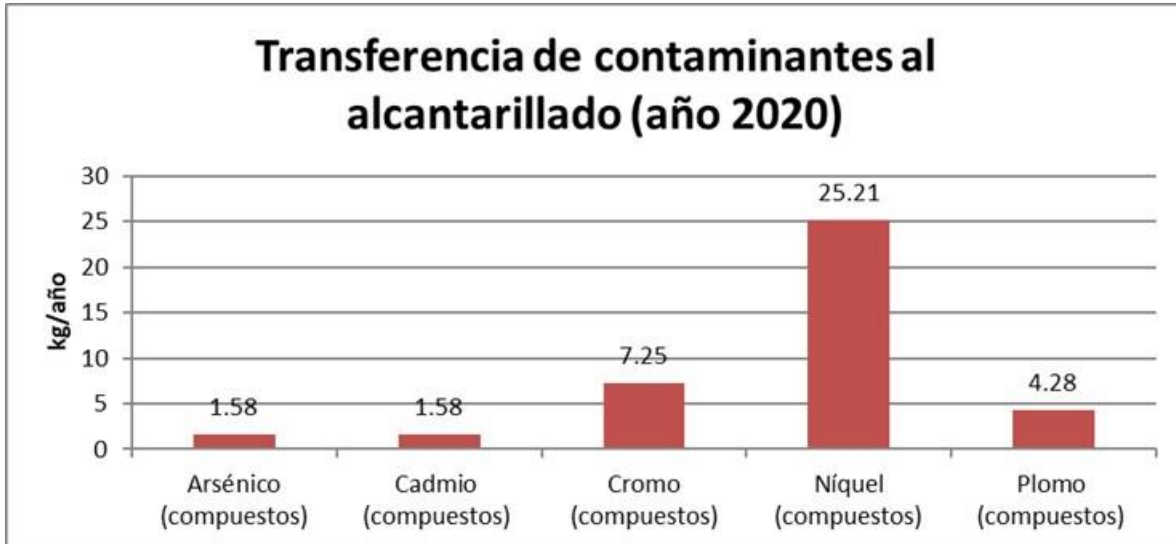
**Figura 465. Perfil de pH en reactores biológicos**

En la Figura 465 se puede observar que en los cuatro reactores biológicos existe una tendencia de disminución del pH, por lo que se puede establecer que el proceso de nitrificación se está desarrollando adecuadamente.

Por otra parte, a partir del punto identificado como "28 m" los valores de pH no tienen una variación significativa, lo que hace suponer que el proceso de nitrificación ha concluido, esto es, todo el nitrógeno amoniacal ha sido transformado a nitrógeno de nitratos.

### 20.3.4 Influencia industrial

De acuerdo con una revisión realizada en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) se encontró que las industrias que aportan sustancias tóxicas al alcantarillado son la química y artículos y productos metálicos. En la Figura 466 se observan las sustancias que se reportaron en las descargas del RECT en el año 2020.



**Figura 466. Sustancias transferidas al alcantarillado de Aguascalientes en el año 2020 (RECT)**

En los datos históricos de calidad del agua no se encontraron los reportes de metales pesados.

De acuerdo con los datos históricos reportados por la PTAR se tiene una relación DBO/DQO entre 0.3 y 0.5, probablemente influenciada por los contaminantes que se mencionan en el RECT.



## **21 DIAGNÓSTICO DE PERSONAL**

### **21.1 Recursos Humanos**

A continuación, se presenta el resultado del análisis del personal que labora en la PTAR Cd. Aguascalientes. Esta información corresponde a la obtenida a través del FORMATO 03. RECURSOS HUMANOS que se encuentra en el Anexo H.

La plantilla de la PTAR está conformada por 53 personas;

- 2 administrativos
- 32 operadores
- 7 de mantenimiento
- 2 de laboratorio
- 10 otros puestos (jardinería, chofer de lodos, para llenado de pipas)

De éstas, 26 (49%) tienen al menos dos años de antigüedad, 4 (8%) tienen de 5 a 10 años, 8 (15%) tiene de 10 a 20 años y 15 (28%) de 20 a 27 años de antigüedad en la PTAR.

El coordinador de la PTAR tiene 19 años de antigüedad y menos de un año en el puesto.

En cuanto a escolaridad 6 (11%) tienen licenciatura, 7(13%) bachillerato, 25 (47%) tiene secundaria, 6 (11%) primaria y 9 (17%) no indica escolaridad.

En resumen, la mayoría del personal tiene pocos años de experiencia y el 58% tiene escolaridad básica.

### **21.2 Evaluación de conocimientos**

Este apartado es resultado de la aplicación del Formato 04. Evaluación de conocimientos, el cuestionario se aplicó a los operados de la planta y personal de laboratorio, sin embargo, solo 19 de los 32 operadores (incluyendo jefe en turno) y 1 de 2 personas de laboratorio reportados en la plantilla de la PTAR respondieron la evaluación en lo cual se observó lo siguiente:

- El personal de laboratorio presentó conocimientos básicos y generales regulares y cuenta con 3 años de experiencia.
- Operadores; de los que contestaron el cuestionario se observó que solo uno de ellos (Jefe de operación) presentó buenos conocimientos en bases generales de la PTAR, además de conocer bien su planta y la forma de operar de la misma, así como 25 años de experiencia. Separando al jefe de operación se observó que el 50% de los

operadores (9) presentó conocimientos generales intermedios, así como un bajo conocimiento de conceptos básicos, sin embargo, si conocen los procesos de la PTAR. El otro 50 % (9 personas) presentaron conocimientos deficientes, tanto de la PTAR como conocimientos generales y básicos.

## **21.3 Capacitación**

### **21.3.1 Cursos de capacitación recibidos**

A continuación, se citan los cursos que ha recibido el personal en los últimos tres años:

- Jefe de operación en turno; Gestión y operación de PTARS, manejo y seguridad de gas cloro y control de incendios.
- Personal de laboratorio: Gestión y operación de PTARS
- Operadores; El 66% (12) recibió cursos sobre el manejo seguro de gas cloro y manejo de equipo contra incendios. El 39% (7) fueron capacitados con el curso de gestión y operación de PTARS. El 22% (4) fueron capacitados en control y disposición de lodos y solo 1 persona recibió el curso de polímeros y cogeneración.

### **21.3.2 Temas de capacitación solicitados**

- Jefe de operación en turno; Disposición y uso de efluentes en PTARS y tratamientos terciarios
- Personal de laboratorio: Manejo y diseño de PTARS, nuevas tecnologías en PTARS, técnicas de uso agrícola para biosólidos, identificación de microorganismos en una PTAR, potabilización de agua residual, control de calidad dentro de un laboratorio y certificación del mismo.
- Operadores: Operación de PTARS, curso de primeros auxilios, tratamiento de lodos, aprovechamiento de energía por cogeneración, cursos de bombas y sopladores, procesos biológicos de aguas residuales y equipos de medición.
- 

En resumen, es necesario implementar un programa de capacitación continua a todo el personal que labora en la PTAR.

### 21.3.3 Material didáctico entregado

Para solventar un poco la problemática sobre material para la capacitación continua, se entregó el siguiente material didáctico en la PTAR

- p) Manuales: El contenido de cada uno de ellos se encuentra en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1m9GYeDsYFscSYAuUpRM5BV8VBsYqT-o8?usp=sharing>
- q) Infografías
- r) Manual de ejercicios prácticos

Los Manuales constan de 6 tomos cuyas temáticas son las siguientes (Figura 257).

- ee) Indicadores sensoriales
- ff) Indicadores analíticos
- gg) Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
- hh) Calidad del agua
- ii) Control del proceso
- jj) Seguridad e higiene





**Figura 467. Portada de los manuales.**

Se elaboraron 15 infografías con la información de los manuales, las cuales se mencionan a continuación (Figura 258):

- xxx) Arranque de una PTAR de lodos activados
- yyy) Higiene y seguridad
- zzz) Indicadores analíticos A
- aaaa) Indicadores analíticos B
- bbbb) Indicadores sensoriales A
- cccc) Indicadores sensoriales B
- dddd) Índice volumétrico de lodos
- eeee) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-001-SEMARNAT-1996
- ffff) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-002-SEMARNAT-1996
- gggg) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-003-SEMARNAT-1997
- hhhh) Parámetros de calidad del agua
- iiii) Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados
- jjjj) Problemas frecuentes en un sistema de lodos activados
- kkkk) Relación alimento/microorganismos
- llll) Sistema mecanizado de tratamiento de aguas residuales

## ARRANQUE DE UNA PTAR DE Lodos Activados

### No arrancar si faltan equipos y detalles de construcción

El arranque de un proceso de lodos activados, se lleva tiempo y deben tenerse ciertos cuidados para lograr su estabilización, así como un buen funcionamiento del proceso. Se recomienda realizarlo en verano.

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lodos activado se puede realizar bajo dos escenarios, con y sin inóculo, siendo considerado este último como una situación difícil.

### Revisión del equipo electromecánico

Realizar un listado de todos los equipos electromecánicos por unidad de proceso. Realizar una prueba de arranque y paro, verificando el giro de motores y si es posible ampararlo, esto con la finalidad de que no este obstruido o pegado el motor.

### Revisión hidráulica de los tanques

- Realizar el llenado de las unidades para verificar que no existan fugas o grietas en las paredes.
- El agua será transferida de tanque en tanque.
- Para realizar esta actividad es necesario contar con planos de cada una de las unidades de proceso, para señalar o marcar y describir en estos las fallas que se consideren pertinentes.

---

### ARRANQUE SIN INÓCULO

**Días 1:** Introducir agua residual al reactor biológico hasta un cuarto de su capacidad y arrancar la unidad de aeration. Al no existir microorganismos en el sistema, se generará una gran cantidad de espuma.

**2:** Llenar reactor biológico a un 50% y continuar con la aeration.

**3:** Llenar reactor biológico a un 75% y continuar con la aeration.

**4:** Llenar reactor biológico a un 100% y continuar con la aeration.

**5:** Iniciar con un flujo continuo de agua residual a 25% del flujo de diseño. Iniciar operación en el sedimentador secundario con recirculación al 100%. Analizar SSTLM y SVOLM para estimar el desarrollo de la biomassa. Controlar unidades de agua residual cruda y tratada para determinar DBO y SST, para establecer la eficiencia del proceso.

**11:** Aumentar el flujo de agua residual al 50%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar sus ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**15:** Aumentar el flujo de agua residual al 70%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**20:** Aumentar el flujo de agua residual al 100%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**Calculo de requerimiento de inóculo:**

**Datos:**  
El reactor biológico tendrá 5 000 mg/L de SST.M y un volumen de 4 354 m<sup>3</sup>. El inóculo proviene de la reestructuración, con una concentración de 8 760 mg/L (8,76 light/d).

**Cálculos:**  
Masa requerida = 3.5 light/m<sup>3</sup> x 4 354 m<sup>3</sup> = 15 239 kg  
Volumen requerido = 15 239 kg / 8,76 light/d = 1 739 m<sup>3</sup>  
Se inocula con el 50% = 1 739 m<sup>3</sup>. En la práctica como mínimo se recomienda no menos del 5%.

**Días:**  
**1:** Llenar el reactor biológico con agua residual, al 25% del tiempo de arranque del proceso, y arrancar la unidad de aeration. Iniciar con un flujo de agua residual del 25%. La recirculación y el tratamiento secundario debe iniciar al 100%. Monitorear la formación de la espuma y contener su desarrollo. Analizar SSTLM y SVOLM para estimar el desarrollo de la biomassa. Controlar unidades de agua residual cruda y tratada para determinar DBO o DCO y SST, y establecer la eficiencia del proceso.

**6:** Aumentar el flujo al 50%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**11:** Aumentar el flujo al 100%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

---

De días determinar cuándo termina el arranque y cuándo inicia la operación normal.

- Concentraciones de los parámetros de calidad del agua del efluente.
- Similares durante varios días, tal vez indiquen una operación normal.
- Disminuyen valores muy cercanos a los de diseño.
- Parámetros de control de operación muy cercanos a los de diseño.

## HIGIENE Y SEGURIDAD

La higiene y seguridad deben iniciar por uno mismo y mantenerse para prevenir enfermedades y accidentes en el lugar de trabajo.

Comité de higiene y seguridad

Programas

Las actividades del comité son:

- Elaborar inspecciones
- Proporcionar y sugerir capacitación
- Desarrollo del manual de higiene y seguridad
- Conducir investigaciones de accidentes y lesiones

La capacitación es importante y sirve de medida preventiva contra accidentes y enfermedades.

Los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento:

- Políticas por escrito de higiene y seguridad
- Comités de higiene y seguridad
- Capacitación de higiene y seguridad

---

### Medidas de higiene

El coordinador de las plantas de tratamiento de aguas residuales debe asegurar el contacto con microorganismos, por lo que la mayoría de la máxima protección a la salud, deberá recibir vacunación contra:

- Hepatitis A
- Hepatitis B
- Influenza
- Sarampión
- Papera
- Neumonia
- Rubéola
- Tétanos
- Difteria

La mejor defensa contra infecciones virales y bacterianas es la observación de prácticas de higiene personal, por lo que se debe:

- Mantener manos y dedos lejos de la nariz, boca, ojos y oídos.
- Lavar guantes de hule cuando se limpien bombas o equipos, se maneje agua residual, regatas, todos o arena la arena brisa que involucre contacto directo con las aguas residuales o lodos.
- Lavar las manos con jabón, preferentemente con agua caliente, antes de comer o fumar y después de terminar los trabajos.
- Mantener las uñas cortas y remover los materiales extraños oasca introducidos en las mismas.
- Evitar el uso de días gemelos por trabajar, una para guardar ropa de calle y limpia y para la ropa de trabajo.
- Estarse el finalizar su turno de trabajo

Norma Oficial Mexicana NOM-075-SSA3-2009 Equipo de protección personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

**Objetivo:** Establecer los requisitos para la selección, uso y manejo de equipos de protección personal que permita al trabajador protegerse de los riesgos de los agentes de trabajo que puedan sufrir su salud.

Propósito: El presente establece los procedimientos de selección de los equipos de protección personal que permita al trabajador protegerse de los riesgos de los agentes de trabajo.

Que así acceda a la conservación de la vida de los trabajadores.

Que permita al trabajador en su procedimiento de trabajo para su salud, prevenir lesiones, infecciones, enfermedades, accidentes y contaminación.

| Claso y región anatómica | Clase y tipo                    | Tipo de riesgo en función de la actividad  |
|--------------------------|---------------------------------|--|
| Cabeza                   | Casco contra impacto            | Exposición por algún tipo de posibilidad de impacto proveniente de la actividad.   |
| Ojos y cara              | Goggles de protección           | Riesgo de contaminación por aerosoles y líquidos. Protección contra riesgo de resaca de aerosoles al realizar mantenimiento y producción para el trabajador. |
| Oídos                    | Tapones auriculares             | Exposición a ruido que provoque pérdida de audición.   |
| Aparato respiratorio     | Respirador contra gases tóxicos | Exposición a gases tóxicos que provoque irritación de las vías respiratorias y lesiones severas.   |
| Extremidades superiores  | Guantes                         | Riesgo de contaminación por sustancias que causen irritación de la piel, lesiones por abrasión y quemaduras.   |
| Tronco                   | Overol                          | Riesgo de contaminación por sustancias que causen irritación de la piel, lesiones por abrasión y quemaduras.   |
| Extremidades inferiores  | Extremidades inferiores         | Proteger a la persona contra gases, volatiles, líquidos.   |

## INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para: Monitorear el funcionamiento de la PTAR, Conocer la eficiencia del proceso, Resolver problemas operacionales

### DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (degradar) la materia orgánica. Es la materia orgánica biodegradable (alimento que entra y sale de la PTAR). Demosntraciones de DBO 40% indican que la PTAR opera bien. Demosntraciones de DBO 60% demotan problemas en la PTAR. Debe existir un balance entre la cantidad de alimento que entra y los microorganismos presentes en el reactor biológico.

### FLUJO DE AGUA

El operador tiene al control de la cantidad de agua que ingresa a la PTAR.

Se emplea para el control del proceso para calcular el caudal orgánico, AM, THOD, THK, el punto de recirculación y purga de lodos y dosificación de productos químicos.

Contar con un "top pass" para señalar la altura del nivel de agua.

Cy a entre 100 y 150 mg/l, ampuñando los lodos a la superficie del sedimentador secundario.

Cy a = 150 mg/l se presenta aglomeración de lodos en el reactor biológico, lo que ocasiona por días de SST y una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica.

### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que se requieren para oxidar la materia orgánica por medio químicos.

Es la muestra orgánica oxidable que entra y sale de la PTAR. La reacción química se acelera monitoreando los dos parámetros durante un largo periodo de tiempo para establecer su tendencia o comportamiento.

Con esta relación, y determinando la DBO se calcula la DCO, sobrecarga química, descarga industrial poco biodegradable, tratamiento poco eficiente.

COX/COB=0.5 indica descarga industrial poco biodegradable.

COX/COB=0.5 indica descarga urbana biodegradable. Tratamiento biológico.

### GRASAS Y ACEITES

En vuelven a los microorganismos, interfiriendo con la transferencia de materia orgánica soluble a través de su pared celular, por lo cual pueden ser fatales de alimento.

Cy a entre 100 y 150 mg/l, ampuñando los lodos a la superficie del sedimentador secundario.

Cy a = 150 mg/l se presenta aglomeración de lodos en el reactor biológico, lo que ocasiona por días de SST y una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica.

### NUTRIENTES

Los microorganismos requieren especialmente NITRÓGENO y FOSFÓFORO para su desarrollo. En las aguas residuales urbanas existen en cantidad los nutrientes para los microorganismos.

En influencias industriales algunos casos, se requiere su adición para su tratamiento por medios biológicos.

### TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

Tiempo que permanece cierta cantidad de agua en un tanque.

En un tanque de aereación los microorganismos necesitan tiempo de retención para sobrevivir y generar la materia orgánica soluble.

| Unidad                  | Mayor  | Menor                                |
|-------------------------|--|--------------------------------------|
| Reactor biológico       | Deposición orgánica. Caudal de sedimentación   | Bajas eficiencias de remoción de DBO |
| Sedimentador secundario | Desdiferenciación. Análisis SST en el efluente | Análisis SST en el efluente          |

## INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para: Monitorear el funcionamiento de la PTAR, Conocer la eficiencia del proceso, Resolver problemas operacionales

### TEMPERATURA

Rango óptimo para la actividad bacteriana serían: 20° - 35°C.

| Actividad de microorganismos | Alta      | Baja    |
|------------------------------|-----------|---------|
| Refrigeración                | Rápida    | Lenta   |
| Temperatura                  | Disminuye | Aumenta |

El aire de un soplador puede incrementar la temperatura del agua hasta en 2°C. Debido a que pueden salir alrededor de los 100°C.

Rango óptimo para asegurar la actividad y desarrollo de los microorganismos en tanques de aereación: 20° - 35° C.

Por arriba o por debajo de 10 y 10.0 unidades la población biológica muere.

En el proceso que rielifica se espera un descenso de pH 0.2 a 0.5 unidades, entre el agua de entrada y la de salida.

### OXIGENO DISUELTO (OD)

De 1 a 2 mg/L OD residual satisfacen el ingreso de una carga orgánica alta.

La falta de un OD residual, inhibirá la actividad microbiana y disminuirá la remoción de materia orgánica.

Un OD residual mayor a 5 mg/L, indica sobrecarga orgánica, ya que al tratarse de un tanque de aereación, la situación desperdicia energía y tiempo.

### pH

| Actividad de microorganismos               | Alta               | Baja |
|--|--------------------|------|
| Refrigeración <td>Alta <td>Baja</td> </td> | Alta <td>Baja</td> | Baja |
| Temperatura                                | Baja <td>Alta</td> | Alta |

### CONSUMO DE OXÍGENO

Permite conocer la actividad microbiana en el reactor biológico al medir la velocidad de consumo de oxígeno.

A) Actividad microbiana alta o ingreso una alta carga orgánica o hay demasiados microorganismos.

B) Comportamiento ideal, consumo en los primeros minutos alto, pero con el tiempo se estabiliza y al llegar a un valor de caudo.

C) Consumo de oxígeno lento, rápidamente se hace suficiente, muestra presencia de pocos microorganismos, o una toxicidad química que limita su respiración.

D) Si no existe consumo de oxígeno, la actividad microbiana es nula, indica que ocurrió una toxicidad aguda.

### SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y VOLÁTILES

Los SST se emplean para los ajustes de recirculación y de purga de lodos.

Los SVV indican indirectamente la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de aereación. Los SVV se emplean para calcular la relación alimento/microorganismos (A/M) y el tiempo medio de retención celular (THRC).

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS



### Material flotante

- Indicador de altas concentraciones de grasas y aceites.
- Interfiere con la sedimentación y puede causar bajas eficiencias de remoción de DQO.



### Acumulación de sólidos

- Su origen se debe a una operación ineficiente del clarificador o del sedimentador primario o secundario.
- Reduce el volumen efectivo de las unidades de proceso afectando su eficiencia.
- Generan zonas anaerobias que provocan problemas de sedimentación y mal olor.



### Trajectory de flujos

- La observación de la trayectoria del flujo se utiliza para detectar cortocircuitos.
- Los cortocircuitos son visibles al observar el movimiento de la espuma, sólidos suspendidos o material flotante.
- Problemas: reducción de tiempos de retención hidráulico, generando operación inadecuada.



### Mezcla y turbulencia

- Un tanque bien mezclado presenta uniformidad de concentraciones en todo su volumen.
- Indicadores de mezclado en el reactor biológico: Formación de depósitos de sólidos en las esquinas. Zonas con concentraciones de O<sub>2</sub> de cero. Diferencia de concentraciones entre zonas en O<sub>2</sub> o de pH.
- Turbulencias no uniformes o de baja turbulencia pueden ser causadas por: Difusores obstruidos. Difusores dañados. Exceso de aereación. Efectos de aereación.



### Burbujeo

- En el sedimentador secundario indican que el lodo tiene mucho tiempo de residencia (desnitrificación) se debe incrementar la recirculación de lodo.
- En canales, desarenadores y tanque de contacto de cromo con limpieza deficiente se presenta acumulación de sólidos y condiciones anaerobias, que generan burbujas y arrastre de sólidos.

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS



### Color

- Lodo activado aerado en buenas condiciones: Color café achocolatado.
- Es un indicativo del estado de salud del lodo.
- Las condiciones de alimento proporcionan diferentes tonalidades.
- Las condiciones ambientales le dan diferente tono de color café.



### Olor

- Una PTAR bien operada no genera malos olores.
- Un proceso de lodos activados saludable tiene un ligero olor a humedad (tierra mojada).
- Un lodo séptico, cambia su color a oscuro y el olor es similar al del huevo podrido.



### Tacto

- Una Temperatura o vibración excesiva en equipos electromecánicos y tuberías advierten un mal funcionamiento.



### Algas

- Su crecimiento en las paredes de los tanques o en las canales recolectoras indica que altos niveles de nutrientes.



### Turbiedad del efluente

- Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario o en el tanque de contacto de cloro indican un mal funcionamiento de la PTAR.

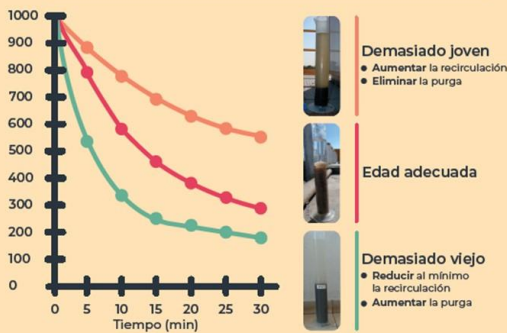


### Espuma

- Color café oscuro: Se puede presentar en el reactor biológico y en el sedimentador secundario y se debe a un alto contenido de grasas y aceites que impactan a los microorganismos y los flocos.
- Color café claro: Los niveles de sólidos no son adecuados. El lodo no tiene la edad requerida, es joven.
- Color blanco: En tanques de nitrificación, reactor biológico y afluente alta concentración de detergentes. Es una condición específica del arranque de una planta. Se presenta en los reactores por las mañanas y con mayor impacto en invierno, debido a que la temperatura afecta la actividad metabólica de los microorganismos y no degradan los detergentes.

# ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)

- IVL (mL/g) = Volumen de lodos sedimentados (mL/L) / concentración de SSTM (g/L)
- El volumen de lodos sedimentados se determina en una probeta de 1 L después de 30 minutos.
- Los valores de IVL están comprendidos dentro del intervalo 150 a 35 mL/g



- Demasiado joven**
- Aumentar la recirculación
  - Eliminar la purga
- Edad adecuada**
- Demasiado viejo**
- Reducir al mínimo la recirculación
  - Aumentar la purga

- Se registra el volumen del lodo cada 5 minutos
- Los datos se graficarán para obtener una curva de sedimentabilidad, que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el reactor biológico.
- Durante la prueba se podrá apreciar la forma del floculo, su color y olor
- El aspecto final de la prueba da una idea de lo que se espera en el sedimentador secundario
- La información de esta prueba ayudará a conocer el comportamiento del sistema y a detectar problemas operacionales

## NORMATIVA MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

NOM-001-SEMARNAT-1996

- Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

- Con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS

| PARÁMETROS                    | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS |                        |                                 |                           |                                  |   |                |               |                           |                         |   |                           |                        |                                 | PARÁMETROS (*) | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS |                        |   |                |                                  |                           |                         |   |                           |                        |                                 |                           |                        |   |                |               |                           |                         |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------------|--|------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---|----------------|---------------|---------------------------|-------------------------|---|---------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------|---|------------------------|---|----------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|---|---------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------|---|----------------|---------------|---------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                               | RÍOS   |                        |                                 |                           | EMBALES NATURALES Y ARTIFICIALES |   |                |               | AGUAS COSTERAS            |                         |   |                           | SUELO                  |                                 |                | RÍOS  |                        |   |                | EMBALES NATURALES Y ARTIFICIALES |                           |                         |   | AGUAS COSTERAS            |                        | SUELO                           |                           |                        |   |                |               |                           |                         |     |     |     |     |     |     |
|                               | Uso en riego agrícola (A)                              | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C) | Uso en riego agrícola (B) | Uso público urbano (C)           | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B) | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) | Miligramos por litro, excepto cuando se especifique | Uso en riego agrícola (A) | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C) |                | Uso en riego agrícola (B)                                   | Uso público urbano (C) | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B)                    | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) | Miligramos por litro, excepto cuando se especifique | Uso en riego agrícola (A) | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C) | Uso en riego agrícola (B) | Uso público urbano (C) | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B) | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) |     |     |     |     |     |     |
| Temperatura (1)               | N.A.   | N.A.                   | 40                              | 40                        | 40                               | 40  | 40             | 40            | 40                        | 40                      | 40  | 40                        | 40                     | 40                              | 40             | 40  | 40                     | 40  | 40             | 40                               | 40                        | 40                      | 40  | 40                        | 40                     | 40                              | 40                        | 40                     | 40  | 40             | 40            | 40                        | 40                      | 40  | 40  |     |     |     |     |
| Grasas y Aceites (2)          | 15   | 25                     | 15                              | 25                        | 15                               | 25  | 15             | 25            | 15                        | 25                      | 15  | 25                        | 15                     | 25                              | 15             | 25  | 15                     | 25  | 15             | 25                               | 15                        | 25                      | 15  | 25                        | 15                     | 25                              | 15                        | 25                     | 15  | 25             | 15            | 25                        | 15                      | 25  |     |     |     |     |     |
| Materia Flotante (3)          | Ausente  |                        |                                 |                           |                                  |   |                |               |                           |                         |   |                           |                        |                                 |                |   | Cianuros               | 1.0   | 3.0            | 1.0                              | 2.0                       | 1.0                     | 2.0   | 2.0                       | 3.0                    | 1.0                             | 2.0                       | 1.0                    | 2.0   | 1.0            | 2.0           | 2.0                       | 3.0                     | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 |
| Sólidos sedimentables (m/l)   | 1  | 2                      | 1                               | 2                         | 1                                | 2   | 1              | 2             | 1                         | 2                       | 1   | 2                         | 1                      | 2                               | 1              | 2   | 1                      | 2   | 1              | 2                                | 1                         | 2                       | N.A.  | N.A.                      | 1                      | 2                               |                           |                        |   |                |               |                           |                         |     |     |     |     |     |     |
| Sólidos Suspendidos Totales   | 150  | 200                    | 75                              | 125                       | 40                               | 60  | 75             | 125           | 40                        | 60                      | 150   | 200                       | 75                     | 125                             | 75             | 125   | N.A.                   | N.A.  | N.A.           | 75                               | 125                       |                         |   |                           |                        |                                 |                           |                        |   |                |               |                           |                         |     |     |     |     |     |     |
| Demanda Bioquímica de oxígeno | 150  | 200                    | 75                              | 150                       | 30                               | 60  | 75             | 150           | 30                        | 60                      | 150   | 200                       | 75                     | 150                             | 75             | 150   | N.A.                   | N.A.  | N.A.           | 75                               | 150                       |                         |   |                           |                        |                                 |                           |                        |   |                |               |                           |                         |     |     |     |     |     |     |
| Nitrogeno Total               | 40   | 60                     | 40                              | 60                        | 15                               | 25  | 40             | 60            | 15                        | 25                      | N.A.  | N.A.                      | N.A.                   | N.A.                            | 15             | 25  | N.A.                   | N.A.  | N.A.           | N.A.                             | N.A.                      |                         |   |                           |                        |                                 |                           |                        |   |                |               |                           |                         |     |     |     |     |     |     |
| Fósforo Total                 | 20   | 30                     | 20                              | 30                        | 5                                | 10  | 20             | 30            | 5                         | 10                      | N.A.  | N.A.                      | N.A.                   | N.A.                            | 5              | 10  | N.A.                   | N.A.  | N.A.           | N.A.                             | N.A.                      |                         |   |                           |                        |                                 |                           |                        |   |                |               |                           |                         |     |     |     |     |     |     |

(1) Instantáneo (2) Muestra Simple Promedio Domicilio (3) Asiente según al Método de Ducha deficiente en la NMX-AA-005. N.A. = No es aplicable (A), (B) y (C) Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos. (\*) Método de muestra total.

- pH de 5 a 10
- Para determinar la contaminación por patógenos: Coliformes Fecales, LMP para descargas a aguas y bienes nacionales y para las vertidas al suelo (riego agrícola):
  - 1000 NMP/100 ml como P.M.
  - 2000 NMP/100 ml como P.D.
- Para determinar la contaminación por parásitos: Huevos de Helminto, LMP para descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola):
  - 1 H.H. para riego no restringido (CUALQUIER CULTIVO)
  - 5 H.H. para riego restringido (excepto legumbres y verduras que se consumen crudas)

**NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL**

**NOM-002-SEMARNAT-1996**

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal

• Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C.

Los límites máximos permisibles para los parámetros DBO y SST son los establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997.



El rango permisible de pH de 10 y 5.5 unidades.

La materia flotante debe estar ausente.

No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos, considerados peligrosos, conforme a la regulación.

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES**

| Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | Promedio mensual | Promedio diario | Instantáneo |
|---|------------------|-----------------|-------------|
| Grasas y Aceites  | 50               | 75              | 100         |
| Sólidos sedimentables (mililitros por litro)                          | 5                | 7.5             | 10          |
| Arsénico total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cadmio total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cianuro total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Cobre total   | 10               | 15              | 20          |
| Cromo hexavalente   | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Mercurio total  | 0.01             | 0.015           | 0.02        |
| Níquel total  | 4                | 6               | 8           |
| Plomo total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Zinc total  | 6                | 9               | 12          |

**NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL**

**NOM-003-SEMARNAT-1997**

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público

• Con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.

**REUSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO**

Es el que se destina a actividades donde el público usuario está expuesto directamente o en contacto físico. Se consideran los siguientes reusos:

**Llenado de lagos y canales artificiales recreativos con:**



**REUSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL**

Es el que se destina a actividades donde el público en general está expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. Se consideran los siguientes reusos:

| TIPO DE REUSO   | PROMEDIO MENSUAL               |                        |                         |                         |            |
|---|--------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
|   | Coliformos Fecales (MPN/100ml) | Hechos de Hambre (b/v) | Grasas y aceites (mg/l) | DBO <sub>5</sub> (mg/l) | SST (mg/l) |
| Servicios al público con contacto directo               | 240                            | ≤ 1                    | 15                      | 20                      | 20         |
| Servicios al público con contacto indirecto u ocasional | 1,000                          | ≤ 5                    | 15                      | 30                      | 30         |

• La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada.  
• El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1996.

**PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA**

| PARÁMETRO                      | ABREVIACIÓN   | IMPORTANCIA   |
|--------------------------------|---|---|
| Sólidos totales                | ST  | Para evaluar el tipo potencial de un agua residual y residual tratada y determinar el posible tipo de operación o proceso para su tratamiento.  |
| Sólidos volátiles totales      | SVT   |   |
| Sólidos fijos totales          | SFT   |   |
| Sólidos suspendidos totales    | SST   |   |
| Sólidos suspendidos volátiles  | SSV   |   |
| Sólidos suspendidos fijos      | SSF   |   |
| Sólidos disueltos totales      | SDT   |   |
| Sólidos disueltos volátiles    | SDV   |   |
| Sólidos sedimentables          | SSed  |   |
| Turbiedad                      | TU  |   |
| Color                          | CO  | • Para evaluar las condiciones del agua.  |
| DBO                            | DBO   | • Para determinar si el agua puede ser biodegradable.   |
| Temperatura                    | TEMP  | • Es importante en el diseño y operación de procesos de tratamiento biológico.  |
| Conductividad                  | CE  | • Empleada para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.   |
| Amoníaco libre                 | NH <sub>4</sub> -N  | Empleados como una medida de nutrientes presentes y del grado de descomposición en el agua residual. Las formas oxidadas pueden ser tomadas como una medida del grado de oxidación.   |
| Nitrógeno orgánico             | N Org   |   |
| Nitrógeno total Kjeldahl       | NTK   |   |
| Nitratos                       | NO <sub>3</sub>   |   |
| Nitrosos                       | NO <sub>2</sub>   |   |
| Nitrógeno total                | NT  |   |
| Fósforo inorgánico             | P Inorg   |   |
| Fósforo total                  | PT  |   |
| Fósforo orgánico               | P Org   |   |
| pH                             | pH  |   |
| Alcalinidad                    | ALC   | • Una medida de la capacidad de amortiguamiento del agua en un proceso de tratamiento.  |
| Cloruro                        | Cl  | • Empleada para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.   |
| Sulfato                        | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>   | • Para evaluar la potencialidad de generar olores y su impacto en el tratamiento de lodos residuales.   |
| Metales                        | Ag, As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mn, Hg, Ni, K, Mo, Ni, Se, Na, Zn | • Para evaluar la posibilidad de reuso del agua residual tratada y sus efectos tóxicos en el tratamiento. Concentraciones traza pueden ser importantes para el desarrollo de los microorganismos en un tratamiento biológico. |
| Demanda bioquímica de oxígeno  | DBO   | • Cantidad de oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica biodegradable.   |
| Demanda química de oxígeno     | DQO   | • A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO. Puede ser usado junto con la DBO para determinar la materia orgánica no biodegradable.   |
| Carbón orgánico total          | COT   | • A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO.  |
| Toxicidad                      | TOX   | • Toxicidad aguda o crónica ocasionada por presencia de metales o COV.  |
| Compuestos orgánicos volátiles | COV   | • Para determinar la presencia de compuestos orgánicos específicos y evaluar si se necesitan medidas especiales de diseño para su remoción.   |
| Organismos coliformes          | CT, CF  | • Para evaluar la presencia de bacterias patógenas y la efectividad del proceso de desinfección.  |
| Microorganismos específicos    | Bacterias, protozoarios, helmintos, virus                             | • Evaluación de la presencia de organismos específicos en un proceso de tratamiento biológico.  |

**Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados**

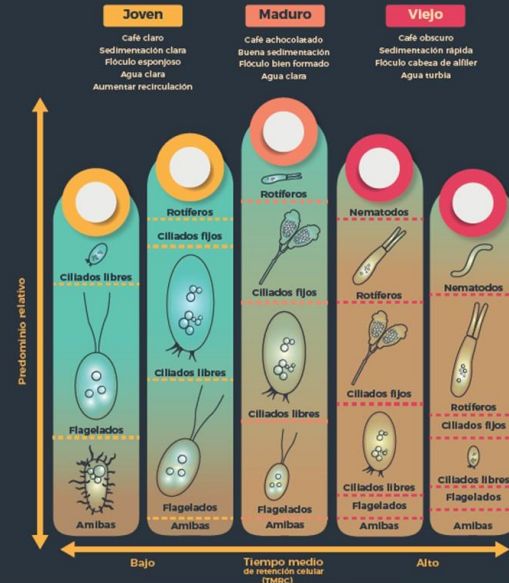






Figura 468. Infografías.

En el Manual de ejercicios prácticos (Figura 259) se presentan una serie de ejercicios prácticos que están clasificados por niveles, de tal manera que el

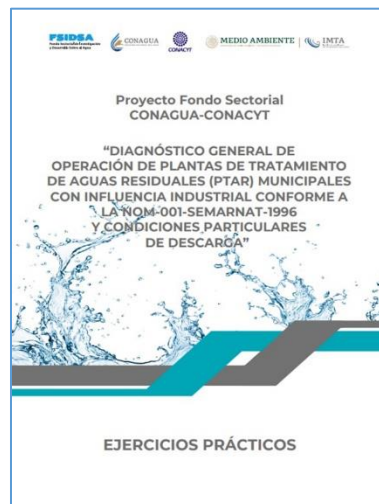
operador podrá resolverlos inicialmente por él mismo. Posteriormente, la complejidad de los ejercicios le requerirá hacer uso de materiales de apoyo, o recurrir a sus colegas para dar una solución adecuada, y finalmente en un nivel superior, para poder resolver el ejercicio tendrá que recurrir a la ayuda del instructor.

Para la ejecución de estos ejercicios se hará uso de:

- Preguntas de opción múltiple
- Preguntas directas
- Presentación de problemas operacionales
- Preguntas de reflexión, con problemas que desde un punto de vista pueden presentar múltiples interacciones entre los procesos.

Estos ejercicios están relacionados a su vez con conocimientos generales, teóricos y prácticos de la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por lo anterior, lo que pretende este manual es que el operador al final cuente con los conocimientos que le permita discernir los niveles de problemas operacionales que se pueden presentar en una PTAR y, a su vez, tener una herramienta que le permita jerarquizarlos para obtener la mejor y correcta solución.

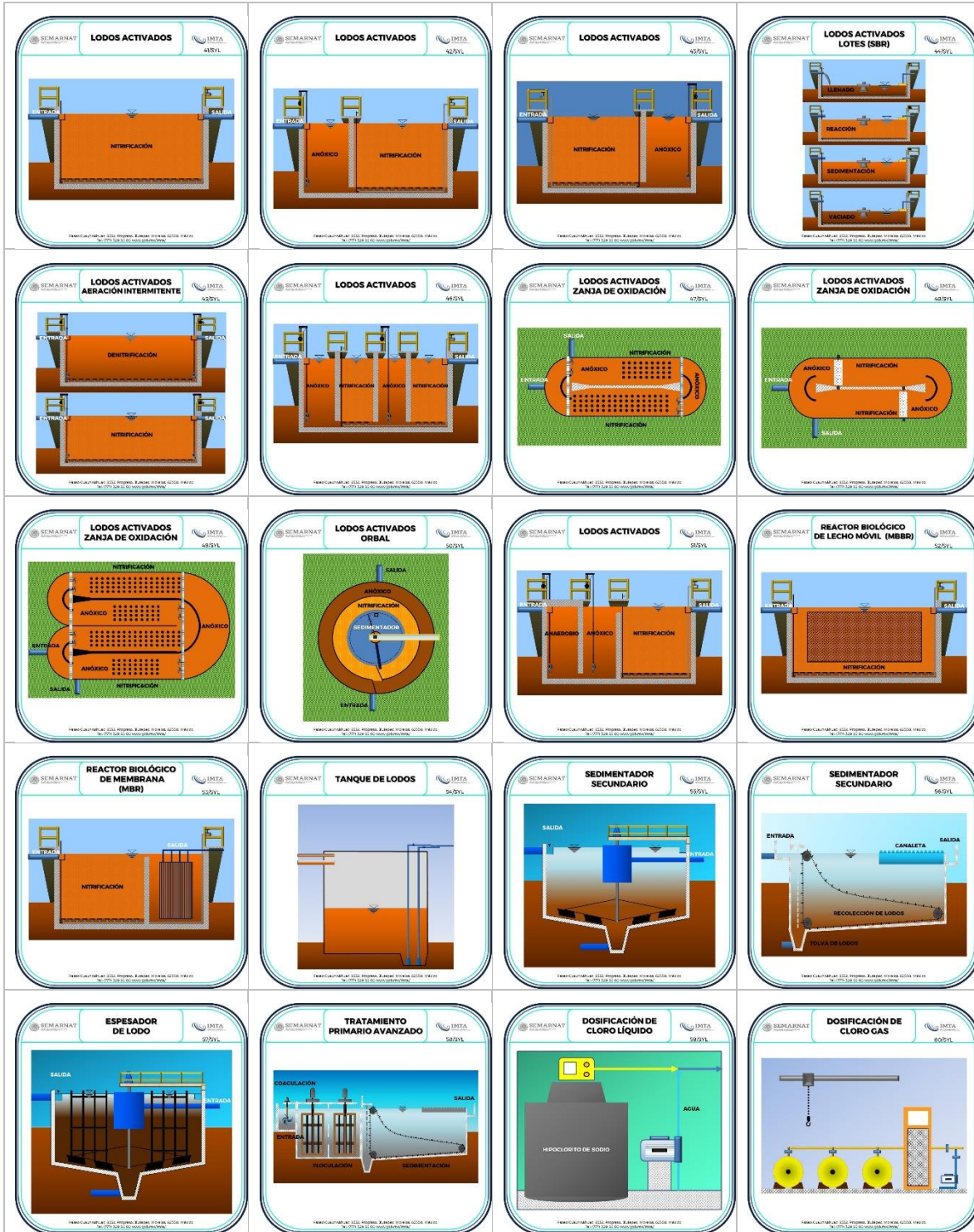


**Figura 469. Manual de ejercicios prácticos.**

Este manual va acompañado de un kit de imágenes (Figura 260) que representan todos los posibles procesos que pueden estar presentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.







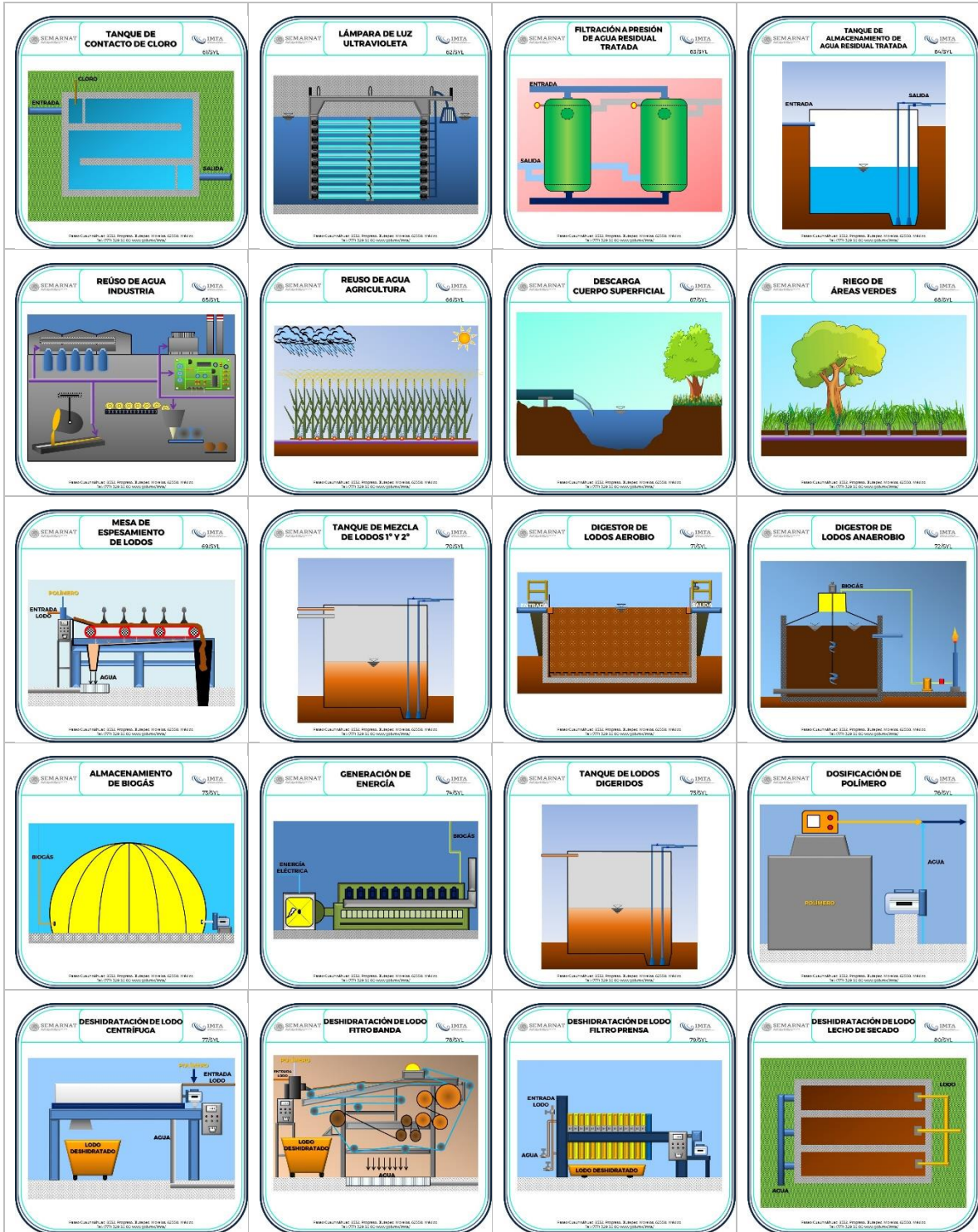




Figura 470. Kit de figuras.

## 22 SEGURIDAD E HIGIENE

De acuerdo con el FORMATO 15. SEGURIDAD E HIGIENE (Anexo I), se tiene que las zonas de riesgo están relacionadas con riesgo por inundación, explosión, incendio por químicos, accidentes por derrames, sanitario, riesgo de caídas, eléctricos y riesgos de explosiones por gas metano y accidentes por manejo de equipos pesados.

En pretratamiento en el momento del recorrido se observaron que hay barandales de protección nuevos y por trabajo de rehabilitación habían colocado las cintas de precaución (Figura 471).



**Figura 471. Reparación**

En el área de pretratamiento, por la cercanía al río San Pedro existe la posibilidad de riesgo de inundación.

En cuanto a disturbios se indica que si se ha presentado un incidente en la entrada a la PTAR por personas que han querido conocer las instalaciones sin haber realizado una solicitud previa.

En cuanto a la señalización se observaron pocas y están colocadas principalmente en los edificios y en el de equipo eléctrico (Figura 472). Tienen señalización del proceso a seguir en caso de sismos o de incendios





**Figura 472. Señalización**

Asimismo, cuentan con extintores ubicados en áreas en donde se identifican posibles riesgos de incendio (Figura 473).



**Figura 473. Extintores**

Cuentan con botiquín para primeros auxilios.



**Figura 474. Botiquín**

No se tiene estudios de análisis de riesgos en la PTAR, pero indican que cuentan con planes para atender contingencias, como la señalización y simulacros.

Inagua capacita al personal al contratarlo y como medida preventiva se capacitan una vez al año con una semana de duración.

Dentro de la organización de la planta indican que cuentan con brigadas de evacuación, primeros auxilios, prevención y combate de incendios, búsqueda y rescate y de comunicación, no tienen brigada para atender derrames químicos (Figura 475 y Figura 476).

del régimen del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Empleados Incorporados al Estado de Aguascalientes en vigor; mismas que tendrán como funciones y obligaciones las establecidas en el Reglamento mencionado del cual se manifiestan sabedores desde ahora, firmando para los efectos de constancia.

|                                     |   |   |  |
|-------------------------------------|---|---|--|
| <b>BRIGADA DE EVACUACIÓN</b>        |   | <b>BRIGADA DE PREVENCIÓN Y COMBATE DE INCENDIOS</b> |  |
| Jefe de Brigada:                    | SALU ADAME CARREÓN <i>[Firma]</i>             | Jefe de Brigada:                                    | EDGAR IVAN SALAS GUERRERO <i>[Firma]</i>       |
| Brigadista:                         | RAFAEL GALLEGOS PASILLAS <i>[Firma]</i>       | Brigadista:   | JORGE ENRIQUE SÁNCHEZ NAVARRO <i>[Firma]</i>   |
| Brigadista:                         | JUAN LÓPEZ VELASCO <i>[Firma]</i>             | Brigadista:   | TOMAS MOTTU RODRÍGUEZ <i>[Firma]</i>           |
| Brigadista:                         | MANUEL MONTOYA SOTO <i>[Firma]</i>            | Brigadista:   | J. REFUGIO ALMAGUER RAMÍREZ <i>[Firma]</i>     |
| <b>BRIGADA DE PRIMEROS AUXILIOS</b> |   | <b>BRIGADA DE BUSQUEDA Y RESCATE</b>                |  |
| Jefe de Brigada:                    | DIONICIO LÓPEZ GARCÍA <i>[Firma]</i>          | Jefe de Brigada:                                    | PABLO ANTONIO ESPARZA GUTIERREZ <i>[Firma]</i> |
| Brigadista:                         | JUAN MANUEL ESPARZA CASTILLO <i>[Firma]</i>   | Brigadista:   | FRANCISCO ISIDORO HEJÍA DURÁN <i>[Firma]</i>   |
| Brigadista:                         | LUCIANO ALMAGUER RAMÍREZ <i>[Firma]</i>       | Brigadista:   | MARTÍN GUILLEN GARCÍA <i>[Firma]</i>           |
| Brigadista:                         | LUIS ROBERTO RODRÍGUEZ SALAZAR <i>[Firma]</i> | Brigadista:   | GUSTAVO ADOLFO MEDINA HERNÁNDEZ <i>[Firma]</i> |
| <b>BRIGADA DE COMUNICACIÓN</b>      |   |   |  |
| Jefe de Brigada:                    | JOSÉ LUIS VILLANUEVA ALMARAZ <i>[Firma]</i>   |   |  |
| Brigadista:                         | JUAN ANDRÉS VELOZ SUJAITA <i>[Firma]</i>      |   |  |
| Brigadista:                         | MARÍA ROMO JAUREGUI <i>[Firma]</i>            |   |  |
| Brigadista:                         | FRIDA ARLETTE SANTOS MARTÍNEZ <i>[Firma]</i>  |   |  |

Figura 475. Personal de los equipos de brigadas



**Figura 476. Jefes de los equipos de brigadas**

En caso de un accidente o emergencia la atención hospitalaria se encuentra de 5 a 7 km, que pueden ser de 20 a 30 minutos aproximadamente en la Clínica No. 1.

Se tiene una señalización que indica un número en caso de emergencia



**Figura 477. Número de emergencia**

El personal cuenta con el equipo de protección de seguridad básico para realizar las actividades y en caso de que la actividad requiera mayor protección utilizan equipo de seguridad recomendado, como es el uso de arnés, guía, fajas, audífonos, máscara con filtro.



**Figura 478. Equipo para actividades de mayor riesgo**

## 23 LABORATORIO

La PTAR cuenta con un laboratorio de análisis. Tienen dos personas I.Q. María Romo y Frida Arlette Santos Martínez, Lic. en ciencias ambientales que realizan las actividades en laboratorio.

El laboratorio es pequeño (Figura 479), en la misma área se encuentra un espacio utilizado para el almacén de los insumos, se observaron las instalaciones, limpias y en buen estado sin embargo la regadera no funciona, se encuentra tapada la coladera (Figura 482).



**Figura 479. Laboratorio de la PTAR**

Durante el recorrido en el laboratorio se identificaron grietas en la pared Figura 480.



**Figura 480. Pared con grietas**

El equipo con el que se cuenta es adecuado para realizar los análisis como se presenta en la Figura 481.



**Figura 481. Instrumentos en el laboratorio**





**Figura 482. Regadera fuera de servicio, obstruida**

Se identificaron señalizaciones de ruta de evacuación, uso de equipo de protección de laboratorio, botiquín y extintor.





**Figura 483. Señalización**

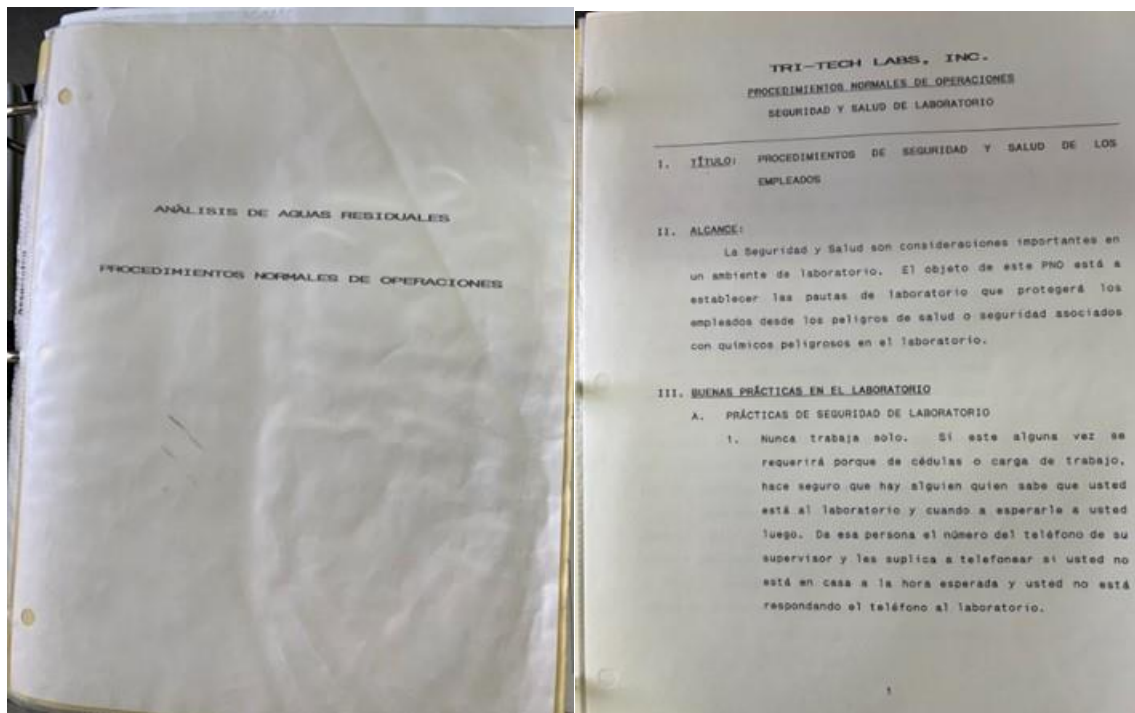
Como medidas de seguridad tienen botiquín y lava ojos en caso de accidentes.

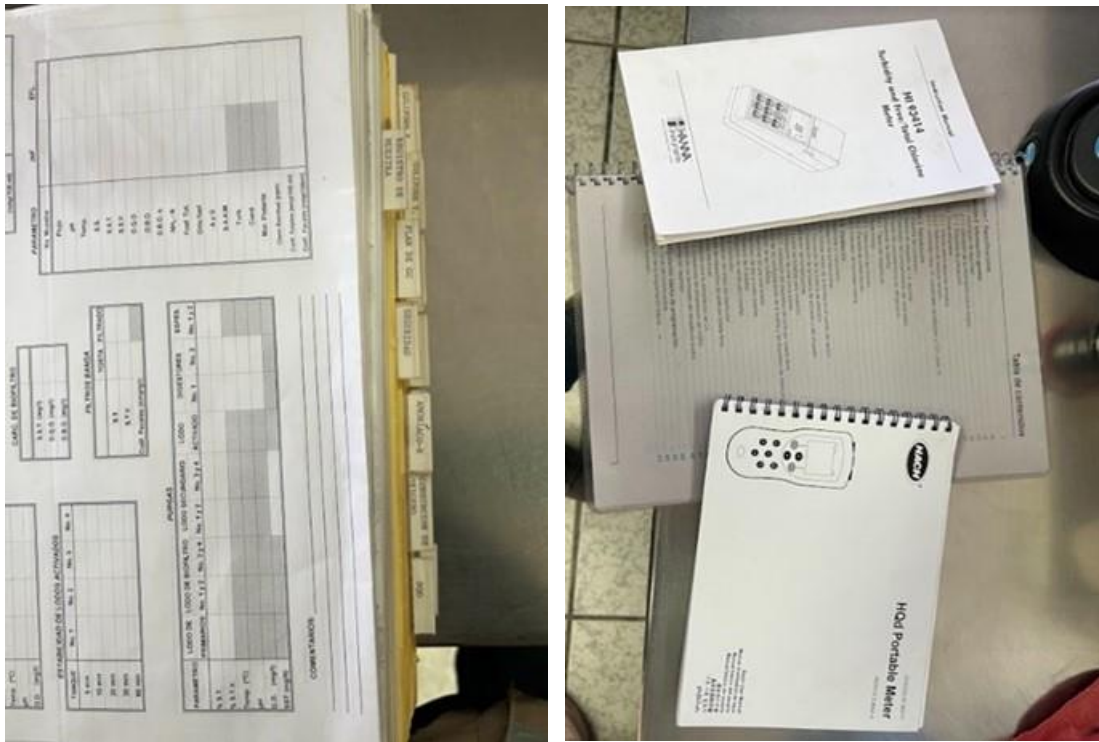




Figura 484. Botiquín y lava ojos

Sobre la documentación, tienen manuales de procedimientos, de análisis de laboratorio de equipos y de BPL, las hojas de datos de seguridad de reactivos y sustancias químicas las conserva Inagua, el personal de laboratorio de la PTAR solo recibe los reactivos.





**Figura 485. Carpeta de procedimientos y manuales en laboratorio**



**Figura 486. Personal de laboratorio**

El laboratorio y los muestreadores no están certificados, María Romo Jauregui en el 2021 tomó el curso: “Tratamiento, Aprovechamiento y/o Disposición de Lodos Biológicos de las PTAR’S” y Frida Arlette Santos Martínez tomó el curso: “Gestión y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales” (Figura 487).



**Figura 487. Constancias de cursos tomados**



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



Los análisis que realizan a la PTAR son SST, SSV, SSED, Ph, Temp, DBO, DQO, NT, GyA, AGVs, Coliformes fecales, Detergentes, Alcalinidad, Conductividad, Sulfuros, fósforos totales, cloruro residual, % Solidos en lodos.

## 24 CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR

### 24.1 Causas

Para poder ponderar las causas que influyen de manera negativa en el desempeño de la PTAR, se hace uso de una clasificación que consta de tres niveles de impacto, a saber:

#### Nivel I

Son los que presentan un mayor efecto y con problemas físicos difíciles de resolver de las unidades de proceso más importantes.

#### Nivel II

Son los que contribuyen rutinariamente al bajo desempeño o producen mayores efectos en una base periódica o estacional.

#### Nivel III

Son los que presentan mínimos efectos, fáciles y económicos de resolver, normalmente de operación y administración.

Así, tomando como base la información obtenida de los capítulos anteriores, y la clasificación de las causas que influyen en el desempeño de la PTAR, se elabora la Tabla 37.

**Tabla 173. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR**

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño  | Atención      |
|-----|-------|--|---------------|
| 1   | I     | Rotura de tubería de alimentación de agua cruda a sedimentadores primarios | Corto Plazo   |
| 1   | II    | Desarenadores fuera de operación   | Mediano Plazo |
| 1   | III   | Sistema de difusores dañados   | Mediano Plazo |
| 2   |       | Rejillas fuera de operación  | Mediano Plazo |
| 3   |       | Falta de un programa de mantenimiento preventivo                           | Mediano plazo |
| 4   |       | Capacitación al personal de operación                                      | Mediano plazo |

## 24.2 Descripción de la causa y recomendaciones

### 24.2.1 Nivel I

| Causa  | Recomendación  |
|--|--|
| <p><b>1. Rotura de tubería de alimentación de agua cruda a sedimentadores primarios</b></p> <p>La tubería de interconexión presentó un desgaste extremo, por lo que existió una gran fuga de agua residual.</p> <p>Por lo anterior, el agua residual está siendo bombeada directamente a los filtros percoladores con una gran carga de sólidos, los cuales han saturados a los sedimentadores intermedios, ya que no están diseñados para estas condiciones de operación.</p> | <p>Actualmente se está llevando a cabo la instalación de una nueva tubería de interconexión.</p> |

### 24.2.2 Nivel II

| Causa   | Recomendación   |
|---|---|
| <p><b>1. Desarenadores fuera de operación</b></p> <p>Se cuenta con tres desarenadores, de los cuales dos están fuera de operación por falta de refacciones, por lo que el flujo de agua solo pasa por uno, rebasando la carga de arenas permitido por diseño.</p> <p>Durante la visita se observó un sinfín de recolección de arena rehabilitado.</p> | <p>Presupuestar las refacciones necesarias para poner en operación los dos desarenadores.</p> |



| Causa   | Recomendación |
|---|---------------|
|  <p data-bbox="248 747 784 821"><b>Figura 488. Sin fin de recolección de arena rehabilitados</b></p> |               |

### 24.2.3 Nivel III

| Causa  | Recomendación   |
|--|---|
| <p data-bbox="237 1056 756 1092"><b>1. Sistema de difusores dañados</b></p> <p data-bbox="237 1113 797 1497">Si bien, no se observan demasiados difusores dañados hasta el momento, en los cuatro reactores, se puede esperar que con el tiempo se incrementen, y entonces se tengan problemas por transferencia de oxígeno en los reactores biológicos, y por ende una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica y nitrificación.</p> <p data-bbox="237 1518 797 1591">Lo anterior, puede ser debido a que han llegado a su tiempo de vida útil.</p> | <p data-bbox="821 1113 1377 1339">Vaciar los reactores biológicos y realizar una inspección de los difusores y evaluar si se requiere cambiar los que presenten desgaste o daño, o un cambio total del sistema de difusión.</p> |
| <p data-bbox="237 1610 708 1646"><b>2. Rejillas fuera de operación</b></p> <p data-bbox="237 1667 797 1814">Dos unidades de rejillas automáticas Dorr Oliver presentan un nivel de oxidación elevado, por lo que están fuera de operación.</p>   | <p data-bbox="821 1667 1377 1814">Como primer paso, explorar si es factible reponer las partes oxidadas y su costo. Si es muy alto, será necesario remplazarlas.</p>  |

| <b>Causa</b>   | <b>Recomendación</b>   |
|--|--|
| <p><b>3. Falta de un programa de mantenimiento preventivo</b></p> <p>Se observó que no se cuenta con un programa de mantenimiento preventivo, los registros indican solo reparaciones.</p>   | <p>Elaborar un programa preventivo y presupuestar los recursos económicos para la adquisición de los recursos materiales necesarios, herramientas y refacciones.</p>   |
| <p><b>4. Capacitación al personal de operación</b></p> <p>La planta cuenta con alrededor de 32 operadores, de los cuales solo 15 entregaron su diagnóstico por escrito, lo cual pone de manifiesto su temor a ser señalados por su falta de conocimientos técnicos, aunque es importante reconocer que conocen bastante bien la planta de tratamiento.</p> <p>Si bien, para subsanar un poco esta problemática, se les proporcionó material didáctico que consistió en manuales técnicos e infografías.</p> <p>En pláticas con personal de operación, se pudo constatar el interés que muestran por saber y entender técnicamente cómo se desarrolla el proceso de lodos activados, sin embargo, algunos comentan que nunca han recibido capacitación.</p> | <p>Realizar obligatoriamente un diagnóstico a todo el personal que esté involucrado en la operación y control, de la planta de tratamiento.</p> <p>De acuerdo al diagnóstico, elaborar un programa que establezca que personal requiere de capacitación a corto, mediano y largo plazo.</p> <p>Elaborar temarios de acuerdo a los resultados del diagnóstico.</p> <p>Elaborar un programa de capacitación.</p> <p>De preferencia que los grupos de capacitación como máximo sean de 15 personas y que los cursos en su mayoría cuenten con al menos un 60% de prácticas.</p> |

## 25 RESUMEN

La PTAR de la Ciudad de Aguascalientes tiene un proceso secundario de tipo dual, que consiste en tratamiento primario, filtros percoladores, sedimentadores intermedios, lodos activados en modalidad convencional y sedimentador secundario y consta de 4 trenes de tratamiento de aguas residuales, con una capacidad de 500 L/s cada uno.

El agua residual tratada se reúsa en riego de camellones, parques recreativos y deportivos, en la agricultura y en futuro próximo en la industria.

### 1. Título de concesión de descarga

- a) El título de concesión de la descarga tiene una prórroga hasta noviembre de 2023.

### 2. Memoria de cálculo

- a) Los cálculos del pretratamiento son correctos.
- b) Los cálculos de los sedimentadores secundarios son correctos.
- c) En los filtros percoladores los cálculos que corresponden al nitrógeno y fósforo considera una DBO de 180 cuando es de 290 mg/L. Por lo que, a partir de este punto todo el balance de estos elementos está mal.
- d) Los cálculos de los sedimentadores intermedios son correctos.
- e) El proceso de lodos activados es de modalidad convencional y de acuerdo a la memoria de cálculo solo oxidará materia carbonácea, sin embargo, en la práctica también nitrifica.
- f) Se establece que no habrá nitrificación por lo que solo se calcula la demanda de oxígeno para oxidar materia de carbono. No se presenta justificación.
- g) En el cálculo de requerimiento de oxígeno se presentan cuatro diferentes formas de obtenerlo (no hay referencia del origen de las ecuaciones) y al final se toma la que proporciona una mayor demanda.
- h) En el punto de requerimiento de oxígeno estándar (SOR), el cálculo de la variable “ $\zeta$ ” se determinó de forma errónea, al no considerar adecuadamente la variable “ $C*20$ ”. Esto se refleja en el valor final 43 038.89 kg/d con el calculado 52 632.38 kg/d.
- i) No existe justificación del número de difusores para la aeración escalonada.

- j) En los sedimentadores secundarios en la carga de sólidos media se consideró una concentración de 4 000 mg/L de SST, cuando el valor correcto es de 2 700 mg/L.
- k) No se presentan los cálculos del tanque de cloración ni de la ampliación.

### **3. Información histórica de la calidad del agua**

- a) El periodo de análisis comprende al año de 2021.
- b) Considerando que el agua residual tratada es empleada para el riego de áreas verdes, y reúso en la agricultura todos los parámetros que cumplen con las Condiciones Particulares de Descarga y la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- c) De igual modo para la NOM-001-SEMARNAT-2021 todos cumplirían a excepción del NT.
- d) Solo se proporcionó información de 2021 del caudal que ingresa a la PTAR, y éste está comprendido entre los 1,000 y 2,000 L/s, con un promedio de 1,500 L/s, lo que representa de un 75% de caudal de diseño (2,000 L/s). Por lo que la planta estuvo subutilizada.

### **4. Información del proceso**

- a) Se proporcionó información de los años año 2019 y 2020.
- b) El caudal en el periodo de estudio fue de 1,100 a 2,100 L/s, con un promedio de 1,600 L/s. Lo que muestra que en ocasiones es subutilizada la PTAR.
- c) El hecho de que el pH de entrada sea mayor al de salida, indica que el proceso de lodos activados realiza bien la nitrificación.
- d) Los parámetros que son determinados en el laboratorio de la PTAR cumplen con las CPD, con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021. Sin embargo, los coliformes fecales, en algunas fechas, están reportados por arriba del LMP establecido en las CPD y en la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- e) Los valores de la relación DBO/DQO va de 0.3 a 0.5, lo que hace suponer que si existe una influencia industrial.

### **5. Manual de operación**

- a) La PTAR cuenta con un manual de operación, y en cada uno de los capítulos se hace una descripción de las unidades, detallando en algunos casos sus dimensiones y características de equipos

electromecánicos, cuál es su objetivo y algunas recomendaciones de operación.

- b) Cuenta con “Anexos”, donde se describen conceptos de parámetros de control y como se calculan.
- c) Cuenta con un apartado de procedimientos de registro, sin embargo, solo se describe lo que se tiene que registrar, pero no se dan ejemplos de cómo deben ser los formatos a utilizar para el registro de datos o actividades.
- d) NO es claro de cómo se debe operar cada una de las unidades de proceso que conforman la PTAR.

## **6. Reportes de operación**

- a) Existen reportes con los siguientes títulos; Pretratamiento, Tratamiento, Tratamiento Biológico y de Encargado de Turno.
- b) No se cuenta con formatos específicos de control de proceso.
- c) La información solo es archivada y no se realiza un análisis o seguimiento, que en un futuro pueda dar indicios de cómo está siendo operada la PTAR.

## **7. Mantenimiento**

- a) No se proporcionó el programa de mantenimiento anual.
- b) Existe una bitácora de operación y reporte de fallas, en donde se registra el mantenimiento ocasional que se les llega a dar a los equipos electromecánicos.

## **8. Inspección de campo de la PTAR**

- a) Se encontró que algunos equipos del pretratamiento y desarenador se encuentran fuera de servicio, por lo que se requiere mantenimiento para poner la planta en punto.
- b) El sistema de sedimentación primaria no se encuentra funcionando debido a un colapso en la línea de alimentación, el cual ya se está atendiendo. Se observó que la falta de la sedimentación primaria provoco que los sólidos pasaran al sistema de tratamiento biológico, lo cual disminuyó la eficiencia del tratamiento.

## **9. Muestreo**

- a) Se realizó un muestreo compuesto de 24 h al influente y efluente general de la PTAR, considerando los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996, de la NOM-001-SEMARNAT-2021 y las CPD.
- b) El caudal de operación de la PTAR se encuentra entre 1,160 y 1,901 L/s con un promedio de 1705.83 L/s.
- c) Se encontró que la concentración de GyA, NT, CF y *E. coli* sobrepasan los límites permisibles de las normas y las CPD. El resto de los parámetros cumplen las normativas aplicables para descarga a cuerpo receptor tipo A (1996) y ríos, arroyos y canales (2021).
- d) Los Trenes de tratamiento presentan mayor remoción de DQO y SST en el sistema de lodos activados y de DBO<sub>5</sub> en los biofiltros. Las remociones globales de DQO se encuentran entre 85 a 92% mientras que la remoción de DBO<sub>5</sub> se encuentra entre 81 y 83%.
- e) No se presenta remoción de NT en los trenes de tratamiento.

## 10. Determinaciones de campo

- a) La sedimentación en los reactores de LA es muy lenta y pobre. Se encontró que el IVL se encuentra fuera del rango recomendable en los Trenes de tratamiento.
- b) Al contar con una aeración escalonada y con el control de suministro de aire, se observa una pequeña tendencia de descenso de OD en los reactores. Sin embargo, el residual de OD está dentro de lo recomendado.
- c) En los cuatro reactores biológicos existe una tendencia de disminución del pH, por lo que se puede establecer que el proceso de nitrificación se está desarrollado adecuadamente.
- d) En el punto identificado como "28 m", los valores de pH no tienen una variación significativa, lo que hace suponer que el proceso de nitrificación ha concluido, esto es, todo el nitrógeno amoniacal ha sido transformado a nitrógeno de nitratos.

## 11. Influencia industrial

- a) No se cuenta con información sobre el aporte industrial que tienen las aguas residuales que llegan a la PTAR Aguascalientes.
- b) La relación DBO<sub>5</sub>/DQO en el influente es 0.4 de acuerdo con el muestreo realizado y entre 0.3 y 0.5 de acuerdo con los datos históricos, lo que hace suponer que si existe una influencia industrial.

## **12. Evaluación de conocimientos**

- a) Solo 19 de los 32 operadores contestaron la evaluación de conocimientos, de los cuales el 50% presenta conocimientos básicos generales de la PTAR y 50% conocimientos deficientes.
- b) El personal cuenta con experiencia en la PTAR por lo que la conocen bien.
- c) Los operadores y jefe de operación reciben capacitaciones, sin embargo, éstas están enfocadas principalmente en cuestiones de seguridad.

## **13. Seguridad**

- a) Se cuenta con señalizaciones de seguridad principalmente en los edificios, en el resto de las instalaciones de la PTAR los señalamientos son mínimos.
- b) Existe riesgo de inundación por la cercanía al río San Pedro.
- c) No se cuenta con estudios de análisis de riesgo, pero se tienen planes para atender contingencias y se encuentran organizados por brigadas.
- d) El personal de la PTAR cuenta con equipo de protección personal básico para realizar sus actividades diarias.

## **14. Laboratorio**

- a) La PTAR cuenta con laboratorio de análisis en el que se le da seguimiento a la operación de la PTAR. Entre los análisis que realizan se encuentran SST, SSV, parámetros de campo, DBO, DQO, NT, GyA, CF, detergentes, PT y cloro residual.
- b) Las instalaciones del laboratorio se encuentran en buen estado.

## **15. Causa que limitan el desempeño de la PTAR**

- a) Rotura de tubería de alimentación de agua cruda a sedimentadores primarios.
- b) Desarenadores fuera de operación.
- c) Sistema de difusores dañados.

## 26 CONCLUSIONES

La descarga de agua residual de la PTAR Aguascalientes cumple con los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-2021 y las CPD excepto para CF, *E. coli*, GyA y NT, esto debido principalmente a que los desarenadores y sedimentadores primarios se encuentran fuera de operación, lo que impacta en la eficiencia del resto del tratamiento.

Actualmente la PTAR se encuentra en trabajos de rehabilitación de la tubería colapsada que lleva el agua a los sedimentadores primarios, por lo que se esperaba que la eficiencia mejorara a corto plazo.

Las acciones que se necesitan para cumplir con el resto de los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-2021 son:

- a) Rehabilitar los desarenadores.
- b) Operar una zona anóxica al inicio de los sistemas de lodos activados y realizar una recirculación para permitir las condiciones necesarias para llevar a cabo la nitrificación-desnitrificación.
- c) Cambio de difusores rotos.
- d) Colocar la válvula de condensados de los reactores de lodos activados en la posición adecuada, ya que se encuentra al inicio del ramal.
- e) Limpieza de los sedimentadores secundarios con mayor frecuencia.
- f) Purgar y recircular los sedimentadores de acuerdo a los cálculos del sistema.
- g) Mantener un adecuado manto de lodos (1 m) en los sedimentadores intermedios.
- h) Reparar las fugas de los brazos rociadores de los BF para asegurar una distribución homogénea del flujo del agua residual.



| Nombre                          | Puesto  | Escolaridad  | Antigüedad   |              |
|---------------------------------|---|--------------|--------------|--------------|
|                                 |   |              | En la planta | En el puesto |
| <b>Personal administrativo</b>  |   |              |              |              |
| Everardo Castillo Torres        | Coordinador de la PTAR                                | Licenciatura | 19 años      | 5 meses      |
| Juan Manuel Esparza Castillo    | Auxiliar administrativo                               | Licenciatura | 1 año        | 1 año        |
| <b>Personal operativo</b>       |   |              |              |              |
| Dionicio López García           | Encargado de la Jefatura de operación de la PTAR      | Licenciatura | 27 años      | 7 meses      |
| Saúl Adame Carreón              | Encargado de la Jefatura de operación de Cogeneración | Secundaria   | 27 años      | 5 meses      |
| Jorge Enrique Sánchez Navarro   | Jefe de Turno   | Secundaria   | 27 años      | 2 años       |
| Pablo Antonio Esparza Gutiérrez | Jefe de Turno   |              | 2 años       | 2 años       |
| Juan Carlos Muñoz González      | Jefe de Turno   | Secundaria   | 25 años      | 2 años       |
| Miguel Ángel Rivera Rosales     | Jefe de Turno   | Secundaria   | 2 años       | 2 años       |
| Luis Roberto Rodríguez Salazar  | Operador  | Secundaria   | 2 años       | 2 años       |
| Luis Rafael Gallegos Aguilera   | Operador  |              | 2 años       | 2 años       |
| Ismael Mauricio Domínguez       | Operador  | No           |              | 2 años       |
| Jesús Valtierra Díaz            | Operador  |              | 1.5 años     | 1.5 años     |
| Tomas Mottu Rodríguez           | Operador  | Licenciatura | 26 años      | 2 años       |
| Iván Guadalupe Zermeño Martínez | Operador  | Secundaria   | 2 años       | 2 años       |

| Nombre                           | Puesto   | Escolaridad  | Antigüedad   |              |
|----------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|
|                                  |          |              | En la planta | En el puesto |
| Refugio Rangel Guevara           | Operador | Secundaria   | 2 años       | 2 años       |
| Francisco Isidoro Mejía Duran    | Operador | Bachillerato | 2 años       | 2 años       |
| Luciano Almaguer Ramírez         | Operador | Secundaria   |              | 2 años       |
| José Luis Pérez Santiago         | Operador |              | 27 años      | 27 años      |
| Eduardo Romo Silva               | Operador | Secundaria   | 2 años       | 2 años       |
| Ismael Mauricio Navarro          | Operador | Secundaria   | 5 años       | 5 años       |
| Carlos Montoya Soto              | Operador |              | 20 años      | 7 meses      |
| Ismael Rivera Rosales            | Operador | Primaria     | 24 años      | 24 años      |
| José Sergio Sigüenza Macías      | Operador | Primaria     | 20 años      | 20 años      |
| Juan Andrés Veloz Sustaita       | Operador | Secundaria   | 2 años       | 2 años       |
| Jorge Macías Martínez            | Operador | Secundaria   | 2 años       | 2 años       |
| Alejandro Macías Salce           | Operador | Secundaria   | 2 años       | 2 años       |
| José de Jesús Aguilar Mendoza    | Operador |              | 25 años      | 25 años      |
| Victor Manuel Sotelo Rangel      | Operador | Bachillerato | 16 años      | 16 años      |
| Juan Carlos Martínez Sosa        | Operador | Secundaria   | 2 años       | 2 años       |
| Manuel Montoya Soto              | Operador | Secundaria   | 25 años      | 25 años      |
| Juan López Velasco               | Operador | Secundaria   | 21 años      | 21 años      |
| J Refugio Almaguer Ramírez       | Operador | Secundaria   | 27 años      | 2 años       |
| Rafael Gallegos Pasillas         | Operador |              | 2 años       | 2 años       |
| Pedro Adame Galviz               | Operador | Secundaria   | 27 años      | 27 años      |
| <b>Personal de mantenimiento</b> |          |              |              |              |

| Nombre                          | Puesto                                 | Escolaridad  | Antigüedad   |              |
|---------------------------------|--|--------------|--------------|--------------|
|                                 |  |              | En la planta | En el puesto |
| José Luis Villanueva Almaraz    | Encargado de Jefatura de Mantenimiento | Bachillerato | 2 años       | 2 años       |
| Sergio Cortez Cervantes         | Electromecánico                        | Secundaria   | 27 años      | 24 años      |
| Edgar Iván Salas Guerrero       | Electromecánico                        | Bachillerato | 2 años       | 2 años       |
| Alfredo Quiroz Izquierdo        | Auxiliar                               | Bachillerato | 2 años       | 2 años       |
| Salvador López                  | Auxiliar                               | Primaria     | 25 años      | 25 años      |
| Martín Guillen García           | Auxiliar                               | Primaria     | 2 años       | 2 años       |
| Gustavo Adolfo Medina Hernández | Auxiliar                               | Primaria     | 15 años      | 8 años       |
| <b>Personal de laboratorio</b>  |  |              |              |              |
| María Romo Jauregui             | Encargado de laboratorio               | Licenciatura | 26 años      | 24 años      |
| Frida Arlette Santos Martínez   | Laboratorista                          | Licenciatura | 4 años       | 4 años       |
|                                 |  |              |              |              |
| <b>Otros puestos</b>            |  |              |              |              |
| Mario Escalante Becerra         | Jardinería                             | Secundaria   | 20 años      | 20 años      |
| Catarino Escalante Becerra      | Jardinería                             | Secundaria   | 15 años      | 15 años      |
| Abraham López Velasco           | Jardinería                             | No           | 6 años       | 6 años       |
| Jesús Montoya Fuentes           | Jardinería                             | Primaria     | 5 años       | 5 años       |
| Carlos Ramírez Zarate           | Chofer lodos                           | Secundaria   | 2 años       | 2 años       |
| Pedro Vázquez López             | Chofer lodos                           | Secundaria   | 2 años       | 2 años       |
| David de Jesús Silva Ávila      | Llenado de pipas                       | Bachillerato | 20 años      | 24 años      |
| Julio Alberto Torres Ramírez    | Llenado de pipas                       | Bachillerato | 2 años       | 2 años       |


| Nombre                        | Puesto  | Escolaridad | Antigüedad   |              |
|-------------------------------|---------|-------------|--------------|--------------|
|                               |         |             | En la planta | En el puesto |
| Juan Antonio Magallanes Reyes | Comodín | Secundaria  | 2 años       | 2 años       |
| Juan Enrique Magallanes Reyes | Comodín | Secundaria  | 2 años       | 2 años       |



Anexo I.Formato 15. Seguridad e Higiene


|                   |                           |
|-------------------|---------------------------|
| Nombre de la PTAR | <b>Cd. Aguascalientes</b> |
|-------------------|---------------------------|

<https://drive.google.com/drive/folders/1-6u21b5iRoDiidcmp8OihW8rFaDoBj0a>

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Responsable de seguridad e higiene | <b>Es a nivel de Inagua, en PTAR Dionicio López García</b> |
|------------------------------------|--|

| Zonas de riesgo en PTAR |   |   |
|-------------------------|---|---|
| Evento                  | Zona de riesgo  | Fotografía  |
| Sismo                   | <b>Si</b>   |   |
| Inundación              | <b>Si, en pretratamiento por la cercanía al Río San Pedro</b>                       |  |
| Nivel cerámico          |   |   |
| Explosión               | <b>Si, cloro</b>  |   |
| Incendio                | <b>Si, cloro</b>  |   |
| Disturbio               | <b>Si, en la entrada, al querer entrar a conocer la planta sin solicitud previa</b> |   |
| Derrame                 | <b>Si, cloruro ferroso</b>  |   |

| Zonas de riesgo en PTAR   |  |  |
|---------------------------|--|--|
| Evento                    | Zona de riesgo   | Fotografía   |
| Riesgo sanitario          | <b>Si, entrada de pretratamiento</b>                                 |   |
| Riesgo químico            | <b>Si, cloro y gases</b>   |  |
| Riesgo de gases orgánicos | <b>Si, cloro, metano</b>   |  |
| Riesgo de caídas          | <b>Si, en área de lodos por derrame de polímeros o áreas húmedas</b> |  |
| Riesgos eléctricos        | <b>Si, reparación fuera de registros</b>                             |  |
| Riesgos con sopladores    | <b>No</b>  |  |

| Zonas de riesgo en PTAR           |                      |   |
|-----------------------------------|----------------------|---|
| Evento                            | Zona de riesgo       | Fotografía  |
| Riesgos con equipos pesados       | Si, rejillas gruesas |  |
| Ingreso de personal no autorizado | No                   |   |

|  |    |
|--|----|
| Cuentan con un estudio de análisis de riesgos en la PTAR | No |
|--|----|

| Plan de contingencia                    |        |               |
|---|--------|---------------|
| Tipo                                    | Cumple | Observaciones |
| Atención a incendios                    | Sí     |               |
| Atención de derrames de combustibles    | Sí     |               |
| Atención a un sismo                     | Sí     |               |
| Atención a tormentas eléctricas (rayos) | Sí     |               |
| Atención a explosión                    | Sí     |               |

| <b>Plan de contingencia</b>  |               |                      |
|--|---------------|----------------------|
| <b>Tipo</b>  | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> |
| Atención a contingencias técnicas  | <b>Sí</b>     |                      |
| Atención de personal   | <b>Sí</b>     |                      |
| Atención a sabotajes   | <b>No</b>     |                      |
| Atención para el transporte y almacenamiento de combustibles y sustancias químicas | <b>No</b>     |                      |
| Prácticas para la realización de simulacros  | <b>Sí</b>     |                      |




|                                       |                              |
|---------------------------------------|------------------------------|
| Coordinador del comité de emergencias | <b>Dionicio López García</b> |
|---------------------------------------|------------------------------|



| <b>Otras disposiciones</b>  |               |  |
|---|---------------|--|
| <b>Tipo</b>   | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>                                     |
| Teléfonos de emergencia visibles  | <b>No</b>     |  |
| Teléfono fijo para llamadas de emergencia   | <b>No</b>     |  |
| Disposiciones de seguridad a empresas tercerizadas que ingresan a la PTAR   | <b>Si</b>     | <b>Uso de equipo de protección</b>                       |
| Disposiciones de seguridad a personal externo que ingresa a la PTAR   | <b>Si</b>     |  |
| Se proporciona equipo de protección personal a los trabajadores   | <b>Si</b>     | <b>Guantes, botas, uniforme, goggles, casco, gorras</b>  |
| Se proporciona a los trabajadores la capacitación y el adiestramiento necesario para el uso, limpieza, mantenimiento, limitaciones y almacenamiento del equipo de protección personal | <b>Si</b>     | <b>Una vez al año</b>                                    |
| Los trabajadores cuentan con información sobre los riesgos a los que están expuestos y el equipo de protección personal que deben utilizar  | <b>Si</b>     | <b>Previa capacitación en Inagua, al ser contratados</b> |







| <b>Brigadas</b>                              |                        |                                 |                                  |   |
|--|------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|
| <b>Tipo</b>                                  | <b>No. brigadistas</b> | <b>Jefe de brigada</b>          | <b>Equipo con el que cuentan</b> | <b>Capacitación (periodo, duración)</b> |
| Brigada de evacuación                        | 4                      | Saúl Adame Carreón              | Camioneta                        | Una vez por año, una semana             |
| Brigada de primeros auxilios                 | 4                      | Dionicio López García           | Botiquines solamente             | Una vez por año, una semana             |
| Brigadas de prevención y combate de incendio | 4                      | Edgar Ivan Salas Guerrero       | Extintores y palas               | Una vez por año, una semana             |
| Brigada de búsqueda y rescate                | 4                      | Pablo Antonio Esparza Gutiérrez | Radios                           | Una vez por año, una semana             |
| Otra Brigada de derrames químicos            | No                     |                                 |                                  |   |
| Otra Brigada de comunicación                 | 4                      | María Jauregui Romo             | Radio y celular personal         | Una vez por año, una semana             |

| <b>Señalización</b>  |               |                      |  |
|--|---------------|----------------------|--|
| <b>Indicador</b>   | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b>  |
| Se ubican las señales de seguridad e higiene de tal manera que puedan ser observadas e interpretadas por los trabajadores a los que están destinados y se evita que sean obstruidas. | Si            |                      |  |

| Señalización  |           |   |  |
|---|-----------|---|--|
| Indicador   | Cumple    | Observaciones                                   | Fotografía   |
|   |           |   |   |
| Se identifican y señalan las áreas en donde se requiera el uso obligatorio del Equipo de Protección personal correspondiente.   | <b>Si</b> |   |  |
| Se garantiza que la aplicación del código de colores, señalización y la identificación en la tubería están sujetas a un mantenimiento que asegure en todo momento su visibilidad y legibilidad. | <b>Si</b> | <b>Línea de lodo: café</b><br><b>Agua: azul</b> |  |

| Señalización  |           |               |  |
|---|-----------|---------------|--|
| Indicador   | Cumple    | Observaciones | Fotografía   |
|   |           |               |    |
| Se identifican los depósitos, recipientes y áreas que contengan sustancias químicas peligrosas o los residuos de éstas. | <b>Si</b> |               |  |
| Se encuentran señaladas las rutas de evacuación   | <b>Si</b> |               |  |

| Señalización                                 |        |                          |   |
|--|--------|--------------------------|---|
| Indicador                                    | Cumple | Observaciones            | Fotografía  |
|  |        |                          |   |
| Se encuentran señaladas las zonas de peligro | Si     | Solo de riesgo eléctrico |  |


| Señalización   |           |                               |   |
|--|-----------|-------------------------------|---|
| Indicador  | Cumple    | Observaciones                 | Fotografía  |
|  |           |                               |   |
| Se encuentran señalados la ubicación de los extintores | <b>Si</b> |                               |  |
| Se encuentran señalados la ubicación de los lavajos    | <b>Si</b> | <b>Solo en el laboratorio</b> |   |


| Riesgos generales |             |                                |                         |
|-------------------|-------------|--------------------------------|-------------------------|
| Riesgo            | Origen      | Medidas preventivas en la PTAR | Medidas correctivas     |
| Infecciones       | Contacto de | <b>Recomendaciones con</b>     | <b>-lavado con agua</b> |

| <b>Riesgos generales</b>   |   |   |   |
|--|---|---|---|
| <b>Riesgo</b>  | <b>Origen</b>   | <b>Medidas preventivas en la PTAR</b>   | <b>Medidas correctivas</b>                          |
|  | patógenos con piel, ojos, quemaduras, cortadas, raspones y boca                   | <b>respecto al uso de equipos</b>       | <b>limpia y jabón</b><br><b>-antiséptico</b>        |
| Daño físico  | Ahogamiento   |   | <b>-apagar equipo</b><br><b>-paro de emergencia</b> |
|  | Caídas y resbalones   | <b>Zapatos, letreros de cuidado</b>     | <b>Limpieza de áreas</b>                            |
| Fuego  | Almacenamiento inadecuado de materiales y químicos junto a una fuente de ignición |   | <b>-Apagar incendio</b>                             |
| Exposición a químicos, gases y vapores tóxicos, corrosivos o nocivos | Químicos  | <b>Uso adecuado de equipo</b>           | <b>Limpieza</b>                                     |
|  | Reacciones químicas   |   | <b>Limpieza</b>                                     |
|  | Desechos industriales   |   |   |
|  | Laboratorio   |   | <b>-Se cuenta con material de primeros auxilios</b> |
| Descargas eléctricas   | Equipo defectuoso   | <b>Mantenimiento</b>                    | <b>Reparación</b>                                   |
|  | Aterrizado en forma inadecuada  | <b>Todo a tierra</b>                    |   |
|  | Aislamiento insuficiente  | <b>Revisión periódica de los cables</b> | <b>Aislar los cables</b>                            |
|  | Cortocircuito   | <b>Revisión periódica</b>               |   |

| <b>Atención médica</b>        |               |                      |                   |
|-------------------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| <b>Requisito</b>              | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b> |
| Cuenta la PTAR con enfermería | <b>No</b>     |                      |                   |

|  |           |  |  |
|--|-----------|--|--|
| Cuenta la PTAR con médico de planta              | <b>No</b> |  |  |
| Cuenta la PTAR con paramédico                    | <b>No</b> |  |  |
| Distancia a la atención hospitalaria más cercana |           | <b>De 5 a 7 km, 20-30 minutos aproximadamente.</b><br><b>Clínica No. 1</b> |  |


| <b>Riesgos sanitarios</b>                 |               |                         |  |
|---|---------------|-------------------------|--|
| <b>Requisito</b>                          | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>    | <b>Fotografía</b>  |
| Esquema de vacunación de trabajadores     | <b>No</b>     | <b>Solo COVID</b>       |  |
| Vacuna específica solicitada por PTAR     | <b>Si</b>     | <b>COVID</b>            |  |
| Uso de ropa y zapatos adecuados           | <b>Si</b>     |                         |  |
| Uso de guantes                            | <b>Si</b>     |                         |  |
| Uso de mascarilla                         | <b>Si</b>     |                         |  |
| Uso de lentes transparentes               | <b>Si</b>     |                         |  |
| Uso de casco                              | <b>Si</b>     |                         |  |
| Lugar designado para consumo de alimentos | <b>Si</b>     | <b>Se tiene comedor</b> |  |




| Riesgos sanitarios                         |        |               |  |
|--|--------|---------------|--|
| Requisito                                  | Cumple | Observaciones | Fotografía   |
| Zonas para fumar                           | No     | Por los gases |  |
| Uso de gel antibacterial                   | Si     |               |  |
| Disposición de guantes y mascarillas       | Si     |               |  |
| Desinfección de material de trabajo y ropa | No     |               |  |
| Uso de duchas al terminar el turno         | Si     |               |  |

| Riesgos químicos                |        |               |            |
|---------------------------------|--------|---------------|------------|
| Requisito                       | Cumple | Observaciones | Fotografía |
| Almacén de productos ventilados | Si     |               |            |



| Riesgos químicos                 |        |                             |   |
|----------------------------------|--------|-----------------------------|---|
| Requisito                        | Cumple | Observaciones               | Fotografía  |
| Separación de productos químicos | Si     | De acuerdo a su zona de uso | <br><br> |



| Riesgos químicos                      |           |               |   |
|---------------------------------------|-----------|---------------|---|
| Requisito                             | Cumple    | Observaciones | Fotografía  |
| Uso de máscara con filtros apropiados | <b>Si</b> |               |   |
| Uso de guantes de látex o neopreno    | <b>Si</b> |               |   |
| Uso de lentes transparentes           | <b>Si</b> |               |   |
| Uso de botas de hule                  | <b>Si</b> |               |  |

| Riesgos con gases orgánicos                                     |        |               |   |
|---|--------|---------------|---|
| Requisito   | Cumple | Observaciones | Fotografía  |
| Equipo portátil de medición de concentración de gases orgánicos | Si     | Draguer       |    |
| Arnés de seguridad  | Si     |               |   |
| Uso de máscara con filtros apropiados                           | Si     |               |  |
| Trabajo en equipo   | Si     |               |   |

| <b>Riesgos de caídas</b>      |               |                      |                   |
|-------------------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| <b>Requisito de seguridad</b> | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b> |
| Arnés de seguridad            | <b>Si</b>     |                      |                   |
| Chaleco salvavidas            | <b>Si</b>     |                      |                   |
| Trabajo en equipo             | <b>Si</b>     |                      |                   |

| <b>Riesgos eléctricos</b>                 |               |                      |                   |
|---|---------------|----------------------|-------------------|
| <b>Requisito de seguridad</b>             | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b> | <b>Fotografía</b> |
| Equipos y tableros aterrizados            | <b>Si</b>     |                      |                   |
| Zapatos aislantes                         | <b>Si</b>     |                      |                   |
| Casco                                     | <b>Si</b>     |                      |                   |
| Lentes de seguridad                       | <b>Si</b>     |                      |                   |
| Herramientas especiales para electricidad |               |                      |                   |

| <b>Riesgos con sopladores</b> |               |                                     |                   |
|-------------------------------|---------------|-------------------------------------|-------------------|
| <b>Requisito de seguridad</b> | <b>Cumple</b> | <b>Observaciones</b>                | <b>Fotografía</b> |
| Sonómetro                     | <b>No</b>     |                                     |                   |
| Casco                         | <b>Si</b>     |                                     |                   |
| Protectores auditivos         | <b>Si</b>     | Solo en mantenimiento y son básicos |                   |
| Guantes aislantes             | <b>Si</b>     |                                     |                   |

| Riesgos con equipos pesados             |        |                             |  |
|---|--------|-----------------------------|--|
| Requisito de seguridad                  | Cumple | Observaciones               | Fotografía   |
| Zapato de seguridad                     | Si     | Con casquillo               |   |
| Casco                                   | Si     |                             |  |
| Faja                                    | Si     |                             |  |
| Guantes de carnaza o de malla metálica  | Si     |                             |  |
| Trabajo en equipo                       | Si     |                             |  |
| Uso de equipo de levantamiento mecánico | Si     | Montacargas, grúas viajeras |  |

| Actividades en PTAR que involucran riesgos |                |
|--|----------------|
| Extracción de sólidos en rejillas manuales |                |
| Frecuencia                                 | 6 veces al día |
| No. personas que lo realizan               | 4 por día      |

| <b>Actividades en PTAR que involucran riesgos</b>             |   |
|---|---|
| Describa la secuencia operativa (metodología)                 | <b>-Manual, polipasto para subir la rejilla y retiro manual de la basura retenida</b> |
| Describa el equipo de protección personal utilizado           | <b>-Guantes, casco, lentes, uniforme</b>  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área       | <b>-lavado de manos</b>   |
| Extracción de sólidos en rejillas mecanizadas                 |   |
| Frecuencia  | <b>1 vez por hora (24 al día)</b>   |
| No. personas que lo realizan                                  | <b>4 por día</b>  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)                 | <b>-la maquina realiza el ciclo y solo se revisa por atascamientos</b>                |
| Describa el equipo de protección personal utilizado           | <b>Guantes, lentes, uniforme</b>  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área       | <b>Lavado de manos con agua y jabón</b>   |
| Extracción de arena en desarenadores                          |   |
| Frecuencia  | <b>8 veces por día</b>  |
| No. personas que lo realizan                                  | <b>4 al día</b>   |
| Describa la secuencia operativa (metodología)                 | <b>Con pala, arena a carretilla y se retira</b>                                       |
| Describa el equipo de protección personal utilizado           | <b>Botas y guantes</b>  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área       | <b>Lavado de manos con agua y jabón</b>   |
| Medición de parámetros en sistemas biológicos                 |   |
| Frecuencia  | <b>Muestreo diario</b>  |
| No. personas que lo realizan                                  | <b>2</b>  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)                 | <b>Se toma la muestra y se realiza el análisis</b>                                    |
| Describa el equipo de protección personal utilizado           | <b>Bata, guantes, botas de trabajo</b>  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área       | <b>Lavado de manos, lavado de material (muestreadores)</b>                            |
| Mantenimiento y limpieza de agitadores en sistemas biológicos |   |

| <b>Actividades en PTAR que involucran riesgos</b>          |   |
|--|---|
| Frecuencia   | <b>2 veces por semana</b>   |
| No. personas que lo realizan                               | <b>4</b>  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)              | <b>Levantar agitador con “carrucha”, retirar pelo y obstrucciones (maderas, ramas)</b>            |
| Describa el equipo de protección personal utilizado        | <b>Botas, guantes, uniformes</b>  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área    | <b>Lavado de manos con agua y jabón</b>   |
| <b>Limpieza de espumas en sistemas biológicos</b>          |   |
| Frecuencia   | <b>1 vez por semana, se genera poco</b>   |
| No. personas que lo realizan                               | <b>2</b>  |
| Describa la secuencia operativa (metodología)              | <b>-Activar sistema de apagado de espumas por 10 minutos.<br/>Está en digester por trincheras</b> |
| Describa el equipo de protección personal utilizado        | <b>Guantes, botas, uniforme</b>   |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área    | <b>Lavado de manos con agua y jabón</b>   |
| <b>Vaciado de unidad de proceso</b>                        |   |
| Frecuencia   | <b>Es variable, cada vez que se requiere de mantenimiento</b>                                     |
| No. personas que lo realizan                               | <b>4 de mantenimiento, 4 de operación</b>   |
| Describa la secuencia operativa (metodología)              | <b>Vaciado de unidad, revisión, reparación, llenado nuevamente</b>                                |
| Describa el equipo de protección personal utilizado        | <b>de seguridad, botas de hule, guantes, casco</b>  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área    | <b>Lavado de manos con agua y jabón</b>   |
| <b>Control de bombas para diferentes pasos del proceso</b> |   |
| Frecuencia   | <b>Con el programa mensual se hace rotación de equipos</b>  |
| No. personas que lo realizan                               | <b>2 del turno</b>  |
| Describa la secuencia operativa                            | <b>se deja fuera el equipo que está en operación,</b>   |

| <b>Actividades en PTAR que involucran riesgos</b>       |  |
|---|--|
| (metodología)   | <b>se cambia y activa nuevamente</b>                         |
| Describe el equipo de protección personal utilizado     | <b>Guantes, botas, uniforme</b>                              |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área | <b>Lavado de manos con agua y jabón</b>                      |
| Disposición de grasas y aceites                         |  |
| Frecuencia  | <b>No hay</b>  |
| No. personas que lo realizan                            | -  |
| Describe la secuencia operativa (metodología)           | -  |
| Describe el equipo de protección personal utilizado     | -  |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área | -  |
| Cámara de mezcla y depósitos de productos químicos      |  |
| Productos que se manipulan                              | <b>Polímeros</b>   |
| Tareas que se realizan                                  | <b>Checado de que tolva tenga polímero</b>                   |
| No. personas que lo realizan                            | <b>2</b>   |
| Frecuencia  | <b>Cada hora</b>   |
| Describe la secuencia operativa (metodología)           | <b>Vaciado de saco de polímero en tolva</b>                  |
| Describe el equipo de protección personal utilizado     | <b>Guantes y cubrebocas, además del uniforme, mascarilla</b> |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área | <b>Lavado de manos con agua y jabón</b>                      |
| Control de tableros eléctricos                          |  |
| Frecuencia  | <b>Diario</b>  |
| No. personas que lo realizan                            | <b>4</b>   |
| Describe la secuencia operativa (metodología)           | <b>Revisión del correcto funcionamiento</b>                  |
| Describe el equipo de protección personal utilizado     | <b>Guantes, uniforme, calzado de trabajo</b>                 |
| Medidas de higiene personal y descontaminación del área | <b>Lavado de manos con agua y jabón</b>                      |



## **PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

### **PROYECTO No.309621**

**“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)  
MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A  
LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES  
PARTICULARES DE DESCARGA”**

**DIAGNÓSTICO DE LA PTAR**

**MUNICIPAL  
LEÓN, GUANAJUATO**

## ÍNDICE

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 1      | INFORMACIÓN DE LA PTAR   | 960 |
| 1.1    | Datos generales  | 960 |
| 1.2    | Ubicación  | 960 |
| 1.3    | Descripción del proceso  | 961 |
| 2      | REVISIÓN DOCUMENTAL  | 966 |
| 1.4    | Planos   | 966 |
| 1.5    | Permiso de descarga  | 967 |
| 1.6    | Análisis de la memoria de cálculo                                    | 970 |
| 1.7    | Análisis de la información histórica de calidad del agua             | 970 |
| 2.1.1  | Caudal   | 971 |
| 2.1.2  | Temperatura  | 972 |
| 2.1.3  | pH   | 973 |
| 2.1.4  | Coliformes fecales y huevos de helminto                              | 974 |
| 2.1.5  | Grasas y Aceites   | 975 |
| 2.1.6  | Materia flotante   | 976 |
| 2.1.7  | Sólidos sedimentables  | 976 |
| 2.1.8  | Sólidos suspendidos totales  | 977 |
| 2.1.9  | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )                    | 978 |
| 2.1.10 | Demanda Química de Oxígeno (DQO)                                     | 979 |
| 2.1.11 | Nitrógeno total (NT)   | 980 |
| 2.1.12 | Fósforo total (PT)   | 982 |
| 2.1.13 | Metales y cianuros   | 983 |
| 2.1.14 | Resumen de la calidad del agua de PTAR municipal de León, Guanajuato | 984 |
| 1.8    | Análisis de la información del Proceso                               | 989 |
| 2.1.15 | Análisis rutinarios  | 989 |
| 2.1.16 | Manual de operación  | 989 |
| 2.1.17 | Reportes de operación (bitácoras)                                    | 989 |

|         |   |      |
|---------|---|------|
| 2.1.18  | Mantenimiento   | 990  |
| 1.8.1.1 | Programa  | 990  |
| 1.8.1.2 | Reportes  | 990  |
| 3       | ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR           | 992  |
| 3.1     | Estado de las unidades de proceso                     | 992  |
| 3.1.1   | Pretratamiento  | 995  |
| 3.1.2   | Sedimentadores primarios                              | 998  |
| 3.1.3   | Filtros percoladores                                  | 1001 |
| 3.1.4   | Sedimentadores secundarios                            | 1003 |
| 3.1.5   | Desinfección  | 1004 |
| 3.2     | Muestreo y calidad del agua residual                  | 1006 |
| 3.2.1   | Resultados del muestreo compuesto                     | 1010 |
| 3.2.2   | Eficiencia de la PTAR en la remoción de contaminantes | 1022 |
| 3.2.3   | Influencia industrial                                 | 1027 |
| 4       | DIAGNÓSTICO DE PERSONAL                               | 1029 |
| 4.1     | Recursos Humanos                                      | 1029 |
| 4.2     | Evaluación de conocimientos                           | 1029 |
| 4.3     | Capacitación  | 1030 |
| 4.3.1   | Cursos de capacitación recibidos                      | 1030 |
| 4.3.2   | Temas de capacitación solicitados                     | 1030 |
| 4.3.3   | Material didáctico entregado                          | 1031 |
| 5       | SEGURIDAD E HIGIENE                                   | 1045 |
| 6       | LABORATORIO   | 1047 |
| 7       | CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR            | 1048 |
| 7.1     | Causas  | 1048 |
| 7.2     | Descripción de la causa y recomendaciones             | 1049 |
| 7.2.1   | Nivel I   | 1049 |
| 7.2.2   | Nivel II  | 1051 |
| 7.3     | RESUMEN   | 1053 |
| 8       | CONCLUSIONES  | 1058 |

## TABLAS

|  |      |
|--|------|
| Tabla 1. Datos generales .....   | 960  |
| Tabla 2. Ubicación y contacto .....  | 961  |
| Tabla 3. Condiciones particulares y Norma 001-Semarnat-2021 para la descarga de aguas residuales .....   | 968  |
| Tabla 4. Concentraciones de metales pesados y cianuros durante 2019-2021 .....   | 983  |
| Tabla 5. Resumen de la calidad del efluente de la PTAR Municipal de León, Guanajuato .....   | 987  |
| Tabla 6. Carga hidráulica superficial y TRH actual de operación en los sedimentadores primarios que tratan aguas residuales municipales .....                    | 998  |
| Tabla 7. Carga hidráulica superficial y TRH actual de operación en el sedimentador primario que trata las aguas residuales del módulo de Desbaste .....          | 999  |
| Tabla 8. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua en la PTAR Municipal .....  | 1008 |
| Tabla 9. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT 1996 y 2021. ....   | 1011 |
| Tabla 10. Contaminantes presentes en el canal y su impacto sobre el efluente final de la PTAR Municipal.....   | 1013 |
| Tabla 11. Máximas toxicidades encontradas en diferentes puntos de muestreo .....   | 1021 |
| Tabla 12. Eficiencia de remoción global de los contaminantes en la PTAR Municipal .....  | 1022 |
| Tabla 13. Remoción global de metales pesados en la PTAR Municipal....  | 1023 |
| Tabla 14. Variación de las concentraciones de los contaminantes en las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR Municipal .....                             | 1024 |
| Tabla 15. Variación de las concentraciones de $SO_4^{-2}$ , $S^{-2}$ , $Cr^{6+}$ y cloruros en las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR Municipal ..... | 1025 |
| Tabla 16. Variación de las concentraciones de metales pesados en las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR Municipal .....                               | 1026 |

|   |      |
|---|------|
| Tabla 17. Remoción del color verdadero en las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR Municipal ..... | 1026 |
| Tabla 18. Cantidad de giros activos industriales la Cd. De León Gto.....                                    | 1027 |
| Tabla 19. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR .....                              | 1048 |

## **FIGURAS**

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1. Diagrama de flujo de la PTAR MUNICIPAL DE LEÓN .....   | 964 |
| Figura 2. Tren de tratamiento de la PTAR MUNICIPAL DE LEÓN, GUANAJUATO (Elaboración propia) .....      | 965 |
| Figura 3. Sitio de descarga del Efluente de la PTAR .....  | 968 |
| Figura 4. Datos históricos de caudal en la PTAR (2019 - 2021) .....                                    | 971 |
| Figura 5. Caudal promedio, máximo y mínimo PTAR (2018-2021).....                                       | 972 |
| Figura 6. Datos históricos de temperatura en el efluente de la PTAR (2018-2021).....                   | 973 |
| Figura 7. Datos históricos de pH en la PTAR (2019-2021) .....  | 974 |
| Figura 8. Datos históricos de Coliformes fecales en la PTAR (2019-2021) ...                            | 975 |
| Figura 9. Datos históricos de grasas y aceites en el efluente de la PTAR (2019-2021).....              | 976 |
| Figura 10. Datos históricos de sólidos sedimentables en el efluente de la PTAR (2019-2021).....        | 977 |
| Figura 11. Datos históricos de sólidos suspendidos totales en el efluente de la PTAR (2019-2021) ..... | 978 |
| Figura 12. Datos históricos de DBO <sub>5</sub> en el efluente de la PTAR (2019-2021) .....            | 979 |
| Figura 13. Datos históricos de DQO en el efluente de la planta (2018-2021) .....                       | 980 |
| Figura 14. Datos históricos de nitrógeno total en el efluente de la PTAR (2019 - 2021) .....           | 981 |
| Figura 15. Datos históricos de NTK en la PTAR (2019-2021) .....  | 982 |
| Figura 16. Datos históricos de fósforo total en el efluente de la PTAR (2019 - 2021).....              | 983 |
| Figura 17. PTAR Municipal de León Gto. ....  | 992 |

|   |      |
|---|------|
| Figura 18. Flujos de agua residual en la PTAR Municipal .....   | 993  |
| Figura 19. Canal a cielo abierto que conduce el excedente del agua residual .....   | 994  |
| Figura 20. Efluente del tanque de contacto de cloro .....   | 994  |
| Figura 21. Mezcla del excedente de agua residual y del efluente del tanque de contacto de cloro .....   | 994  |
| Figura 22. Descarga final de la PTAR Municipal.....   | 994  |
| Figura 23. Caja de llegada del agua residual municipal.....   | 995  |
| Figura 24. Vaso regulador.....  | 996  |
| Figura 25. Rejillas finas .....   | 996  |
| Figura 26. Cárcamo de bombeo.....   | 997  |
| Figura 27. Desarenadores.....   | 997  |
| Figura 28. Sedimentadores primarios que tratan aguas residuales municipales.....  | 999  |
| Figura 29. Sedimentador primario que trata las aguas residuales provenientes del efluente final del módulo de Desbaste.....                               | 1000 |
| Figura 30. Caja de recepción donde se combinan los efluentes de los cinco sedimentadores primarios .....  | 1001 |
| Figura 31. Filtros percoladores.....  | 1002 |
| Figura 32. Situación actual de los filtros percoladores.....  | 1003 |
| Figura 33. Estado actual de los sedimentadores secundarios.....   | 1004 |
| Figura 34. Tanque de contacto de cloro .....  | 1005 |
| Figura 35. Presencia de natas y espumas en el tanque de contacto de cloro .....   | 1005 |
| Figura 36. Efluente del tanque de contacto de cloro con la presencia de espumas derivada de la reacción química entre el cloro y la materia orgánica..... | 1005 |
| Figura 37. Caseta de cloración .....  | 1006 |
| Figura 38. Variación del caudal en el influente y efluente de la PTAR Municipal .....   | 1015 |
| Figura 39. Concentración de GyA en el influente y efluente de la PTAR Municipal .....   | 1016 |

|   |      |
|---|------|
| Figura 40. Variación de los CF y <i>E.coli</i> en el influente y efluente de la PTAR Municipal .....  | 1017 |
| Figura 41. Variación del pH y temperatura en el influente y efluente de la PTAR Municipal .....   | 1018 |
| Figura 42. Variación de las toxicidades ( <i>Vibrio fischeri</i> ) en el influente y efluente de la PTAR Municipal .....  | 1020 |
| Figura 43. Variación de las toxicidades ( <i>Vibrio fischeri</i> ) antes y después de la desinfección en la PTAR Municipal.....                                   | 1021 |
| Figura 44. Variación de las concentraciones de los contaminantes en las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR Municipal .....                             | 1025 |
| Figura 45. Variación de las concentraciones de $SO_4^{-2}$ , $S^{-2}$ , $Cr^{6+}$ y cloruros en las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR Municipal ..... | 1026 |
| Figura 46. Portada de los manuales.....   | 1032 |
| Figura 47. Infografías. ....  | 1037 |
| Figura 48. Manual de ejercicios prácticos .....   | 1038 |
| Figura 49. Kit de figuras.....  | 1043 |
| Figura 50. Entrega de material didáctico .....  | 1044 |
| Figura 51. Señalización de seguridad en la PTAR.....  | 1045 |
| Figura 52. Laboratorio de análisis .....  | 1047 |

## 1 INFORMACIÓN DE LA PTAR

### 1.1 Datos generales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipal del municipio de León, Guanajuato inició operaciones en el año 2000. La PTAR recibe parte de las aguas residuales municipales que se producen en el municipio de León más el efluente del módulo de desbaste.

La PTAR tiene una capacidad para tratar 2.5 m<sup>3</sup>/s con tratamiento primario y 1 m<sup>3</sup>/s con tratamiento secundario. Los lodos generados se tratan por digestión anaerobia y generan el 60% de la electricidad que requiere la planta para su operación. En la Tabla 174 se presentan algunos datos generales de la PTAR (tomados del Anexo, el cual contiene los formatos con la información obtenida en campo, procesada y corregida).

**Tabla 174. Datos generales**

| <b>Datos generales</b>     |  |                     |  |
|----------------------------|--|---------------------|--|
| Año de construcción        | <b>1998</b>  | Inicio de operación | <b>2000</b>  |
| Recepción de descargas     | <b>Módulo de desbaste y aguas residuales del municipio de León, Guanajuato</b> | Población servida   | <b>1 377,215 hab.</b>  |
| Actualización más reciente | <b>Actualmente está en actualización</b>                                       | Tipo de tratamiento | <b>Primario y Biológico aerobio (biofiltros) Digestión anaerobia de lodos y sistema de cogeneración de energía</b> |
| Gasto de diseño            | <b>Flujo promedio: 2,500 L/s</b>   | Gasto de operación  | <b>750 L/s (promedio 2019- 2021)</b>   |

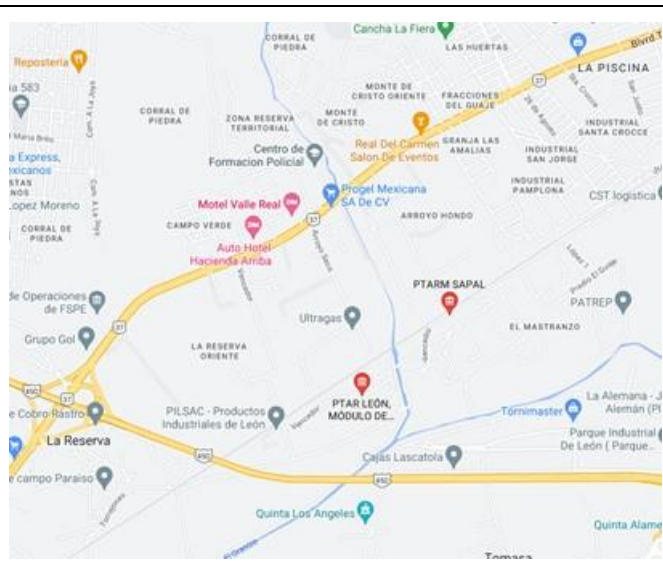
### 1.2 Ubicación

La PTAR “Municipal de León, Guanajuato” se encuentra ubicada en colonia Arroyo Hondo, en el municipio de León, Guanajuato. Esta Planta es operada por la empresa Grupo FYPASA y actualmente SAPAL (Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del municipio de León) va a iniciar su operación. Se



encuentra a cargo de los ingenieros Jesús Manríquez (Gerente de tratamiento y reúso), Edgar Correa (Encargado de la PTAR Municipal y Módulo de desbaste) y del Ing. Delfino Piña Martín del Campo, encargado de la PTAR. En la Tabla 175 se presentan los datos de ubicación y de contactos de la PTAR.

**Tabla 175. Ubicación y contacto**

| Ubicación   |                                 |          |                                     |
|---|---------------------------------|----------|-------------------------------------|
| Nombre de la PTAR   | <b>PTAR Municipal de León</b>   |          |                                     |
| Calle y número  | Tierra Cultivo, Monte Carmelo   |          |                                     |
| Colonia y C.P.  | Arroyo Hondo<br>C.P. 37438      |          |                                     |
| Municipio y estado  | León, Guanajuato                |          |                                     |
| Coordenadas   | 21.086771, -101.727419          |          |                                     |
|  |                                 |          |                                     |
| Contacto  |                                 |          |                                     |
| Nombre  | Ing. Edgar Armando Correa Reyes | Puesto   | Jefe de Planta Municipal y desbaste |
| Correo electrónico  | ecorrea@sapal.gob.mx            | Teléfono | 477 767 1604                        |

### 1.3 Descripción del proceso

La PTAR Municipal de León tiene una capacidad de 2,500 L/s de las cuales 1,000 L/s cuentan con tratamiento secundario. Recibe el efluente del Módulo de desbaste y parte del agua residual municipal de León, Guanajuato.

En la Figura 489 se presenta un diagrama de flujo general del proceso de tratamiento del agua residual.

El proceso de tratamiento del agua residual está formado por una caja derivadora que recibe el agua residual cruda y la envía hacia el pretratamiento.

El pretratamiento consiste en rejillas gruesas manuales y rejillas finas automáticas, esta misma unidad cuenta con un cárcamo de bombeo que envía el agua hacia el tratamiento primario.

El tratamiento primario consta de un desarenador equipado con un soplador que tiene un sistema de distribución y difusión de aire. Además, de una caja de distribución de agua que envía el agua hacia un sedimentador primario.

El lodo primario que se separa en el sedimentador primario es enviado al sistema de tratamiento de lodos, mientras que el agua decantada pasa a un sistema de bombeo que distribuye el agua en el biofiltro (tratamiento secundario).

El efluente del biofiltro se separa en un sedimentador secundario, donde el lodo se recircula a la caja de distribución que se encuentra en el desarenador, mientras que el agua decantada se manda al tanque de contacto de cloro, donde el agua se desinfecta y termina el proceso de tratamiento.

El tren de tratamiento Figura 490 consta de una línea de rejillas gruesas y finas, así como un desarenador. Posteriormente, el caudal se divide hacia 5 sedimentadores primarios.

El tratamiento secundario consta de dos biofiltros y dos sedimentadores secundarios y finalmente, el caudal se junta para ser tratado en un tanque de contacto de cloro.

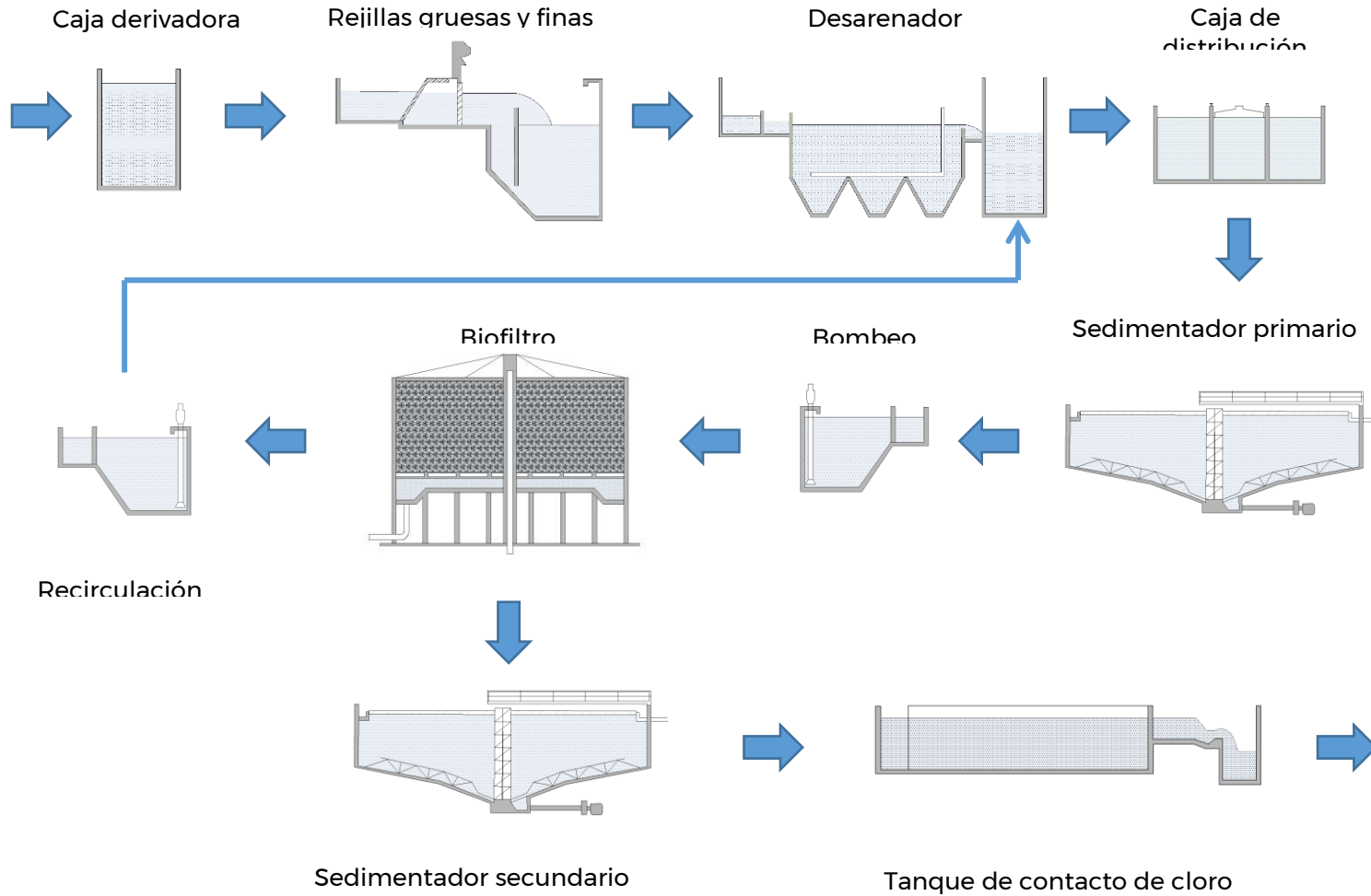
Los lodos producidos en la PTAR son enviados a un sistema de tratamiento de lodos, que inicia con un intercambiador de calor (alimentado por una caldera) que aumenta la temperatura de los lodos antes de pasar a los biodigestores (3 reactores anaerobios), los cuales están conectados a un tanque de almacenamiento de biogás. El lodo estabilizado se envía a un tanque de almacenamiento de lodos donde se dosifica polímero para su espesamiento y se pasa por un filtro banda que los deshidrata, para pasar a disposición final. El sobrenadante del reactor anaerobio es recirculado al pretratamiento de la PTAR.

La PTAR cuenta con un sistema de generación de energía eléctrica mediante el biogás producido en el tratamiento de lodos.

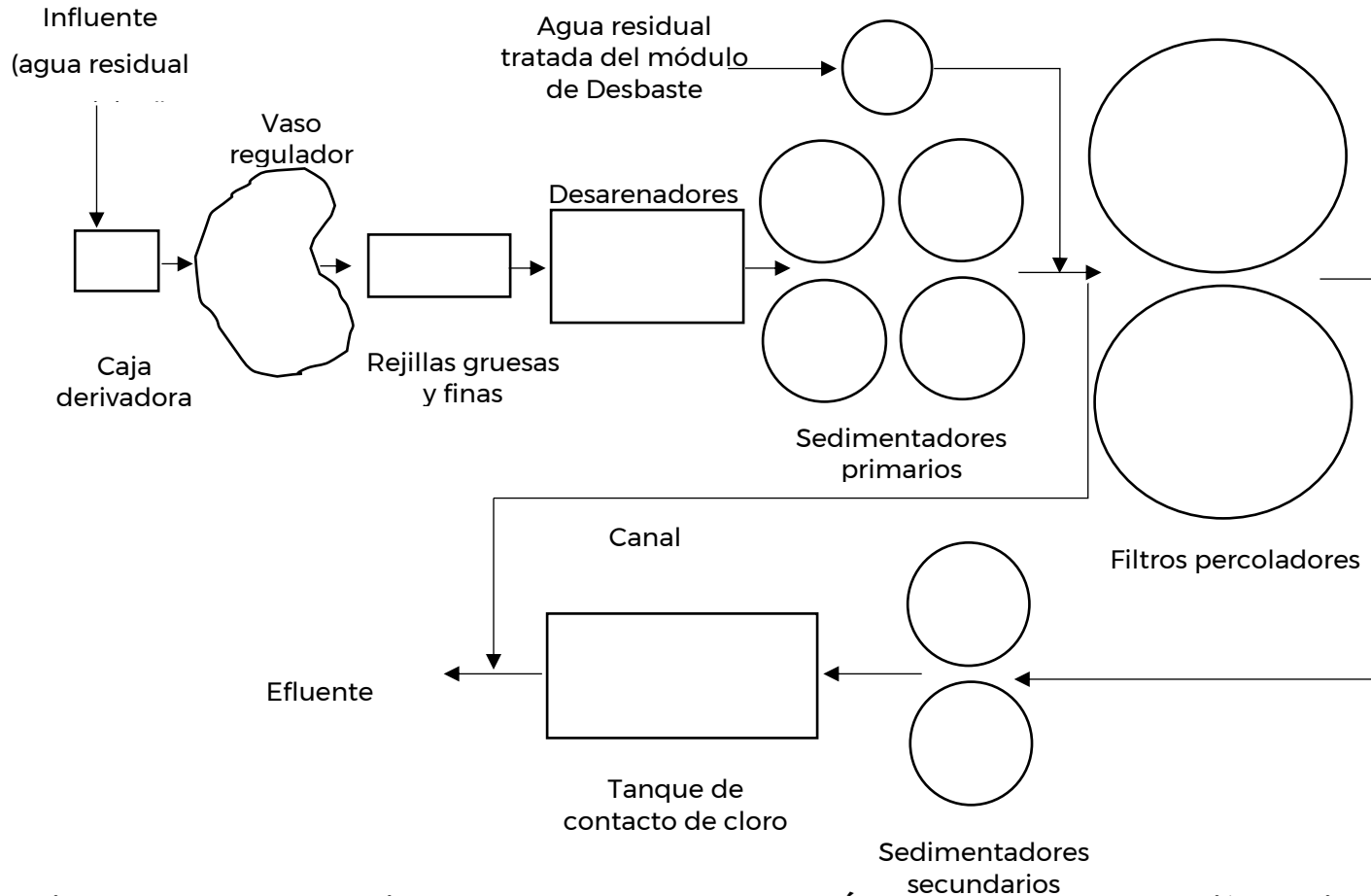


**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES





**Figura 489. Diagrama de flujo de la PTAR MUNICIPAL DE LEÓN**



**Figura 490. Tren de tratamiento de la PTAR MUNICIPAL DE LEÓN, GUANAJUATO (Elaboración propia)**

## **2 REVISIÓN DOCUMENTAL**

Se recopilaron 19 archivos relacionados con la información de la PTAR Municipal de León. Los cuales se enlistan a continuación y serán entregados en memoria extraíble al término del proyecto.

1. Planos generales
2. Manual de operación
3. Manual de mantenimiento
4. Bitácoras de operación
5. Bitácoras de mantenimiento
6. Programa de mantenimiento
7. Datos históricos de calidad del agua
8. Análisis de calidad del agua de cumplimiento ante Conagua
9. Permiso de descarga

### **1.4 Planos**

Se entregaron archivos con los siguientes planos:

1. Planta General de la PTAR
2. Terreno de la PTAR
3. Plano topográfico
4. Diagrama de proceso, primera etapa, agua
5. Diagrama de proceso 500 L/s
6. Planta de conjunto de red de agua a proceso secundario
7. Balance de masas primera etapa, 95% confianza
8. Balance de masas primera etapa, 50% confianza
9. Planta de conjunto red de lodos a digestores
10. Diagrama de proceso de lodos
11. Perfil de proceso de lodos
12. Perfil hidráulico de lodos.

## 1.5 Permiso de descarga

| PTAR                       | Número de título de asignación | Volumen de descarga autorizado (m <sup>3</sup> /d) | Volumen de descarga (L/s) | Fecha de vencimiento | Coordenadas              | Parámetros de descarga               |
|----------------------------|--------------------------------|--|---------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| PTAR MUNICIPAL (municipal) | 08GUA123229/12HMDL18           | 216,000.00   | 2,500.00                  | 13/10/2024           | 21°05'30.0" 101°41'45.0" | Condiciones particulares de descarga |

### Ubicación de la descarga de aguas residuales objeto del presente permiso:

Cuenca: Río Turbio

Afluente: Río Lerma

Región hidrológica: Lerma-Santiago

Entidad Federativa: Guanajuato

Municipio: León

Localidad: El Paisaje

Tipo de descarga: Público-urbano

Forma de realizar la descarga: Libre con tubería y canal

Cuerpo receptor: Río de los Gómez

Coordenadas: Latitud norte

Coordenadas: 21°05'30.0" 101°41'45.0"



**Figura 491. Sitio de descarga del Efluente de la PTAR**

Las condiciones particulares de descarga a la que deberán sujetarse las aguas residuales tratadas procedentes de la PTAR municipal de León, aparecen en la Tabla 176.

**Tabla 176. Condiciones particulares y Norma 001-Semarnat-2021 para la descarga de aguas residuales**

| Parámetro   | Condiciones Particulares de Descarga y (NOM-001-SEMARNAT-1996) C.R. Tipo B |               | Carga (kg/d) | NOM-001-Semarnat-2021 (Ríos, arroyos, canales, drenes) |               |                         | Unidades             |
|---|--|---------------|--------------|--|---------------|-------------------------|----------------------|
|   | Concentración promedio   |               |              | Concentración promedio                                 |               |                         |                      |
|   | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) |              | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) | Valor Instantáneo (V.I) |                      |
| Temperatura                                       | 40   | 40            | N.A.         | 35   | 35            | 35                      | °C                   |
| Grasas y Aceites (GyA)                            | 15   | 20            | 32,400       | 15   | 18            | 21                      | mg/L                 |
| Materia flotante                                  | Ausente  | Ausente       | NA           | NA   | NA            | NA                      | Ausencia / presencia |
| Sólidos sedimentables                             | 1  | 1             | NA           | NA   | NA            | NA                      | ml/l                 |
| Sólidos suspendidos totales (SST)                 | 75.00  | 125           | 32,400       | 60   | 72            | 84                      | mg/L                 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | 75.00 (150)  | 150 (160)     | 32,400       | NA   | NA            | NA                      | mg/L                 |
| Demanda Química de Oxígeno(DQO)                   | NA   | NA            | NA           | 150  | 180           | 210                     | mg/L                 |
| Carbón Orgánico Total(COT)                        | NA   | NA            | NA           | 38   | 45            | 53                      | mg/L                 |



| Parámetro                              | Condiciones Particulares de Descarga y (NOM-001-SEMARNAT-1996) C.R. Tipo B |               | Carga (kg/d) | NOM-001-Semarnat-2021 (Ríos, arroyos, canales, drenes) |               |  | Unidades             |
|--|--|---------------|--------------|--|---------------|--|----------------------|
|  | Concentración promedio   |               |              | Concentración promedio                                 |               |  |                      |
|  | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) |              | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) | Valor Instantáneo (V.I.)                   |                      |
| Nitrógeno Total (NT)                   | 40   | 60            | NA           | 25   | 30            | 35   | mg/L                 |
| Fósforo Total (PT)                     | 20   | 30            | NA           | 15   | 18            | 21   | mg/L                 |
| Huevos de Helmintos                    | <5   | <5            | NA           | NA   | NA            | NA   | huevos/litro         |
| Coliformes fecales                     | 1,000  | 2,000         | NA           | NA   | NA            | NA   | NMP/100 ml           |
| <i>Escherichia Coli</i>                | NA   | N.A           | NA           | 250  | 500           | 600  | NMP/100 ml           |
| <i>Enterococos fecales</i>             | NA   | NA            | NA           | 250  | 400           | 500  | NMP/100 ml           |
| pH                                     | 5-10   | 6-9           | NA           | 6-9  | 6-9           | 6-9  | UpH                  |
| Color                                  |  | 100           |              |  |               |  | U Pt-Co              |
| Conductividad                          |  | 1000          |              |  |               |  | µhom/cm              |
| Salinidad                              |  | 15            |              |  |               |  | mg/L                 |
| Sustancias Activas al azul de metileno |  | 5             |              |  |               |  | mg/L                 |
| Sulfuros                               | 25   | 30            |              |  |               |  | mg/L                 |
| Arsénico Total (As)                    | 0.1  | 0.2           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4  | mg/L                 |
| Cadmio Total (Cd )                     | 0.1  | 0.2           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4  | mg/L                 |
| Cianuro Total (CN )                    | 1  | 2             | NA           | 1  | 2             | 3  | mg/L                 |
| Cobre Total (Cu)                       | 4  | 6             | NA           | 4  | 5             | 6  | mg/L                 |
| Cromo Total (Cr)                       | 0.5  | 1             | NA           | 1  | 1.25          | 1.5  | mg/L                 |
| Cromo hexavalente                      |  | 0.1           |              |  |               |  | mg/L                 |
| Mercurio Total (Hg)                    | 0.005  | 0.01          | NA           | 0.01   | 0.015         | 0.02                                       | mg/L                 |
| Níquel Total (Ni)                      | 2  | 4             | NA           | 2  | 3             | 4  | mg/L                 |
| Plomo Total (Pb )                      | 0.2  | 0.4           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4  | mg/L                 |
| Zinc Total (Zn)                        | 10   | 20            | NA           | 10   | 15            | 20   | mg/L                 |
| Color Verdadero                        | NA   | NA            | NA           | Longitud de onda                                       |               | Coefficiente de absorción espectral máximo | NA                   |
|  | NA   | NA            | NA           | 436 nm   |               | 7,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup> |
|  | NA   | NA            | NA           | 525 nm   |               | 5,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup> |
|  | NA   | NA            | NA           | 620 nm   |               | 3,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup> |
| Toxicidad Aguda                        | NA   | NA            | NA           | 2 a los 15 minutos de exposición                       |               |  | UT                   |

C.R. Cuerpo receptor, N.A: No Aplica, P.M: Promedio Mensual, P.D: Promedio Diario, V.I: Valor Instantáneo, NMP: Número más probable, UpH: Unidades de pH, UT: Unidades de Toxicidad

| Parámetro  | Condiciones Particulares de Descarga y (NOM-001-SEMARNAT-1996) C.R. Tipo B |               | Carga (kg/d) | NOM-001-Semarnat-2021 (Ríos, arroyos, canales, drenes) |               |                         | Unidades |
|--|--|---------------|--------------|--|---------------|-------------------------|----------|
|  | Concentración promedio   |               |              | Concentración promedio                                 |               |                         |          |
|  | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) |              | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) | Valor Instantáneo (V.I) |          |
| * Si Cloruros es menor a 1000 mg/L se analiza y reporta DQO. * Si Cloruros es mayor o igual a 1000 mg/L se analiza y reporta COT. * Si la conductividad eléctrica menor a 3500 µS/cm se analiza y reporta E. coli. * Si la conductividad eléctrica es mayor o igual a 3500 µS/cm se analiza y reporta Enterococos fecales. Las determinaciones de Conductividad eléctrica y de Cloruros no requieren la acreditación y aprobación de la entidad correspondiente. Los parámetros y concentraciones en color azul es lo que fija las condiciones particulares de descarga adicionales a la NOM-001-Semarnat-1996 |  |               |              |  |               |                         |          |

## 1.6 Análisis de la memoria de cálculo

El personal de la PTAR no suministró las memorias de cálculo.

## 1.7 Análisis de la información histórica de calidad del agua

A continuación, se presenta un análisis de los parámetros que fueron reportados a la Comisión Nacional del Agua para demostrar el cumplimiento de la CPDs. Estos datos abarcan desde enero de 2019 hasta julio de 2021 y se pueden consultar en la liga [https://drive.google.com/drive/folders/1DMAe\\_0oxv1qD8497kjSQcILlUoDYRbXy?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1DMAe_0oxv1qD8497kjSQcILlUoDYRbXy?usp=sharing), la cual corresponde a la información documental entregada por la PTAR. Dicha información se entregará en memoria extraíble al finalizar el proyecto.

Los parámetros que se presentan en dicho anexo son los solicitados en la NOM-001-SEMARNAT-1996, que son algunos de los incluidos en el título de concesión para descarga de agua residual tratada y contiene parámetros adicionales: NTK, nitritos y nitratos, así como la Demanda Química de Oxígeno.

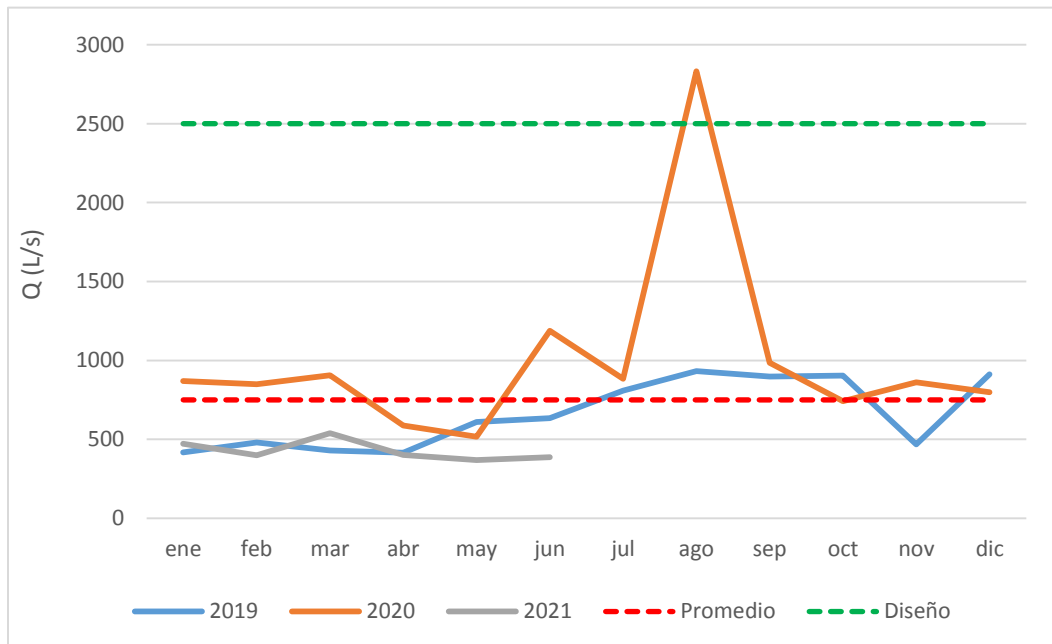
Los datos de los análisis utilizados para hacer la evaluación del efluente de la PTAR son los realizados por el laboratorio “Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León” acreditado por la EMA (AG-032-007/12) y aprobado por Conagua (CNA-GCA-1984), quien realiza la caracterización del efluente de la planta dos veces al mes y los análisis diarios realizados para el control y operación de la planta.

### 2.1.1 Caudal

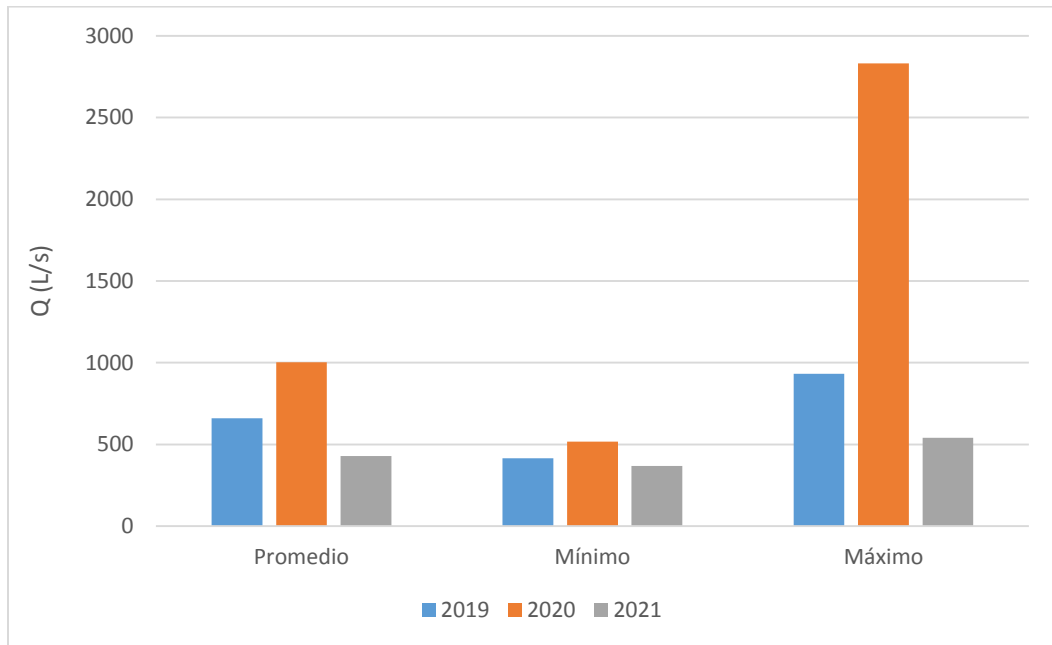
La PTAR MUNICIPAL de acuerdo con el título de concesión puede descargar hasta 216,000 m<sup>3</sup>/d, (2,500 L/s).

La PTAR MUNICIPAL puede tratar un caudal promedio de 2,500 L/s. En la Figura 3, se presentan los datos obtenidos de la medición del caudal en el efluente de la PTAR entre los años 2019 y 2021. La planta ha operado con un caudal promedio mensual de 750.2 L/s. El caudal máximo tratado en la planta fue de 2832.1 L/s en agosto de 2022 y un caudal mínimo de 368.15 L/s.

En la Figura 4 se observa el caudal promedio, máximo y mínimo con que ha operado la planta en los años 2019 -2021. El caudal de operación de la planta está bastante bajo si se compara con la capacidad de diseño.



**Figura 492. Datos históricos de caudal en la PTAR (2019 - 2021)**

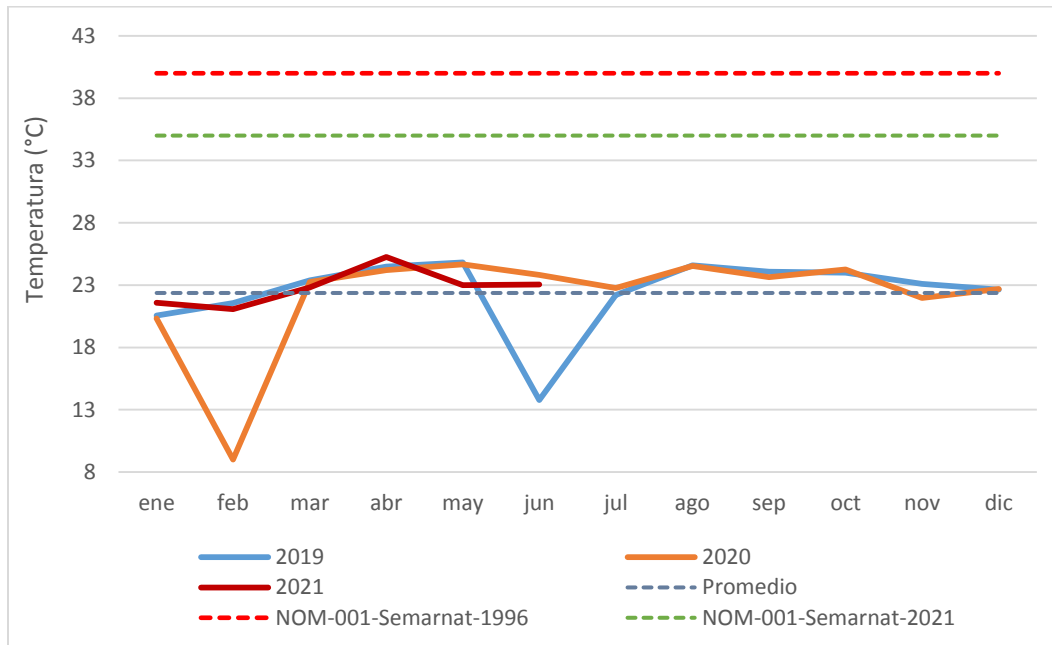


**Figura 493. Caudal promedio, máximo y mínimo PTAR (2018-2021)**

## 2.1.2 Temperatura

La temperatura en el efluente de la Planta también es un parámetro que está normado y que tiene un límite máximo de 35 °C (NOM-001-SEMARNAR-2021) y de 40 °C (NOM-001-SEMARNAR-2021).

La temperatura media mensual del agua residual en los años revisados fue de 22.37 °C. El valor máximo fue de 24.8 °C que se presentó en mayo de 2019 y el valor mínimo de 20.32 °C en enero de 2020. Se observa que este parámetro tiene poca de variación entre 5 y 6 % y como se aprecia en la Figura 494, cumple satisfactoriamente con la normatividad.



**Figura 494. Datos históricos de temperatura en el efluente de la PTAR (2018-2021)**

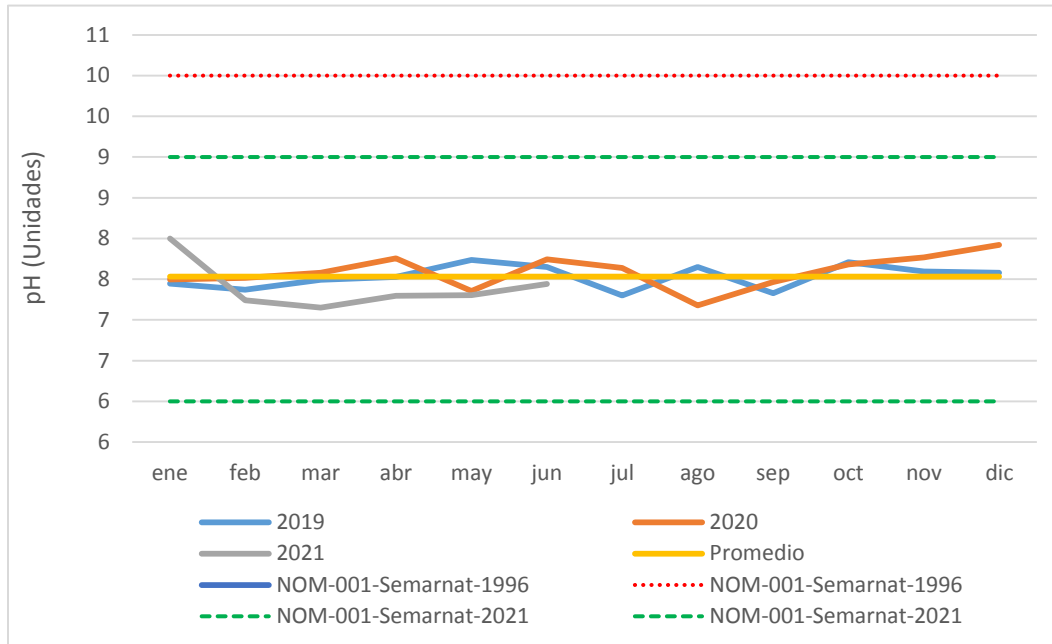
### 2.1.3 pH

Este parámetro resulta importante no solo para el cumplimiento de lo establecido en la normatividad oficial mexicana y lo solicitado en el título de concesión, sino que también resulta indispensable para el proceso de depuración de aguas residuales, ya que la PTAR cuenta con un proceso biológico, cuyos microorganismos dependen de condiciones óptimas de pH para sobrevivir y realizar la degradación de contaminantes de manera adecuada.

Para realizar un adecuado tratamiento y que los microorganismos tengan un ambiente propicio se deben tener valores de pH entre 6.5 y 8.0 unidades de acuerdo con el tipo de proceso. Mientras que la NOM-001-SEMARNAT-1996 permite efluentes con valores entre 5.0 y 10.0 unidades de pH, la modificación de la NOM-001-SEMARNAT-2021 exige el pH en un rango de 6-9.

En la Figura 495, se presentan los valores obtenidos de pH en del efluente de la planta PTAR en los años 2019 y 2021. Se observa que el pH del efluente tiene valores promedio de 7.53 unidades un valor máximo de 7.92 mg/L y valor mínimo de 7.15 mg/L. Por lo tanto, este efluente cumple con las condiciones de descarga exigidas por la normatividad. Además, se observa que el intervalo de pH presente es adecuado para que se desarrollen

adecuadamente los procesos biológicos que conforman el sistema de tratamiento.

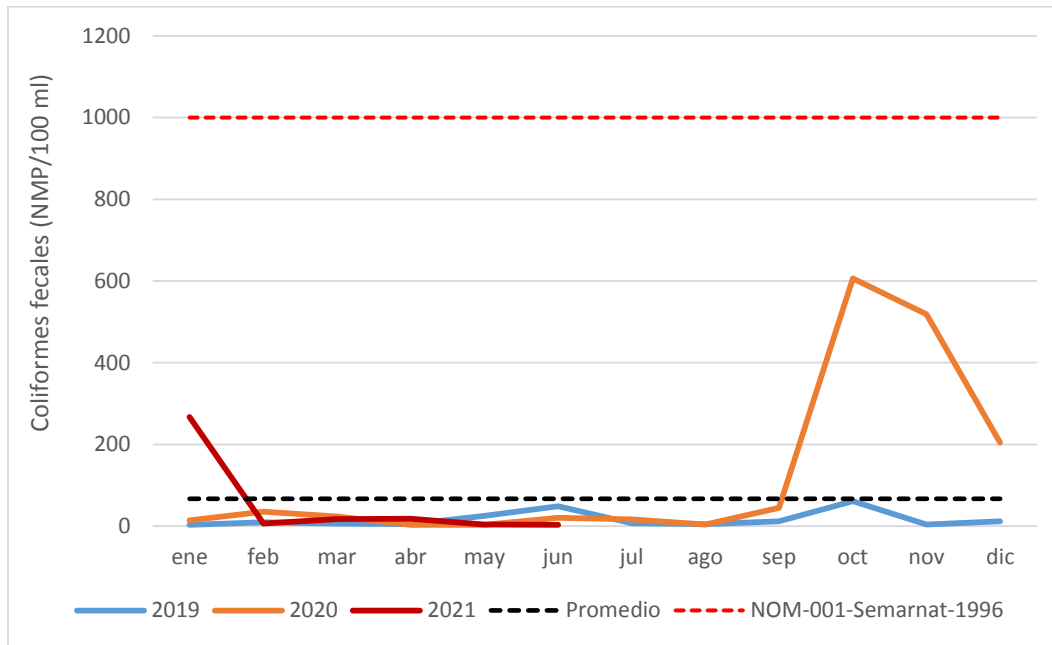


**Figura 495. Datos históricos de pH en la PTAR (2019-2021)**

#### 2.1.4 Coliformes fecales y huevos de helminto

En el efluente de la planta de tratamiento se encontraron concentraciones de coliformes fecales promedios de 66 NMP/100 ml y huevos de helminto <1. Estos valores cumplen satisfactoriamente la norma 001-Semarnat-1996 que establece como LMP 1000 NMP/100 ml de C.F. y 5 huevos de helminto. La NOM-001-Semarnat-2021 no considera estos parámetros para evaluar la contaminación por patógenos Figura 15.

Los resultados del efluente indican que el sistema de desinfección es adecuado para la remoción de microorganismos patógenos.

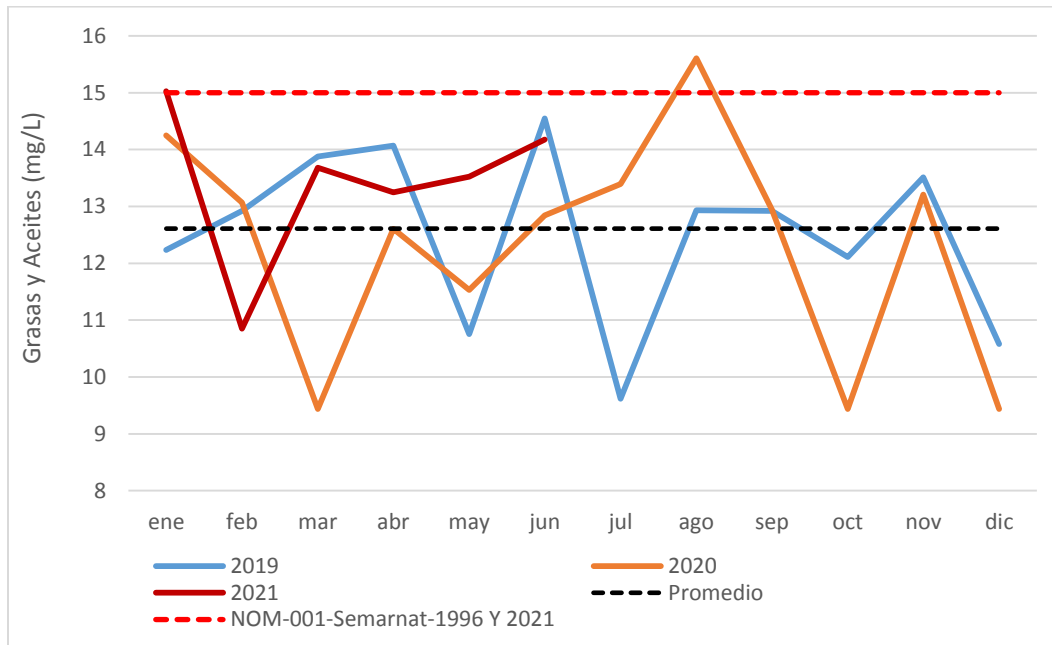


**Figura 496. Datos históricos de Coliformes fecales en la PTAR (2019-2021)**

### 2.1.5 Grasas y Aceites

El valor máximo permitido de grasas y aceites en la descarga de aguas residuales tratadas de acuerdo con las condiciones particulares de descarga es de 20 mg/L promedio diario y de 15 mg/L promedio mensual (NOM-001-Semarnat-1996) y 18 mg/L promedio diario y de 15 mg/L promedio mensual (NOM-001-Semarnat-2021).

Las grasas y aceites tuvieron una concentración promedio mensual de 12.61 mg/L con valores mínimos de 9.62 mg/L y valores máximos de 15.6 mg/L. Aunque solo se observa un dato arriba de 15 mg/L, el 70% es mayor a 11 mg/L. Por tal motivo, aunque se cumple con el promedio mensual estipulado por la norma hay que vigilarlo para que no exceda el LP de descarga Figura 497.



**Figura 497. Datos históricos de grasas y aceites en el efluente de la PTAR (2019-2021)**

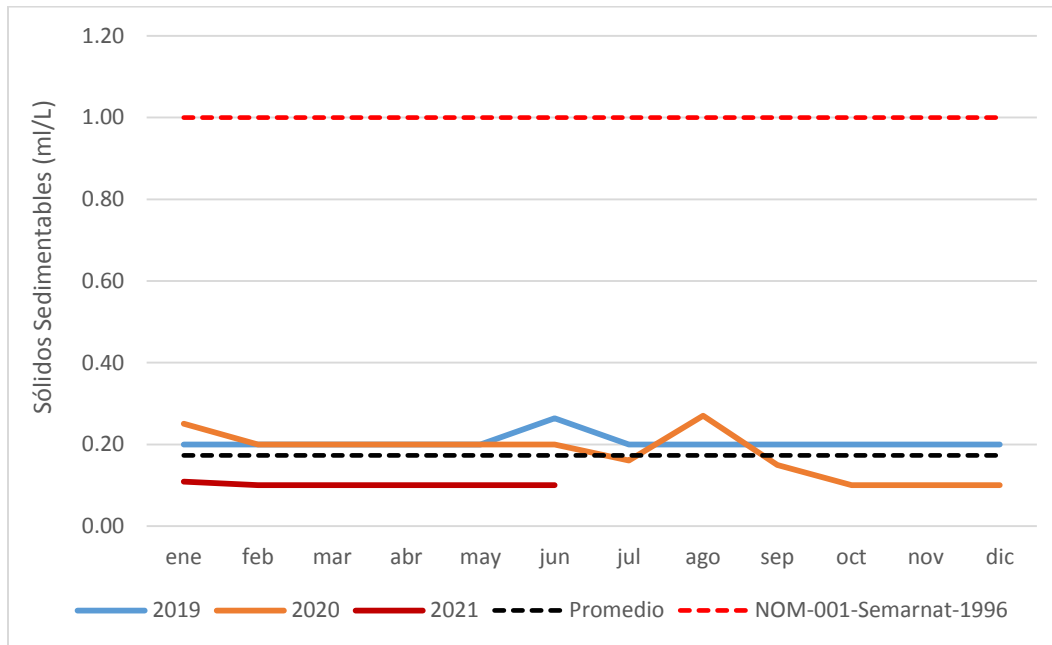
### 2.1.6 Materia flotante

Los resultados de los análisis de materia flotante reportados en los informes mensuales de la planta de tratamiento y los resultados diarios proporcionados por el laboratorio de la PTAR indican que el efluente está libre de materia flotante, por lo que se cumple con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y las condiciones particulares de descarga.

### 2.1.7 Sólidos sedimentables

Los sólidos sedimentables en el efluente de una Planta de tratamiento no deben sobrepasar el límite máximo establecido en las condiciones de descarga, que establece un máximo de 1.0 mg/L promedio diario y 1.0 mg/L promedio mensual. Como se observa en la Figura 498, los sólidos sedimentables en el efluente tienen un promedio de 0.173 mg/L. Lo que indica cumplimiento total de la Normatividad. La NOM-001-Semarnat-2021 no los considera entre los parámetros básicos de control.



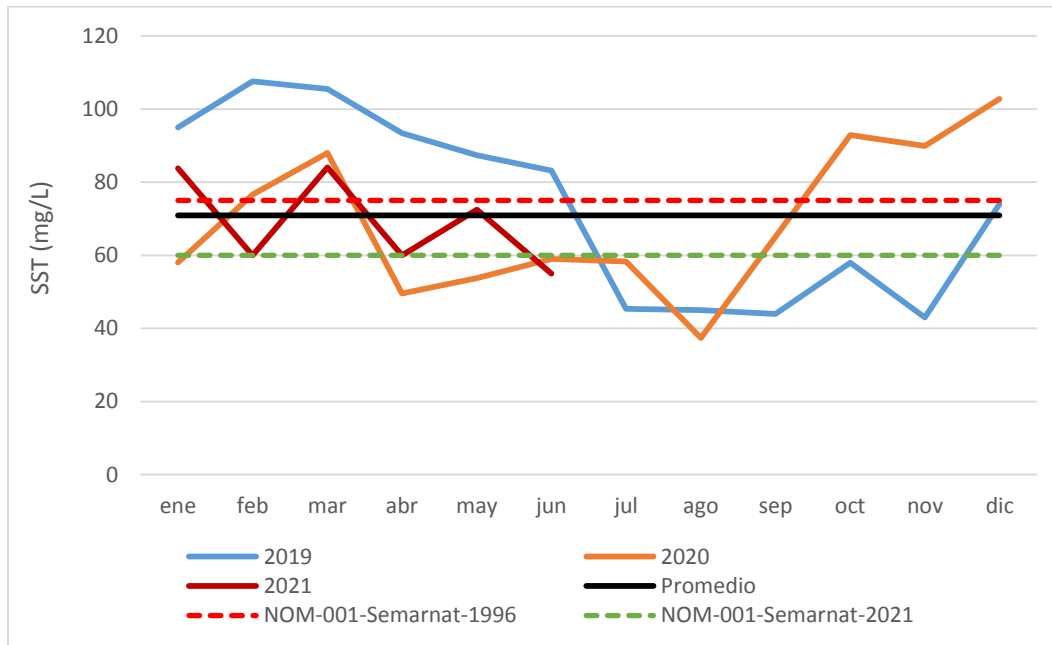


**Figura 498. Datos históricos de sólidos sedimentables en el efluente de la PTAR (2019-2021)**

### 2.1.8 Sólidos suspendidos totales

El promedio mensual de suspendidos totales los fija la norma 001-Semarnat-1996 y 2021 en 75 y 60 mg/L respectivamente.

Como se muestra en Figura 499 el promedio mensual de los datos reportados fue de 71 mg/L. Este valor es muy cercano al LMP de la NOM-001-Semarnat-1996. Los promedios por año fueron de 73.3, 69.3 y 69.2 para los años 2019-2021 respectivamente. El valor máximo es de 107.6 mg/L y el mínimo de 43 mg/L. Por lo tanto, se puede concluir que el desempeño de la planta no es satisfactorio para el cumplimiento de este parámetro y no se cumple con la Norma.

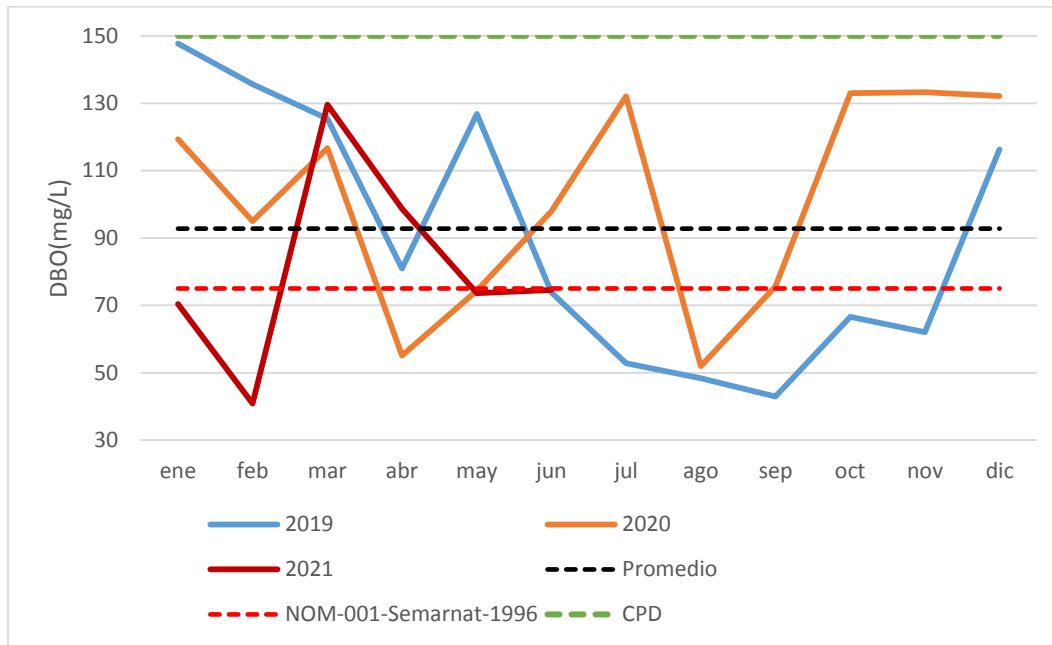


**Figura 499. Datos históricos de sólidos suspendidos totales en el efluente de la PTAR (2019-2021)**

### 2.1.9 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

La remoción de materia orgánica es uno de los parámetros más importantes dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo que determinar la concentración de materia orgánica que se libera en el efluente de la Planta, en forma de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es indispensable para evaluar el desempeño y cumplimiento de la PTAR.

En la Figura 500, se presentan los promedios mensuales de la DBO<sub>5</sub> del efluente. Se observa un valor promedio de 92.77 mg/L para los años 2018-2021. Este valor es superior a los 75 mg/L que exige la NOM-001-Semarnat-2016, pero esta planta tiene una CDP de 150 mg/L de DBO<sub>5</sub> como promedio mensual. De acuerdo con la CPD, el efluente cumple con el límite permisible, sin embargo, el 60% de los datos es mayor a 100 mg/L.

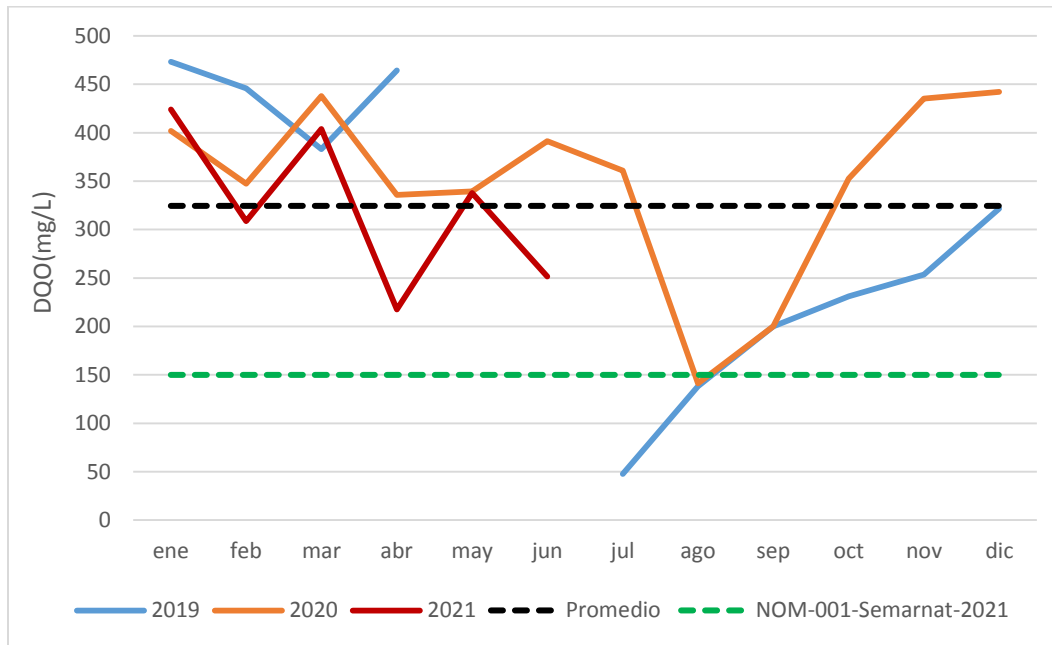


**Figura 500. Datos históricos de DBO<sub>5</sub> en el efluente de la PTAR (2019-2021)**

### 2.1.10 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro que se considera en la NOM-001-Semarnat-2021 que entra en vigor en 2023. Por tal resulta importante analizar si cumple los LMP para ríos, arroyos, canales y drenes un promedio mensual (PM de 150 mg/L) y un promedio diario (PD de 180 mg/L). Este parámetro es muy importante para el control de la remoción de la materia orgánica ya que incluye la materia orgánica biodegradable y la mayor parte de la no biodegradable.

Con los datos obtenidos en el periodo comprendido entre 2018 y 2021, aparecen en la Figura 501. Se observa que para los tres años la DQO tiene un promedio mensual de 324.5 mg/L. Presenta un valor máximo de 473.24 mg/L y un valor mínimo de 47.7 mg/L. Se observa que todos los valores de DQO se encuentran por encima del LP establecido en la NOM-001-Semarnat-2021. Por lo tanto, se concluye que la planta bajo las condiciones actuales de operación no puede cumplir con este parámetro.



**Figura 501. Datos históricos de DQO en el efluente de la planta (2018-2021)**

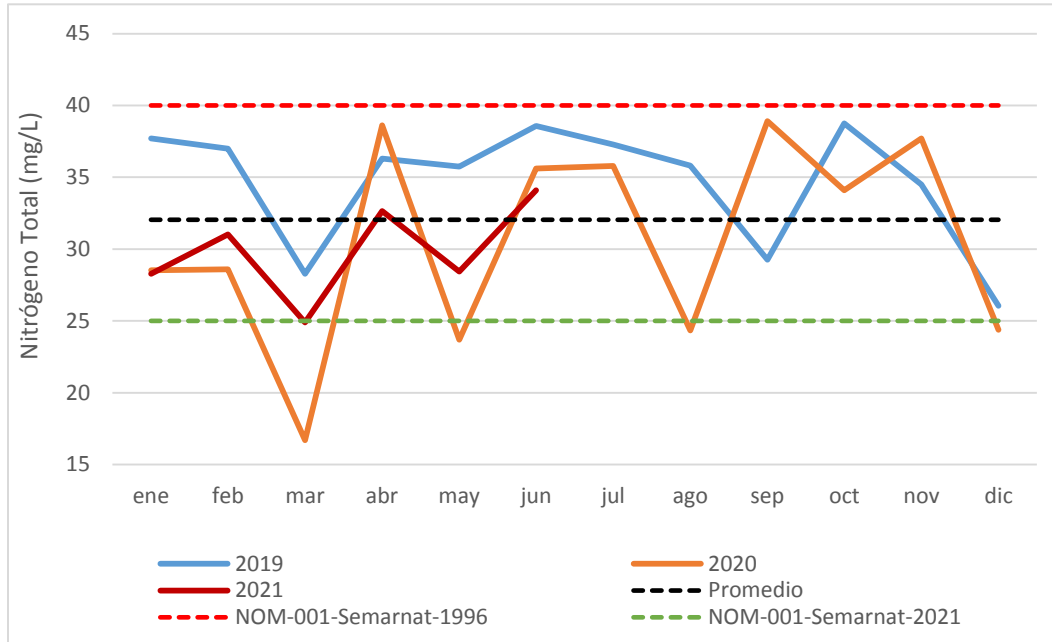
### 2.1.11 Nitrógeno total (NT)

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales que involucran procesos biológicos del tipo de lodos activados permiten la remoción del nitrógeno bajo condiciones de diseño especial. El proceso de la planta de tratamiento es un sistema de tratamiento biológico de biofísicos que no tiene capacidad de remover el nitrógeno. La remoción de nitrógeno total que presenta esta planta se debe a la toma de nutrientes por los microorganismos para realizar sus procesos metabólicos, crecimiento y reproducción principalmente

De acuerdo con la NOM-001-Semarnat-1996 y 2021 con límites permisibles de 40 y 25 mg/L como promedio mensual y los valores reportados durante los años 2019-2021, se muestran en la Figura 502. Como se observa, todos los datos están por debajo de los 40 mg/L que fija la NOM-001-Semarnat-1996. El promedio mensual de los datos es de 32 mg/L con un valor máximo de 38.9 mg/L y un valor mínimo de 16.9 mg/L. Por lo tanto, cumple con el LMP de la norma de 1996.

La planta bajo las condiciones actuales de operación no puede cumplir con la concentración de nitrógeno total requerida por la NOM-001-Semarnat-

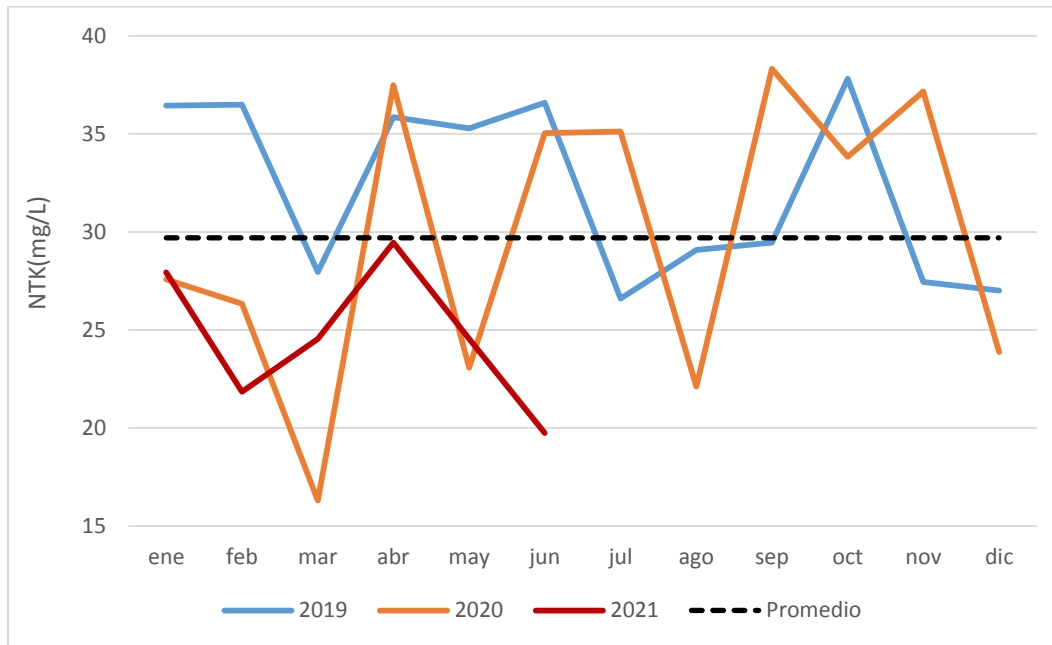
2021. Todos los valores se muestran arriba de 25 mg/L el LP requerido por la norma.



**Figura 502. Datos históricos de nitrógeno total en el efluente de la PTAR (2019 - 2021)**

Más del 90% de la concentración del nitrógeno total en el efluente corresponde al NTK (nitrógeno orgánico más amoniacal). La concentración promedio mensual de NTK fue de 29.7 mg/L con un valor máximo de 29.45 mg/L y un mínimo de 16.3 mg/L. El 10% restante corresponde a las formas oxidadas de nitratos y nitritos. Por lo tanto, se concluye que no se realiza en la planta la oxidación del nitrógeno en la planta de tratamiento.

En la Figura 503, se observa la concentración de NTK en el efluente de la PTAR.



**Figura 503. Datos históricos de NTK en la PTAR (2019-2021)**

### 2.1.12 Fósforo total (PT)

El fósforo es otro nutriente requerido por los microorganismos encargados del tratamiento como fuente de energía, pero también altas concentraciones en el efluente causan problemas de eutroficación en los cuerpos receptores. Por tal motivo la NOM-001-Semarnat - 2016 y 2021 los consideran entre los parámetros básicos de control y fijan un límite permisible de descarga de 20 y 15 mg/L como promedio mensual, respectivamente.

En la Figura 504 aparece la concentración promedio mensual de este parámetro durante los años 2019-2022. La concentración promedio mensual fue de 8.28 mg/L, un valor máximo de 14.89 y un valor mínimo de 1.0 mg/L. Este parámetro cumple con los límites permisibles de descarga de la norma.

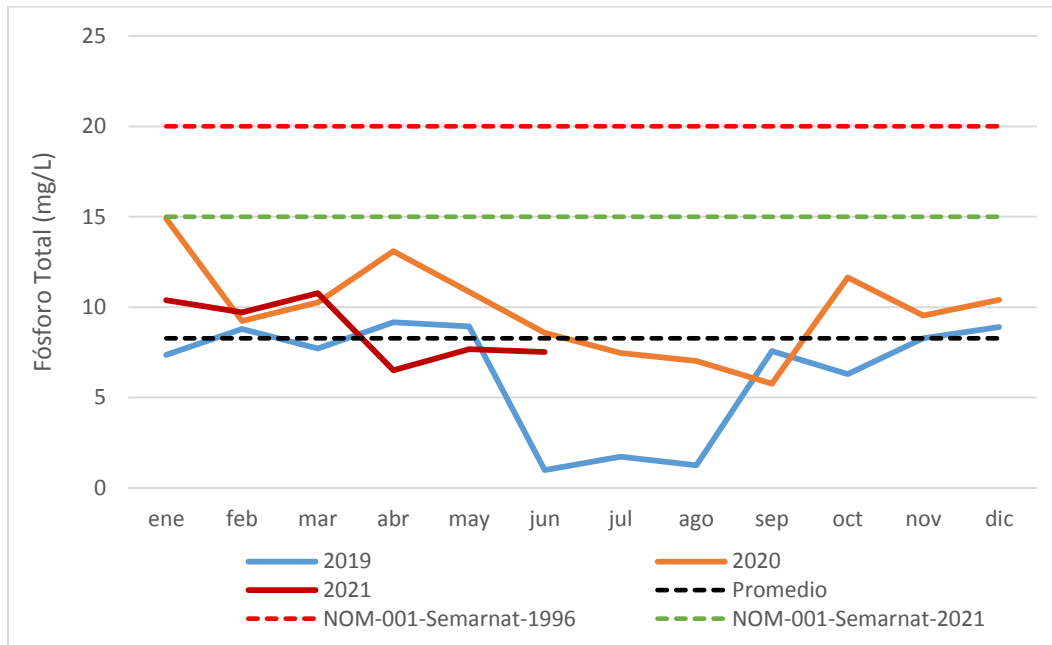


Figura 504. Datos históricos de fósforo total en el efluente de la PTAR (2019 - 2021)

### 2.1.13 Metales y cianuros

Este parámetro resulta importante no solo para el cumplimiento de lo establecido en la normatividad oficial mexicana y lo solicitado en el título de concesión, sino que también resulta indispensable para el proceso de depuración de aguas residuales, ya que la PTAR municipal recibe como parte de su influente el agua residual tratada en la planta de desbaste que trata aguas residuales industriales que pueden contener estos compuestos.

Las concentraciones promedio, máximas y mínimas reportadas en este estudio aparecen en la Tabla 4. Como se observa el efluente de la planta de tratamiento no contiene metales pesados en concentraciones mayores a los límites permisibles y por lo tanto cumple con la normatividad. Sin embargo, se debe prestar atención a las concentraciones de cromo y de mercurio que presentaron valores máximos de 0.807 y 0.0043 mg/L respectivamente. Estos valores son superiores o cercanos al límite permisible de descarga.

Tabla 177. Concentraciones de metales pesados y cianuros durante 2019-2021

| Parámetro | LMP | LP | Promedio | Mínimo | Máximo |
|-----------|-----|----|----------|--------|--------|
|-----------|-----|----|----------|--------|--------|

| (mg/L)   | NOM-001-SEMARNAT-1996 | NOM-001-SEMARNAT-2021 |        |        |        |
|----------|-----------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
|          | PM                    | PM                    |        |        |        |
| Arsénico | 0.1                   | 0.2                   | 0.037  | 0.002  | 0.05   |
| Cadmio   | 0.1                   | 0.2                   | 0.05   | 0.03   | 0.275  |
| Cianuro  | 1                     | 1                     | 0.027  | 0.025  | 0.105  |
| Cobre    | 4                     | 4                     | 0.176  | <0.05  | 0.108  |
| Cromo    | 0.5                   | 1                     | 0.21   | <0.01  | 0.807  |
| Mercurio | 0.005                 | 0.01                  | 0.0038 | <0.001 | 0.0043 |
| Níquel   | 2                     | 2                     | 0.093  | <0.05  | 0.1063 |
| Plomo    | 0.2                   | 0.2                   | 0.0708 | <0.01  | 0.161  |
| Zinc     | 10                    | 10                    | 0.22   | 0.078  | 0.993  |

#### 2.1.14 Resumen de la calidad del agua de PTAR municipal de León, Guanajuato

La Tabla 178 presenta el resumen de las características del efluente de la PTAR durante el período en estudio. En la Tabla 177 se muestran los LMP que debe cumplir de acuerdo con la NOM-001-Semarnat- 1996 y 2021 y los promedios anuales, el máximo y el mínimo reportados durante los años 2019-2021.

Los principales resultados describen a continuación:

La PTAR Municipal de León de acuerdo con el título de concesión puede descargar hasta 2,500 L/s.

**Caudal.** Durante los años analizados 2019-2021 la PTAR operó con un caudal promedio mensual de 750.2 L/s. El caudal máximo tratado en la planta fue de 2,832.1 L/s y un caudal mínimo de 368.15 L/s.

**Temperatura** promedio mensual es de 22.3 °C temperatura adecuado para la operación del proceso y cumplir con la normatividad.

**Grasas y aceites.** Este parámetro presente en el efluente un promedio mensual de 12.61 mg/L con valores mínimos de 9.62 mg/L y valores máximos de 15.6 mg/L. Se cumple con el promedio mensual estipulado por la norma, pero hay que vigilarlo para que no exceda el LP de descarga.



**Materia flotante y sólidos sedimentables** cumplen satisfactoriamente con la NOM-001-Semarnat-1996. Estos parámetros no se consideran en la modificación de la norma.

**Sólidos suspendidos totales (SST).** La planta de tratamiento no cumple en todos los casos con el LMP que establece la norma. Por lo tanto, se puede concluir que el desempeño de la planta no es satisfactorio para el cumplimiento de este parámetro y no se cumple con la Norma.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).** Se observa un valor promedio de 92.77 mg/L para los años 2018-2021. Este valor es superior a los 75 mg/L que exige la NOM-001-Semarnat-2016, pero esta planta tiene una CDP de 150 mg/L de DBO<sub>5</sub> como promedio mensual. De acuerdo con la CPD, el efluente cumple con el límite permisible.

**Demanda química de oxígeno (DQO).** Se observa que para los tres años la DQO tiene un promedio mensual de 324.5 mg/L por lo tanto no cumplirá con el límite permisible establecido en la NOM-001-Semarnat-2021.

**Nitrógeno total (NT).** El nitrógeno total tiene un promedio para los tres años de 32 mg/L y cumple con lo establecido en la NOM-001-Semarnat-1996. No podrá cumplir con la concentración establecida en la actualización de la norma de 25 mg/L.

**Nitrógeno total Kjeldahl (NTK).** Más del 80% de la concentración del nitrógeno total en el efluente corresponde al NTK (nitrógeno orgánico más amoniacal). La concentración de NTK de 3.48 mg/L con un valor máximo de 8.69 mg/L y un mínimo de 1.36 mg/L. El 20% restante corresponde a las formas oxidadas de nitratos (NO<sub>3</sub>) y nitritos (NO<sub>2</sub>).

Más del 90% de la concentración del nitrógeno total en el efluente corresponde al NTK (nitrógeno orgánico más amoniacal). La concentración promedio mensual de NTK fue de 29.7 mg/L con un valor máximo de 29.45 mg/L y un mínimo de 16.3 mg/L. El 10% restante corresponde a las formas oxidadas de nitratos y nitritos. Por lo tanto, se concluye que no se realiza en la planta la oxidación del nitrógeno en la planta de tratamiento y el efluente ejercerá una demanda de oxígeno en el cuerpo receptor.

**Fósforo total (PT).** La concentración de fósforo en el efluente de la descarga es de 8.28 mg/L. Con estas concentraciones el efluente cumple con los límites permisibles de la NOM-001-Semarnat-001-2016 y 2021.

**Coliformes fecales y huevos de helminto.** En el efluente de la planta de tratamiento se encontraron concentraciones de coliformes fecales < 1000 NMP/100 ml y huevos de helminto <1. Estos valores cumplen

satisfactoriamente la norma 001-Semarnat-1996 e indican una buena desinfección del efluente de la planta.

**pH.** Este parámetro tiene un valor promedio mensual de 7.53 unidades. Valor adecuado para la operación del sistema de tratamiento biológico y cumplir satisfactoriamente con la normatividad.

**Metales pesados y cianuros.** El efluente de la planta no presenta concentraciones mayores a los límites permisibles que marca la NOM-001-Semarnat- 1996 y 2021. Sin embargo, se debe prestar atención a las concentraciones de cromo y de mercurio que presentaron valores máximos de 0.807 y 0.0043 respectivamente. Estos valores son superiores o cercanos al límite permisible de descarga.

De acuerdo con los resultados obtenidos al analizar los datos históricos del efluente de la PTAR Municipal de León se concluye:

La planta cumple con las condiciones particulares de descarga de pH, temperatura, grasas y aceites, sólidos sedimentables, materia flotante y DBO.

Respecto a la NOM-001-SEMARNAT-1996, el efluente de la planta no cumple con los parámetros de sólidos suspendidos totales (SST) y Demanda Bioquímica de oxígeno.

En referencia a la actualización de la NOM-001-SEMARNAT-2021, el efluente de la planta no cumplirá con los siguientes parámetros: Sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO) y Nitrógeno total (NT).

Respecto a los metales pesados las concentraciones son inferiores a los límites permisibles, con excepción del cromo total y el mercurio total que presentaron valores promedio mensual próximos y superiores estos límites permisibles.

**Tabla 178. Resumen de la calidad del efluente de la PTAR Municipal de León, Guanajuato**

| Parámetro                             | Unidades | LMP                   | LP                    | 2019    |       |       | 2020   |       |        | 2021  |       |       |
|---------------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|---------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
|                                       |          | NOM-001-SEMARNAT-1996 | NOM-001-SEMARNAT-2021 | PM      |       |       | PM     |       |        | PM    |       |       |
|                                       |          | PM                    | PM                    | Media   | Mín.  | Máx.  | Media  | Mín.  | Máx.   | Media | Mín.  | Máx.  |
| Flujo (promedio)                      | L/s      | 2,500                 |                       | 659.4   | 415.8 | 931.8 | 1002.0 | 516.9 | 2832.1 | 428.  | 368.2 | 539.4 |
| Temperatura (promedio)                | °C       | 40.0                  | 35.0                  | 22.4    | 13.8  | 24.8  | 22.1   | 9.0   | 24.7   | 22.8  | 21.0  | 25.2  |
| Grasas y aceites (promedio ponderado) | mg/L     | 15.0                  | 15.0                  | 12.5    | 9.62  | 14.5  | 12.3   | 9.4   | 15.6   | 13.4  | 10.9  | 15.0  |
| Materia flotante                      |          | Ausente               | Ausente               | Ausente |       |       |        |       |        |       |       |       |
| Sólidos sedimentables                 | ml/L     | 1                     | N.E.                  | 0.20    | 0.20  | 0.26  | 0.18   | 0.10  | 0.27   | 0.10  | 0.1   | 0.11  |
| Sólidos suspendidos totales           | mg/L     | 75.0                  | 60.0                  | 73.5    | 43.0  | 107.6 | 69.3   | 37.4  | 102.8  | 69.2  | 55.0  | 84.0  |
| Demanda bioquímica de oxígeno         | mg/L     | 75.0                  | N.E.                  | 89.9    | 42.9  | 147.7 | 101.4  | 51.9  | 133.3  | 81.3  | 40.8  | 129.6 |
| Demanda química de oxígeno            | mg/L     | 75                    | 150                   | 295.9   | 47.8  | 473.2 | 348.8  | 141.1 | 442.1  | 323.9 | 217.5 | 423.9 |
| Nitrógeno total                       | mg/L     | 40                    | 25                    | 34.6    | 26.0  | 38.7  | 30.6   | 16.7  | 38.9   | 29.9  | 24.9  | 34.1  |
| Nitrógeno total Kjeldahl              | mg/L     | N.E.                  | N.E.                  | 32.2    | 26.6  | 37.8  | 29.7   | 16.3  | 38.3   | 24.7  | 19.8  | 29.5  |
| Nitritos                              | mg/L     | N.E.                  | N.E.                  | 1.60    | 0.12  | 6.03  | 0.42   | 0.03  | 0.43   | 0.48  | 0.03  | 1.19  |
| Nitratos                              | mg/L     | N.E.                  | N.E.                  | 1.86    | 0.19  | 8.57  | 0.455  | 0.224 | 1.29   | 4.73  | 0.26  | 13.71 |
| Fósforo total                         | mg/L     | 20                    | 15                    | 6.42    | 1     | 9.16  | 9.90   | 5.77  | 14.89  | 8.77  | 6.52  | 10.77 |
| Huevos de Helminfos                   | H/L      | 5                     | N.E.                  | <1      | <1    | <1    | 1      | <1    | 1      | 1     | <1    | 1     |

| Parámetro              | Unidades | LMP                   |    | LP                    |   | 2019   |       |       | 2020   |       |        | 2021  |       |        |
|------------------------|----------|-----------------------|----|-----------------------|---|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
|                        |          | NOM-001-SEMARNAT-1996 |    | NOM-001-SEMARNAT-2021 |   | PM     |       |       | PM     |       |        | PM    |       |        |
|                        |          | PM                    |    | PM                    |   | Media  | Mín.  | Máx.  | Media  | Mín.  | Máx.   | Media | Mín.  | Máx.   |
| C.F (media geometrica) | NMP /    | 1,000                 |    | N.E.                  |   | 16.28  | 3.21  | 60.72 | 124.45 | 3.07  | 606.54 | 52.50 | 3.15  | 267.26 |
| pH                     |          | 5                     | 10 | 6                     | 9 | 7.5    | 7.3   | 7.7   | 7.6    | 7.2   | 7.9    | 7.4   | 7.2   | 8.0    |
| Arsénico               | mg/L     | 0.1                   |    | 0.2                   |   | 0.011  | 0.002 | 0.050 | 0.050  | 0.050 | 0.050  | 0.050 | 0.050 | 0.050  |
| Cadmio                 | mg/L     | 0.1                   |    | 0.2                   |   | 0.05   | 0.03  | 0.28  | 0.05   | 0.05  | 0.05   | 0.05  | 0.05  | 0.05   |
| Cianuros               | mg/L     | 1                     |    | 1                     |   | 0.0381 | 0.025 | 0.105 | 0.025  | 0.025 | 0.027  | 0.028 | 0.025 | 0.037  |
| Cobre                  | mg/L     | 4                     |    | 4                     |   | 0.43   | 0.05  | 0.50  | 0.069  | 0.05  | 0.11   | 0.05  | 0.05  | 0.05   |
| Cromo                  | mg/L     | 0.5                   |    | 1                     |   | 0.48   | 0.27  | 0.81  | 0.24   | 0.06  | 0.49   | 0.003 | 0.003 | 0.003  |
| Mercurio               | mg/L     | 0.005                 |    | 0.01                  |   | 0.005  | 0.003 | 0.022 | 0.003  | 0.003 | 0.003  | 0.003 | 0.003 | 0.004  |
| Níquel                 | mg/L     | 2                     |    | 2                     |   | 0.17   | 0.05  | 0.20  | 0.05   | 0.05  | 0.11   | 0.05  | 0.05  | 0.05   |
| Plomo                  | mg/L     | 0.2                   |    | 0.2                   |   | 0.13   | 0.05  | 0.16  | 0.05   | 0.05  | 0.05   | 0.05  | 0.05  | 0.05   |
| Zinc                   | mg/L     | 10                    |    | 10                    |   | 0.38   | 0.15  | 0.99  | 0.17   | 0.08  | 0.40   | 0.12  | 0.09  | 0.15   |

## **1.8 Análisis de la información del Proceso**

### **2.1.15 Análisis rutinarios**

Los análisis rutinarios se realizan en el laboratorio acreditado con el que cuenta SAPAL, por lo que se realizan análisis de los parámetros requeridos en las condiciones particulares de descarga de acuerdo a la NOM-001-semarnat-1996 y a la concesión otorgada por la Comisión Nacional del Agua.

Entre los análisis realizados se encuentra DQO, SST, sólidos sedimentables, pH, temperatura, coliformes fecales y la frecuencia de los análisis es diaria. Sin embargo, dentro de los manuales de operación de la PTAR no se especifican estos análisis ni la frecuencia con la que deben realizarse, por lo que se recomienda incluirlos en el manual.

### **2.1.16 Manual de operación**

El personal de la PTAR municipal facilitó el manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de León, Guanajuato.

Dicho manual consta de 158 páginas que contienen una introducción y la definición del objetivo del manual; el diagrama del proceso de la PTAR desglosado por pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, sistema de suministro de cloro y sistema de biodigestores. El manual no especifica el número de versión o revisión ni el año de elaboración y aprobación, por lo que no se conoce si han realizado actualizaciones para mejorar su contenido, lo que permitiría incluir la experiencia adquirida durante su operación.

En el manual de operación también se indican las medidas de seguridad e higiene, así como el equipo de seguridad requerido para realizar cada una de las actividades requeridas para la operación de la PTAR. Sin embargo, no existe un capítulo destinado a la seguridad e higiene, por lo que se recomienda su habilitación dentro del documento.

### **2.1.17 Reportes de operación (bitácoras)**

El personal de la PTAR envió las bitácoras de operación utilizadas, las cuales abarcan desde enero hasta agosto de 2021.

Las bitácoras incluyen las actividades realizadas diariamente, el estado de cada unidad de proceso, así como los reportes de fallas y las acciones de mantenimiento llevadas a cabo durante el turno.

La bitácora contiene fecha, la descripción de las actividades y las firmas del operador y el jefe de turno. Las actividades se describen por unidad o equipo y se coloca la hora en la que se realizó la actividad.

Por último, se detectó que la bitácora se realiza en un libro de actas, por lo que no se tiene un formato establecido, lo que ocasiona que cada turno se tenga información distinta, por lo que es recomendable que se realice una guía de llenado para las bitácoras, en la que se establezca la información que debe contener y el orden que debe llevar. Esto facilitará el seguimiento de la operación y la supervisión por parte de los responsables de la PTAR.

## **2.1.18 Mantenimiento**

### **1.8.1.1 Programa**

El personal de la PTAR mostró los manuales de mantenimiento y el programa de mantenimiento que incluye mantenimientos preventivos cada 6 meses, a los equipos que se utilizan en la planta.

Asimismo, se verificó la documentación generada durante la solicitud de órdenes de servicio de mantenimiento, internas y externas, las cuales se tienen sistematizadas, se generan de manera digital y se imprime y firma cada orden por el solicitante y el encargado del área de mantenimiento. Asimismo, se identifican las fechas de envío y de posible recepción del equipo después del mantenimiento.

Posteriormente, toda la documentación generada se guarda en carpetas organizadas por área y la clasificación de los equipos.

### **1.8.1.2 Reportes**

En la información proporcionada no se presentó el historial de mantenimientos preventivos y correctivos, realizados en los últimos años. Sin embargo, durante la visita de diagnóstico que se realizó se pudo verificar dicha información con el personal encargado de mantenimiento.

Los reportes se generan de manera digital y se almacenan en carpetas dentro del área de mantenimiento.



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



### 3 ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

#### 3.1 Estado de las unidades de proceso

La PTAR Municipal de León Gto. Tiene una capacidad de tratamiento de 2,5000 L/s. Actualmente el flujo promedio que llega al PTAR es de 1,650 L/s de acuerdo a los datos proporcionado por el encargado de la PTAR (Figura 505). Este flujo entra a los sedimentadores primarios en donde el agua residual municipal es tratada parcialmente. El efluente de los sedimentadores primarios se mezcla con el efluente de sedimentador primario que trata las aguas residuales provenientes de la descarga final del módulo de Desbaste. En flujo total que se obtiene cambiando ambas corrientes en promedio es de 1,735 L/s. La mezcla de las dos aguas residuales alimenta a los dos filtros percoladores. De acuerdo a la información proporcionada por la PTAR, el caudal de diseño de los filtros percoladores es de 1,000 L/s (500 L/s cada filtro percolador), por lo que se tiene un excedente en promedio de agua residual de 735 L/s. Este flujo de agua residual se conduce a través de un canal a cielo abierto sin pasar por el proceso biológico y un proceso de desinfección. Este excedente se mezcla con el efluente final de la PTAR Municipal. En la Figura se muestra un diagrama de los flujos de agua residual en la PTAR Municipal. Actualmente la PTAR solo se encuentra trabajando con un filtro percolador.



**Figura 505. PTAR Municipal de León Gto.**



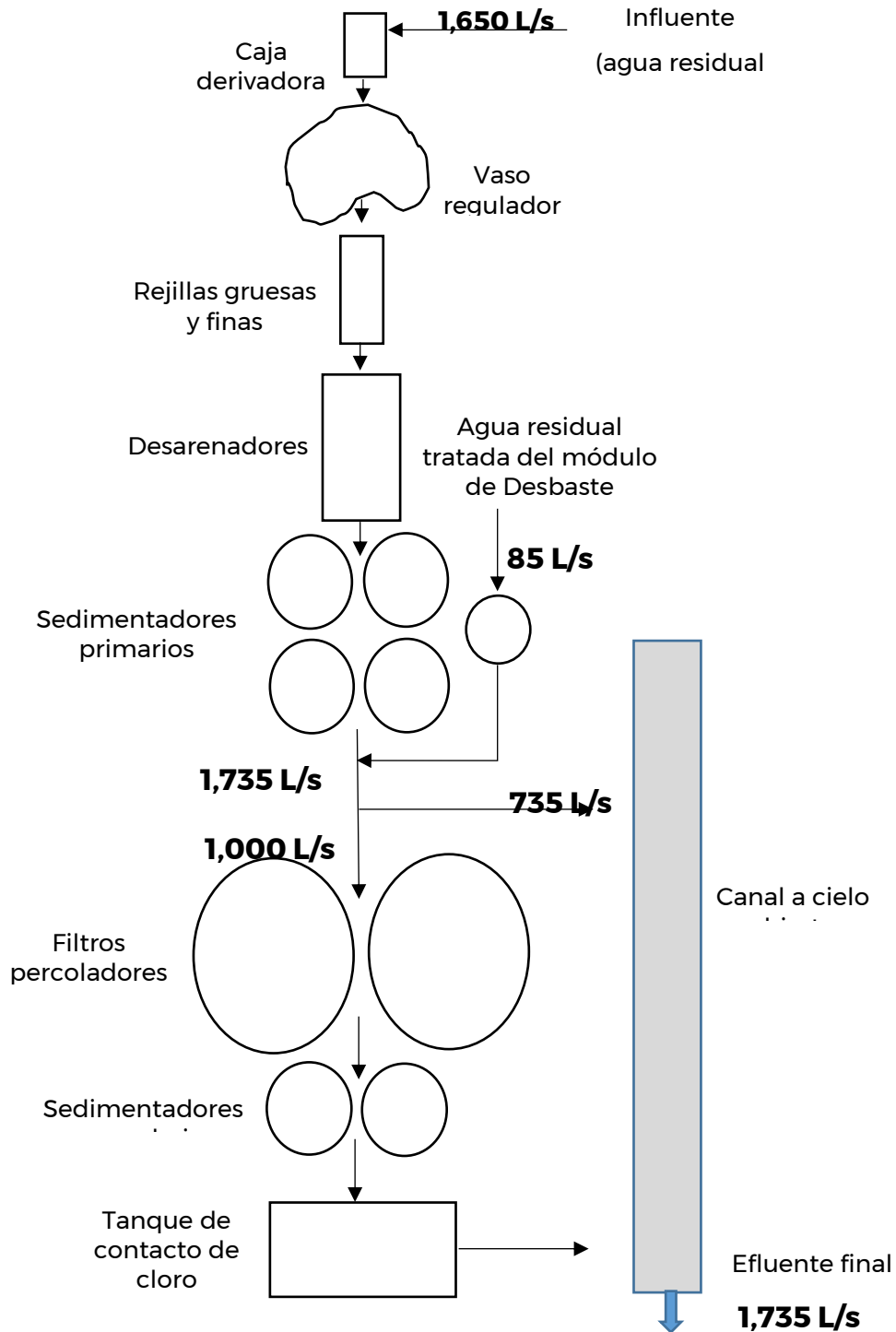


Figura 506. Flujos de agua residual en la PTAR Municipal

En la Figura 507, Figura 508 y Figura 509 se muestran las diferentes corrientes que se mezclan para generar la descarga final de la PTAR.



**Figura 507. Canal a cielo abierto que conduce el excedente del agua residual**



**Figura 508. Efluente del tanque de contacto de cloro**



**Figura 509. Mezcla del excedente de agua residual y del efluente del tanque de contacto de cloro**

La descarga final de la PTAR es enviada al cuerpo receptor y una cantidad es bombeada a los agricultores para el riego de sus parcelas (Figura 510).



**Figura 510. Descarga final de la PTAR Municipal**

### 3.1.1 Pretratamiento

La PTAR Municipal tiene una caja de recepción o caja derivadora que recibe las aguas residuales cruda. A través de una compuerta puede controlar los excedentes de flujo. Durante la evaluación se observó que el agua residual venía con un color marrón oscuro el cual no es típico de un agua residual de origen municipal. Posiblemente existen descargas industriales que se mezclan con las aguas residuales municipales a través de todo el sistema de colectores que atraviesa la Cd. de León Gto.



**Figura 511. Caja de llegada del agua residual municipal**

Después de la caja derivadora el agua residual se envía a un vaso regulador cuya función principal es la de almacenar por poco tiempo el agua residual y agua de lluvia y controlar el flujo del agua residual (Figura 512). En la salida del vaso regulador se tiene cuatro rejillas gruesas de limpieza manual que tiene la función de retener los sólidos de gran tamaño. Las rejillas gruesas tienen un ancho 2.58 m y un espesamiento entre rejillas de 10 y 4.0 cm.



**Figura 512. Vaso regulador**

Una vez que pasa el agua residual a través del vaso regulador ingresa a un cárcamo de bombeo en donde se tienen dispuestos rejillas finas mecánicas de limpieza automática. Se cuentan con dos rejillas finas con ancho de 1.54 m y un espesamiento entre la rejillas de 2.5 cm. Las rejillas mecánicas tienen una limpieza automática cada entre 20 y 40 minutos. Las bandas transportadoras para la recolección de los sólidos retenidos en las rejillas están fuera de servicio. Durante la evaluación se encontraron saturadas de sólidos. Una vez que pasa el agua por las rejillas finas el agua residual es bombeada al canal desarenador. Se encontró una gran cantidad de basura en el cárcamo de bombeo. En el cárcamo de bombeo se tiene cinco bombas que van desde 10 hasta 20 HP.



**Figura 513. Rejillas finas**



**Figura 514. Cárcamo de bombeo**

Actualmente dos desarenadores cuya dimensiones son de 16.8 m de largo y de 5.72 de ancho se encuentran fuera de operación, solo funcionan como tanques de paso (Figura 515). Se observó que existe acumulación de basuras de gran tamaño en los desarenadores, mismas que son extraídas utilizando una mano de chango.



**Figura 515. Desarenadores**

La PTAR actualmente ha colocado un set de hidrocribas de 0.3 cm para separación de sólidos. En un futuro formarán parte de las unidades de tratamiento de la PTAR Municipal. Se encuentran realizando pruebas en las hidrocribas.

### 3.1.2 Sedimentadores primarios

El agua residual que salen de los desarenadores es enviada por gravedad hacia cuatro sedimentadores circulares de forma cónica. El diámetro de los sedimentadores es de 40 m con una profundidad del agua de 6.2 m. El volumen de cada sedimentador es de 6,300 m<sup>3</sup>. El TRH de diseño es de 2.8 h con una carga hidráulica superficial de diseño de 43 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d. Actualmente el TRH de operación de los sedimentadores primarios es de 4.2 h con una carga hidráulica superficial de 28.4 h (Tabla 179).

**Tabla 179. Carga hidráulica superficial y TRH actual de operación en los sedimentadores primarios que tratan aguas residuales municipales**

| Sedimentador primario | Flujo diseño (m <sup>3</sup> /s) | Flujo actual (m <sup>3</sup> /s) | Carga hidráulica superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d) | TRH (h) |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|---------|
| A                     | 0.625                            | 0.412                            | 28.4   | 4.2     |
| B                     |                                  |                                  | 28.4   | 4.2     |
| C                     |                                  |                                  | 28.4   | 4.2     |
| D                     |                                  |                                  | 28.4   | 4.2     |

Los cuatro sedimentadores primarios que tratan aguas residuales se encontraron en buen funcionamiento y en buen estado. Los vertederos con las rastras se encontraron nivelados y operando correctamente. No se observaron sólidos flotantes en los sedimentadores.

Se encuentra un quinto sedimentador primario que recibe las aguas residuales industriales tratadas del módulo de Desbaste. Este sedimentador tiene las mismas características físicas y dimensiones que los cuatro sedimentadores que tratan aguas residuales municipales. Este sedimentador trata actualmente un flujo promedio de 85 L/s. El TRH y la

carga hidráulica superficial actual de operación son de 20.6 h y 5.8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, respectivamente (Tabla 180 ).



**Figura 516. Sedimentadores primarios que tratan aguas residuales municipales**

**Tabla 180. Carga hidráulica superficial y TRH actual de operación en el sedimentador primario que trata las aguas residuales del módulo de Desbaste**

| Sedimentador primario | Flujo diseño (m <sup>3</sup> /s) | Flujo actual (m <sup>3</sup> /s) | Carga hidráulica superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d) | TRH (h) |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|---------|
| A                     | 0.625                            | 0.085                            | 5.8  | 20.6    |

Debido a que la calidad del agua residual del módulo de Desbaste contiene contaminantes específicos esta generó corrosión en las partes metálicas del sedimentador, por lo que los vertederos y rastras se encontraron con corrosión provocando una desnivelación de los mismos y su deterioro

(Figura 517). En este sedimentador se percibió un fuerte olor a sulfuro y amoniaco

Los cinco efluentes de los sedimentadores primarios se combinan en un tanque de recepción donde se bombea un flujo de 1,000 L/s a los filtros percoladores (Figura 518). El excedente del agua residual (735 L/s) se envía a un canal a cielo abierto en donde se mezcla más adelante con el efluente del tanque de contacto de cloro.



**Figura 517. Sedimentador primario que trata las aguas residuales provenientes del efluente final del módulo de Desbaste**





**Figura 518. Caja de recepción donde se combinan los efluentes de los cinco sedimentadores primarios**

### 3.1.3 Filtros percoladores

La PTAR Municipal cuenta con dos filtros percoladores con ventilación natural los cuales están empacados con material sintético (Figura 519). Cada filtro percolador tiene la capacidad de tratar un flujo de agua residual de 500 L/s sin recirculación. Los filtros trabajan en serie. Los filtros percoladores tienen un diámetro de 50 m y una altura de 13 m. Cada filtro percolador tiene nueve niveles de material filtrante cuyas dimensiones de cada módulo es de 1.2 m x 0.6 m. El material de empaque es de tipo cruzado. El THR de diseño es de 37 h. El TRH actual de operación es de 5.6 h. El volumen de empaque es de 20,224 m<sup>3</sup>. Cada filtro tiene cuatro brazos. El sistema de distribución del agua residual es de tipo estático. Actualmente, un filtro percolador se encuentra fuera de operación debido a problemas de taponamiento de los medios de soporte y a un fallo en el distribuidor estático. Un filtro percolador se encuentra recibiendo un flujo de 1,000 L/s el cual es el doble del caudal de diseño. Debido a este problema de sobreflujo, el filtro percolador que se encuentra en funcionamiento presenta grandes problemas de operación y mantenimiento (Figura 520). No se observó formación de biopelícula sobre el material de empaque. Este problema de sobre flujo genera un desprendimiento de la biopelícula por lo que impacta directamente sobre la eficiencia de tratamiento de la PTAR. Además, se observó un problema en el sistema de distribución del agua residual generando que el agua no se distribuya uniformemente sobre toda la superficie del filtro y se tengan flujos preferenciales. Este problema provoca que existan bastantes zonas muertas en el filtro percolador. En su mayoría, el material de empaque se encuentra seco con una acumulación de sólidos y material taponante. Algunos módulos del material de empaque se encontraron destruidos. No se observó la presencia de algas sobre le

material de soporte. Los orificios de los brazos estáticos se encontraron desprendidos y obstruidos. El olor que percibió durante la evaluación fue a un olor a séptico. Derivado de este problema no se observó una buena calidad de agua tratada. No hay crecimiento y formación de biopelículas sobre los medios de empaque.



**Figura 519. Filtros percoladores**





**Figura 520. Situación actual de los filtros percoladores**

### 3.1.4 Sedimentadores secundarios

Cada filtro percolador tiene un sedimentador secundario con las mismas dimensiones y características físicas (Figura 521). El agua que sale del filtro percolador se reparte a los dos sedimentadores secundarios. El agua residual que se encuentra en los sedimentadores secundarios es de color gris oscuro con presencia de una gran cantidad de flóculos color negro y café y presencia de basura. Debido a la baja eficiencia de tratamiento de los filtros percoladores los sedimentadores secundarios funcionan solo como tanques de paso. El manto de lodos tomados en los dos sedimentadores mostró acumulación de lodos de hasta 2.5 m. Se observó la presencia de burbujas en ambos sedimentadores indicando que en el fondo se están llevando a cabo procesos anóxicos y/o formándose condiciones anaerobias. Los vertederos se encuentran ligeramente desnivelados. El estado actual de los dos sedimentadores es bueno.





**Figura 521. Estado actual de los sedimentadores secundarios**

### 3.1.5 Desinfección

El último proceso de tratamiento del agua residual de la PTAR Municipal es un proceso de desinfección con la aplicación de cloro gas el cual se lleva a cabo en un tanque de contacto de cloro (Figura 522). La PTAR cuenta con un solo tanque de contacto de cloro que tiene cinco canales por donde fluye el agua residual. El ancho del tanque es de 11 m y de largo tiene una longitud de 52.5 m. El cloro se introduce a la entrada del primer canal con una tasa de dosificación de cloro gas entre 500 y 800 kg/h que corresponde a una dosificación de cloro entre 139 y 222 mg/L. Debido a que el agua residual no es tratada eficientemente por los procesos anteriores, en todos los canales se observó la presencia de natas y espumas blancas producto de la reacción entre el cloro y la materia orgánica y compuestos nitrogenados contenido en las aguas residuales (Figura 523). Debido a esto, en el efluente del tanque de contacto de cloro se observó con abundante espuma (Figura 524). La presencia de materia orgánica y compuestos nitrogenados en las aguas residuales disminuyen la capacidad de desinfección del agente oxidante para la eliminación de microorganismos patógenos generando otros subproductos que pueden generar toxicidad a las aguas residuales.



**Figura 522. Tanque de contacto de cloro**



**Figura 523. Presencia de natas y espumas en el tanque de contacto de cloro**



**Figura 524. Efluente del tanque de contacto de cloro con la presencia de espumas derivada de la reacción química entre el cloro y la materia orgánica**

La PTAR cuenta con una caseta e cloración en donde se tienen los tanques de cloro gas. La dosificación del cloro se realiza a través de un equipo de dosificación de cloro (Figura 525). Existen dos equipos de dosificación de cloro marca *De Nora* de Capital Control los cuales se encuentran fuera de servicio. Actualmente la caseta de cloración contiene todos los elementos de seguridad y equipos para llevar un buen control del proceso de desinfección utilizando cloro gas.

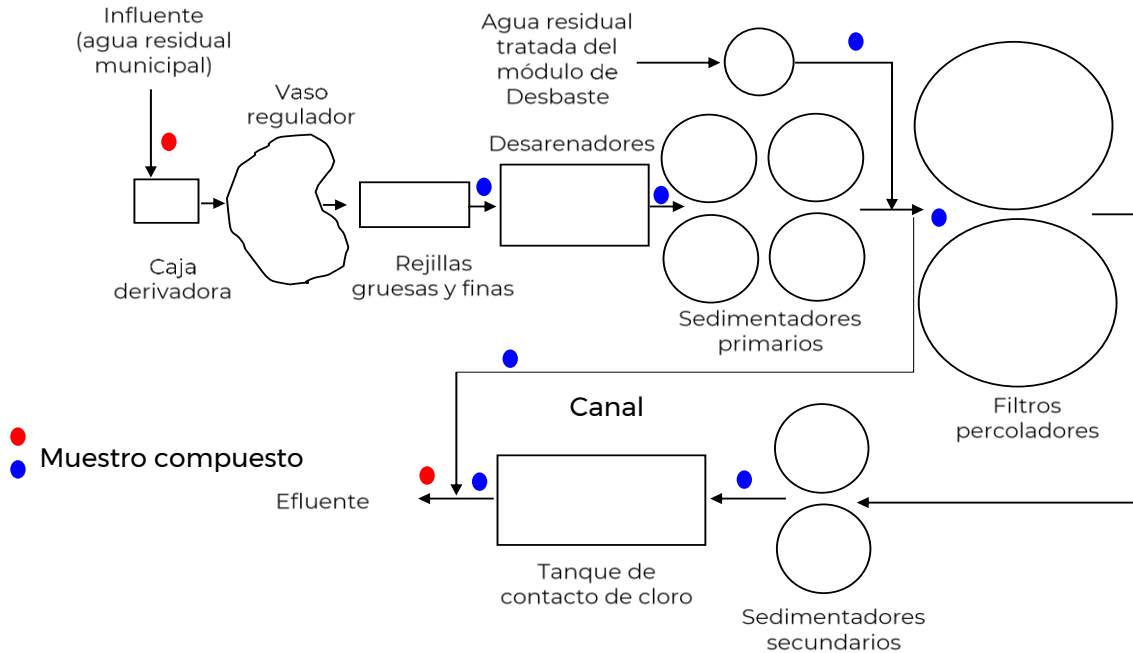


**Figura 525. Caseta de cloración**

### 3.2 Muestreo y calidad del agua residual

Para realizar el muestreo del agua residual en la PTAR “Municipal” se realizó previamente un recorrido a las instalaciones con el personal operativo de la PTAR, con el objetivo de seleccionar los puntos de muestreo más adecuados y para poder evaluar las eficiencias de remoción de los contaminantes en cada una de las unidades de tratamiento que conforman la PTAR. Los puntos de muestreo seleccionados de la PTAR “Municipal” se muestran en la Figura 38. Se tomaron muestras simples de DBO<sub>5</sub>, DQO, pH, conductividad eléctrica, cloruros totales, SST, NT, NTK, N-NH<sub>3</sub>, PT, sulfatos, sulfuros, cromo hexavalente y cromo en los siete puntos seleccionados. Se tomó un muestro compuesto del influente y de la descarga final de la PTAR tomando en cuenta los parámetros de calidad del agua que se señalan en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021. Asimismo, de tomaron muestras de toxicidad en el canal, en la salida de los sedimentadores secundarios y en la salida del tanque de contacto de cloro. Se tomaron muestras simples para coliformes fecales, *E.coli* y Enterococos fecales en el canal y en la salida del tanque de contacto de cloro. También se tomaron muestras simples para el color verdadero y metales pesados en

el sedimentador primario de Desbaste, salida de los sedimentadores secundarios, salida del tanque de contacto de cloro y en el canal. En Tabla 181 se muestran un resumen parámetros evaluados en cada punto de muestreo de la PTAR los cuales se seleccionaron de acuerdo a los parámetros de diseño de cada unidad de proceso de la PTAR.



**Figura 38. Puntos de muestros tomados para la caracterización del agua residual en la Municipal**

**Tabla 181. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua en la PTAR Municipal**

| Parámetro             | Descripción      | Influyente | Salida rejillas gruesa y finas | Salida tanque desarenador | Salida sedimentadores primarios | Salida sedimentador primario de Desbaste | Salida sedimentadores secundarios | Salida tanque de contacto de cloro | Canal | Efluente |
|-----------------------|------------------|------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--|-----------------------------------|------------------------------------|-------|----------|
|                       | No. de muestras  | 1          | 1                              | 1                         | 1                               | 1  | 1                                 | 1                                  | 1     | 1        |
| NOM-001-SEMARNAT-1996 | pH               |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | Temperatura      |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | Materia flotante |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | Sól. Sed.        |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | GyA              |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | SST              |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | DBO              |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | NT               |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | PT               |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | Metales pesados  |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | HH               |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | CF               |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
| NOM-001-SEMARNAT-2021 | DQO              |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | COT              |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | Toxicidad aguda  |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |
|                       | Color verdadero  |            |                                |                           |                                 |  |                                   |                                    |       |          |



| <b>Parámetro</b>        | <b>Descripción</b>                | <b>Influente</b>            | <b>Salida rejillas gruesa y finas</b> | <b>Salida tanque desarenador</b> | <b>Salida sedimentadores primarios</b> | <b>Salida sedimentador primario de Desbaste</b> | <b>Salida sedimentadores secundarios</b> | <b>Salida tanque de contacto de cloro</b> | <b>Canal</b>    | <b>Efluente</b>             |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--|---|--|---|-----------------|-----------------------------|
|                         | <b>No. de muestras</b>            | 1                           | 1                                     | 1                                | 1                                      | 1   | 1  | 1   | 1               | 1                           |
|                         | <b><i>E. coli</i></b>             |                             |                                       |                                  |  |   |  |   |                 |                             |
|                         | <b><i>Enterococos fecales</i></b> |                             |                                       |                                  |  |   |  |   |                 |                             |
| <b>Tipo de muestreo</b> |                                   | Compuesto, 24 h, 6 muestras | Muestreo simple                       | Muestreo simple                  | Muestreo simple                        | Muestreo simple                                 | Muestreo simple                          | Muestreo simple                           | Muestreo simple | Compuesto, 24 h, 6 muestras |

### 3.2.1 Resultados del muestreo compuesto

En la Tabla 182 se muestran los resultados del muestreo compuesto realizados en la PTAR. Como se mencionó anteriormente, el efluente tratado de la PTAR “Desbaste” se envía a un sedimentador primario de la PTAR “Municipal”. El efluente de este sedimentador se mezcla con los efluentes de los cuatro sedimentadores primarios de la PTAR “Municipal”. La mezcla de estos efluentes se envía a los filtros percoladores. Por lo tanto, es muy importante determinar cómo afecta la calidad del agua del efluente del sedimentador que proviene de la PTAR “Desbaste”. Las concentraciones de los contaminantes encontradas en el influente de la PTAR durante el muestreo de 24 horas fueron altas con valores para la DQO, DBO y COT de 1,029, 308 y 189.8 mg/L respectivamente. Para el N-NT y PT la concentración fue de 102 y 11.7 mg/L respectivamente. La concentración de SST fue de 245 mg/L y de 41.1 mg/L para las GyA. En el caso de los metales pesados incluyendo el cromo se encontraron en bajas concentraciones. Los parámetros microbiológicos tales como CF, *E.coli* se encontraron con bajos valores.

Para la NOM-001-SEMARNAT-1996, los parámetros fisicoquímicos en el efluente que no cumplieron fueron los sólidos sedimentables, GyA, DBO y NT.

Para la NOM-001-SEMARNAT-2021, los parámetros que no cumplen con los límites permisibles son GyA, NT, DQO, *E. coli* y toxicidad.

La relación DQO/DBO del influente de la PTAR fue de 3.34 indicando que es poco biodegradable. Los valores de la toxicidad aguda en el influente de la PTAR indican que el agua residual que llega a la PTAR es altamente tóxica con valores en todas las muestras simples a los 15 minutos de exposición mayores a 22 UT. El efluente de la PTAR presentó una toxicidad más alta que la del influente con valores hasta 188.3 UT. Este resultado se debe a dos factores, el primer factor se debe a la baja remoción de contaminantes ocasionada por la baja eficiencia de operación de los filtros percoladores y el segundo factor a la mezcla del agua residual que se conduce el canal con el efluente del tanque de contacto de cloro. La mezcla de estos dos efluentes se convierte en la descarga final de la PTAR Municipal. Este canal transporta en promedio un flujo de 735 L/s. Este flujo de agua residual que se envía al canal no recibe ningún tratamiento, por lo que la carga de contaminantes que transporta este canal es considerablemente alta. En la Tabla 183 se muestra los resultados de las concentraciones de los contaminantes en el agua residual que se conduce en el canal. Se puede

observar que el agua residual que transporta el canal contiene altas concentración de materia orgánica biodegradable y no biodegradable, N-NT, NTK, N-NH<sub>3</sub>, PT, sulfatos y sulfuros. Debido a la complejidad del agua residual que se conduce en el canal se genera una alta toxicidad, lo cual impacta de forma negativa en la calidad del agua en los cuerpos receptores y causar daños en los ecosistemas. El agua residual que llega a la PTAR contiene altos valores de DQO y N-NT lo cual no es típico para un agua residual municipal.

Posiblemente pueden existir descargas industriales que se mezclan con las aguas residuales municipales. En el muestro compuesto también se analizaron los cloruros totales, NTK, N-NH<sub>3</sub>, sulfatos, sulfuros y cromo hexavalente. En la Tabla 183, se muestran los resultados de las concentraciones de estos parámetros en el influente, canal y efluente de la PTAR. En esta tabla, se muestra el efecto negativo que provoca el agua residual que es conducida en el canal ya que varios de los contaminantes incrementan sus concentraciones respecto a las concentraciones en el influente. Se comprueba también que existe influencia industria en el influente de la PTAR ya que se detectó cromo hexavalente, sulfatos, sulfuros y N-NH<sub>3</sub> en el agua residual que llega a la PTAR.

**Tabla 182. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT 1996 y 2021.**

| Parámetro                | Unidades | Compuesto      |               | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Cuerpo receptor tipo B (PM) | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Ríos, arroyos, canales, drenes (PM) |
|--------------------------|----------|----------------|---------------|--|--|
|                          |          | Influente (PM) | Efluente (PM) |  |  |
| pH                       | UpH      | 7.65           | 7.41          | 5 - 10   | 6 - 9  |
| Temperatura              | °C       | 24.5           | 24.1          | 40   | 35   |
| G y A promedio ponderado | mg/L     | 41.1           | 39.7          | 15   | 15   |
| Material Flotante        | A / P    | Presencia      | Ausente       | Ausente  | NA   |
| S. Sed.                  | ml/L     | 1.5            | 2.0           | 1  | NA   |
| SST                      | mg/L     | 245            | 43.3          | 75   | 60   |

| Parámetro               | Unidades      | Compuesto            |                      | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Cuerpo receptor tipo B (PM) | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Ríos, arroyos, canales, drenes (PM) |
|-------------------------|---------------|----------------------|----------------------|--|--|
|                         |               | Influente (PM)       | Efluente (PM)        |  |  |
| DBO                     | mg/L          | 308                  | 200                  | 75   | NA   |
| NT                      | mg/L          | 102                  | 95.9                 | 40   | 25   |
| PT                      | mg/L          | 11.7                 | 9.47                 | 20   | 15   |
| As                      | mg/L          | 0.008                | 0.0066               | 0.1  | 0.2  |
| Cd                      | mg/L          | <0.030               | <0.030               | 0.1  | 0.2  |
| CN                      | mg/L          |                      |                      | 1.0  | 1.0  |
| Cu                      | mg/L          | <0.05                | <0.05                | 4.0  | 4.0  |
| Cr                      | mg/L          | 0.97                 | 0.41                 | 0.5  | 1.0  |
| Hg                      | mg/L          | <0.0005              | <0.0005              | 0.005  | 0.01   |
| Ni                      | mg/L          | <0.10                | <0.10                | 2.0  | 2.0  |
| Pb                      | mg/L          | <0.10                | <0.10                | 0.2  | 0.2  |
| Zn                      | mg/L          | 0.27                 | 0.14                 | 10.0   | 10.0   |
| CF media geométrica     | NMP/100 mL    | 4.7x10 <sup>3</sup>  | 8.06x10 <sup>2</sup> | 1,000  | NA   |
| HH                      | H/L           | 0                    | 0                    | 1  | NA   |
| DQO                     | mg/L          | 1,029                | 689                  | NA   | 150  |
| COT                     | mg/L          | 189.8                | 174.8                | NA   | 38   |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 mL    | 4.73x10 <sup>2</sup> | 3.88x10 <sup>2</sup> | NA   | 250  |
| Enterococos fecales     | (NMP/100 mL)  | 1.8x10 <sup>6</sup>  | 6.93x10 <sup>5</sup> | NA   | 250  |
| pH                      | UpH           | 7.65                 | 7.41                 | 5 - 10   | 6 - 9  |
| Temperatura             | °C            | 24.5                 | 24.1                 | 40   | 35   |
| Color                   | Long. De onda |                      |                      | NA   | Coefficiente absorción Espectral máximo                      |
|                         | 436 nm        | 7.2                  | 5.4                  |  | 7.0 m <sup>-1</sup>  |
|                         | 525 nm        | 4                    | 3                    |  | 5.0 m <sup>-1</sup>  |

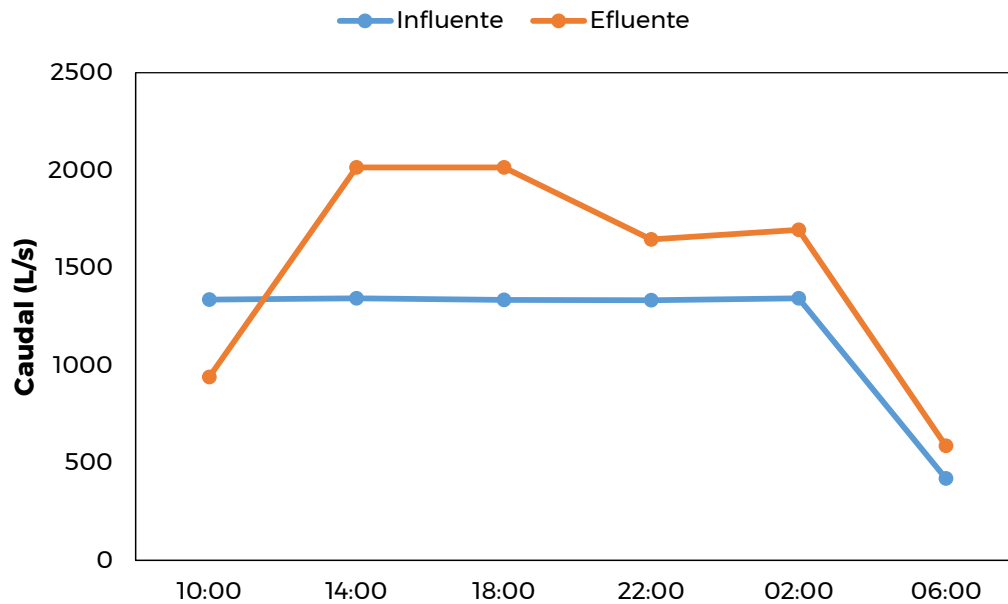
| Parámetro       | Unidades     | Compuesto       |               | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Cuerpo receptor tipo B (PM) | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Ríos, arroyos, canales, drenes (PM) |
|-----------------|--------------|-----------------|---------------|--|--|
|                 |              | Influyente (PM) | Efluente (PM) |  |  |
|                 | 620 nm       | 2.3             | 1.6           |  | 3.0 m <sup>-1</sup>  |
| Toxicidad aguda | UT<br>15 min | 54.64           | 75.87         | NA   | 2  |

**Tabla 183. Contaminantes presentes en el canal y su impacto sobre el efluente final de la PTAR Municipal**

| Parámetro                            | Influyente | Canal   | Efluente final |
|--------------------------------------|------------|---------|----------------|
| DQO (mg/L)                           | 1,029      | 677     | 689            |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)              | 308        | 295     | 200            |
| COT (mg/L)                           | 189.9      | 161.3   | 174.8          |
| SST (mg/L)                           | 245        | 64      | 43.3           |
| N-NT (mg/L)                          | 102        | 106     | 95.9           |
| NTK (mg/L)                           | 102        | 106     | 95.9           |
| N-NH <sub>3</sub> (mg/L)             | 74.9       | 82.6    | 78             |
| PT (mg/L)                            | 11.7       | 8.13    | 9.47           |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L) | 45.8       | 50.5    | 137            |
| S <sup>2-</sup> (mg/L)               | 2.18       | 6.9     | 6.8            |
| As (mg/L)                            | 0.008      | 0.0064  | 0.0066         |
| Cd (mg/L)                            | <0.03      | <0.03   | <0.03          |
| Cu (mg/L)                            | <0.05      | <0.05   | <0.05          |
| Cr (mg/L)                            | 0.97       | 0.37    | 0.41           |
| Hg (mg/L)                            | <0.0005    | <0.0005 | <0.0005        |
| Ni (mg/L)                            | <0.10      | <0.10   | <0.10          |
| Pb (mg/L)                            | <0.10      | <0.10   | <0.10          |
| Zn (mg/L)                            | 0.27       | 0.11    | 0.14           |

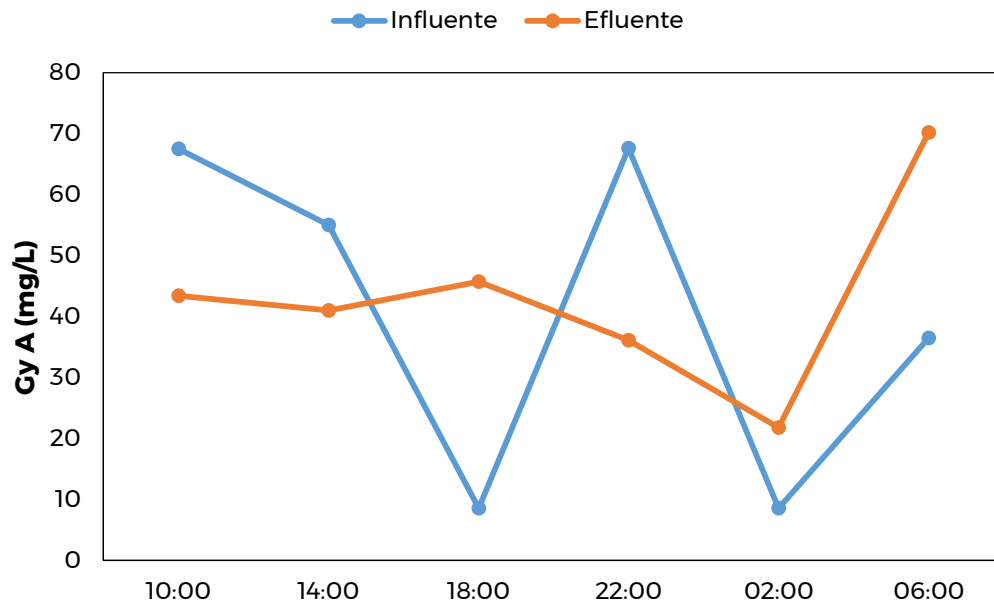
| <b>Parámetro</b>                   | <b>Influente</b>   | <b>Canal</b>      | <b>Efluente final</b> |
|------------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| Cromo hexavalente (mg/L)           | 0.195              | <0.10             | <0.10                 |
| Cloruros totales (mg/L)            | 278                | 325               | 329                   |
| CF (NMP/100 mL)                    | $4.7 \times 10^3$  | $9.0 \times 10^2$ | $8.06 \times 10^2$    |
| <i>E.coli</i> (NMP/100 mL)         | $4.73 \times 10^2$ | $3.0 \times 10^2$ | $3.88 \times 10^2$    |
| Enterococos fecales (NMP/100 mL)   | $1.8 \times 10^6$  | $1.4 \times 10^6$ | $6.93 \times 10^5$    |
| HH (# huevos/L)                    | 0                  | 0                 | 0                     |
| Toxicidad UT                       |                    |                   |                       |
| 5 min                              | 45.56              | 22.17             | 70.10                 |
| 15 min                             | 54.64              | 21.5              | 75.87                 |
| 30 min                             | 48.05              | 16.25             | 68.03                 |
| EC <sub>50</sub> (%)               |                    |                   |                       |
| 5 min                              | 2.52               | 4.51              | 2.32                  |
| 15 min                             | 2.19               | 4.65              | 2.12                  |
| 30 min                             | 2.56               | 6.15              | 2.23                  |
| Color verdadero (m <sup>-1</sup> ) |                    |                   |                       |
| 436 nm                             | 7.2                | 4.8               | 5.4                   |
| 525 nm                             | 4                  | 2.7               | 3                     |
| 620 nm                             | 2.3                | 1.6               | 1.6                   |

En la Figura 526 se muestra la variación del caudal durante un periodo de 24 h. El máximo caudal presentado en el influente de la PTAR fue en el segundo periodo de muestro (14:00 h) el cual fue de 1,344 L/s. El caudal más bajo medido se presentó a las 6:00 h con un valor de 420 L/s. El caudal promedio en el influente de la PTAR fue de 1,185 L/s que corresponde a un 47.4% del gasto de diseño para el tratamiento primario (2,500 L/s). En el efluente, el caudal promedio fue de 1,482 L/s tomando en cuenta el gasto del canal y el gasto que sale del tanque de contacto de cloro. El máximo caudal se presentó a las 14:00 y 18:00 h y el flujo más bajo a las 6:00 h.



**Figura 526. Variación del caudal en el influente y efluente de la PTAR Municipal**

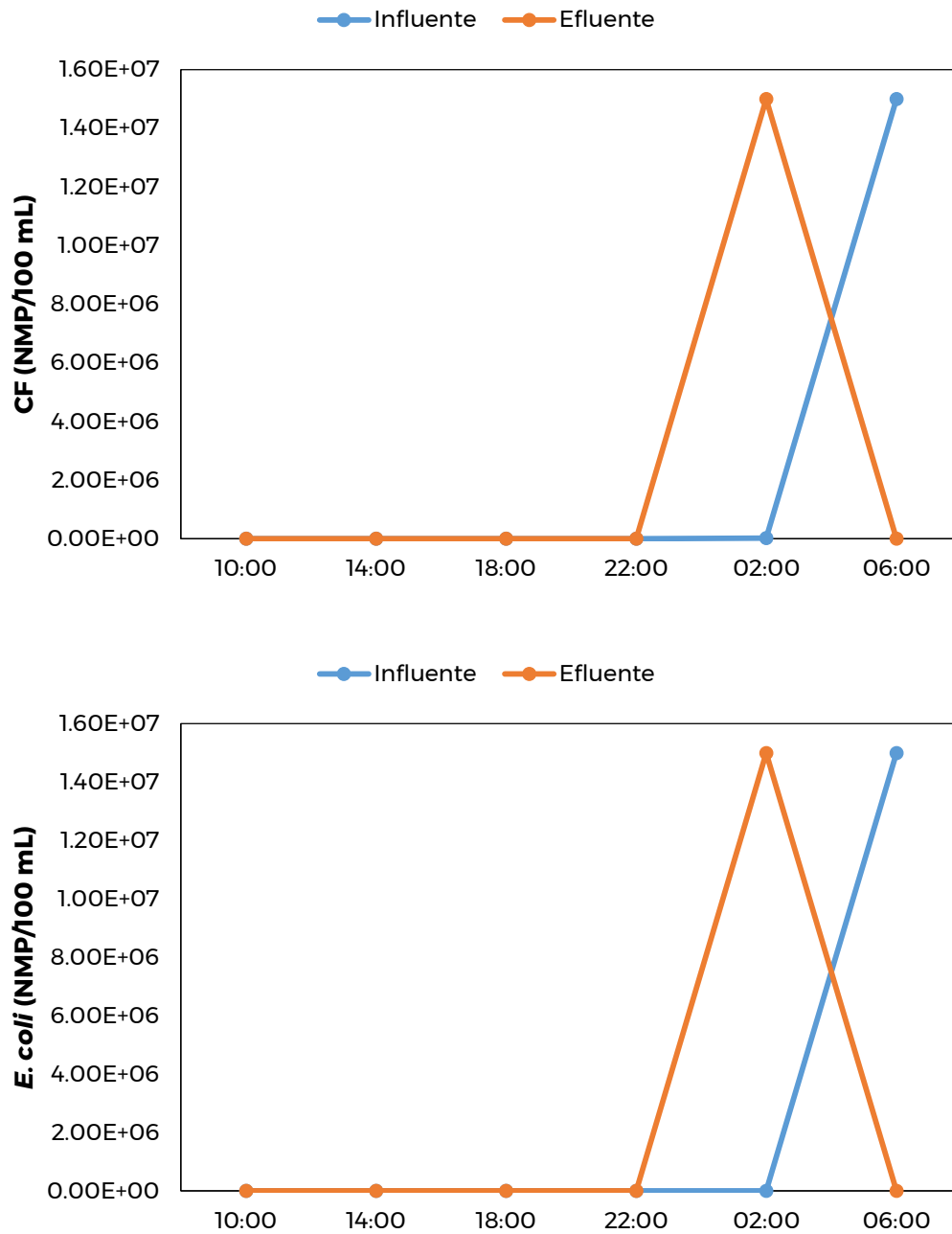
Para las GyA, las concentraciones en el influente fueron muy variables y oscilando entre 8.56 y 67.5 mg/L con un promedio ponderado respecto al caudal de entrada de 41.1 mg/L. Las concentraciones de GyA detectadas en el efluente también fueron muy variadas encontrándose concentraciones entre 21.8 y 70.2 mg/L con un promedio ponderado de 39.7 mg/L respecto al caudal del efluente de la PTAR (Figura 527).



**Figura 527. Concentración de GyA en el influente y efluente de la PTAR Municipal**

Los valores de los CF y *E.coli* en el influente y efluente fueron bajos entre las 10:00 y 22:00 h encontrándose con valores por debajo de 1,200 y hasta 30 NMP/100 mL. Picos máximos de CF y *E.coli* se detectaron a las 2:00 y 6:00 h en el influente y efluente de la PTAR. Los CF y *E.coli* en el influente se encontraron en promedio (media geométrica) de  $4.7 \times 10^5$  y  $4.73 \times 10^2$  NMP/100 mL respectivamente (Figura 528). En el efluente, los valores de los CF se encontraron entre  $3.0 \times 10^1$  y  $1.5 \times 10^7$  NMP/100 mL con un promedio de  $8.06 \times 10^2$  NMP/100 mL. Para la *E.coli*, los valores se detectaron entre  $3.0 \times 10^1$  y  $1.5 \times 10^7$  NMP/100 mL con un promedio de  $3.88 \times 10^2$  NMP/100 mL. Estos valores indican que la PTAR no tiene la capacidad de remover CF y *E.coli* a pesar de que se inyecta una dosis de cloro entre 139 y 222 mg/L en el tanque de contacto de cloro. Debido a que existe una alta concentración de materia orgánica a la llegada del tanque de contacto de cloro (DBO = 159 mg/L y DQO = 645 mg/L) el cloro pierde su capacidad para remover estos indicadores microbiológicos. La presencia de una alta concentración de nitrógeno en el tanque de contacto de cloro disminuye la capacidad oxidante del cloro provocando una baja eliminación de microorganismos patógenos. Además, como el agua residual que se conduce en el canal no recibe ninguna desinfección, al mezclarse se vuelve a contaminar con CF y *E.coli*.

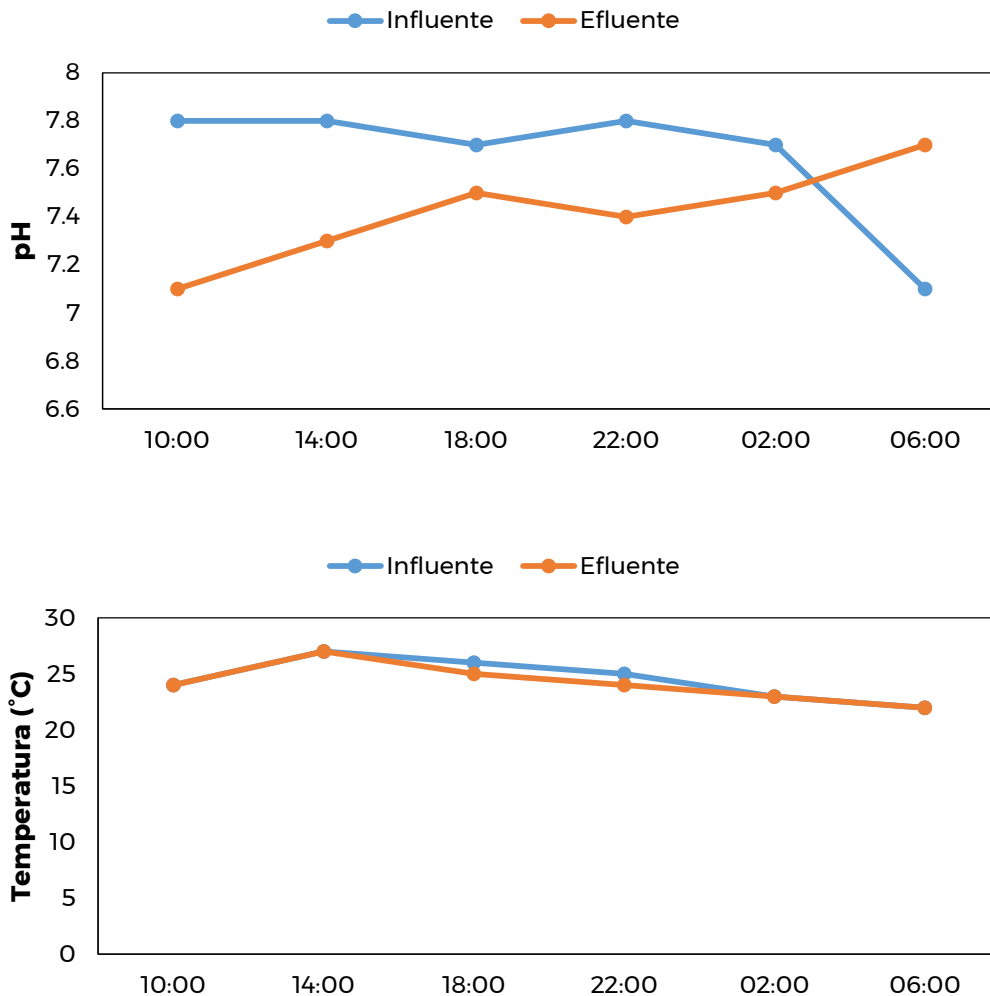




**Figura 528. Variación de los CF y *E. coli* en el influente y efluente de la PTAR Municipal**

Los valores del pH en el influente fueron entre 7.1 y 7.8 (promedio de 7.6). El pH en el efluente fue en promedio de 7.4. La temperatura en el influente

durante la campaña de muestro fue entre 22 y 27°C con un promedio de 24.5°C. Las temperaturas del agua residual en el efluente fueron entre 22 y 27°C (promedio de 24.1°C). En el efluente el pH tiende a incrementarse ligeramente entre las 10:00 y 6:00 h (Figura 529).

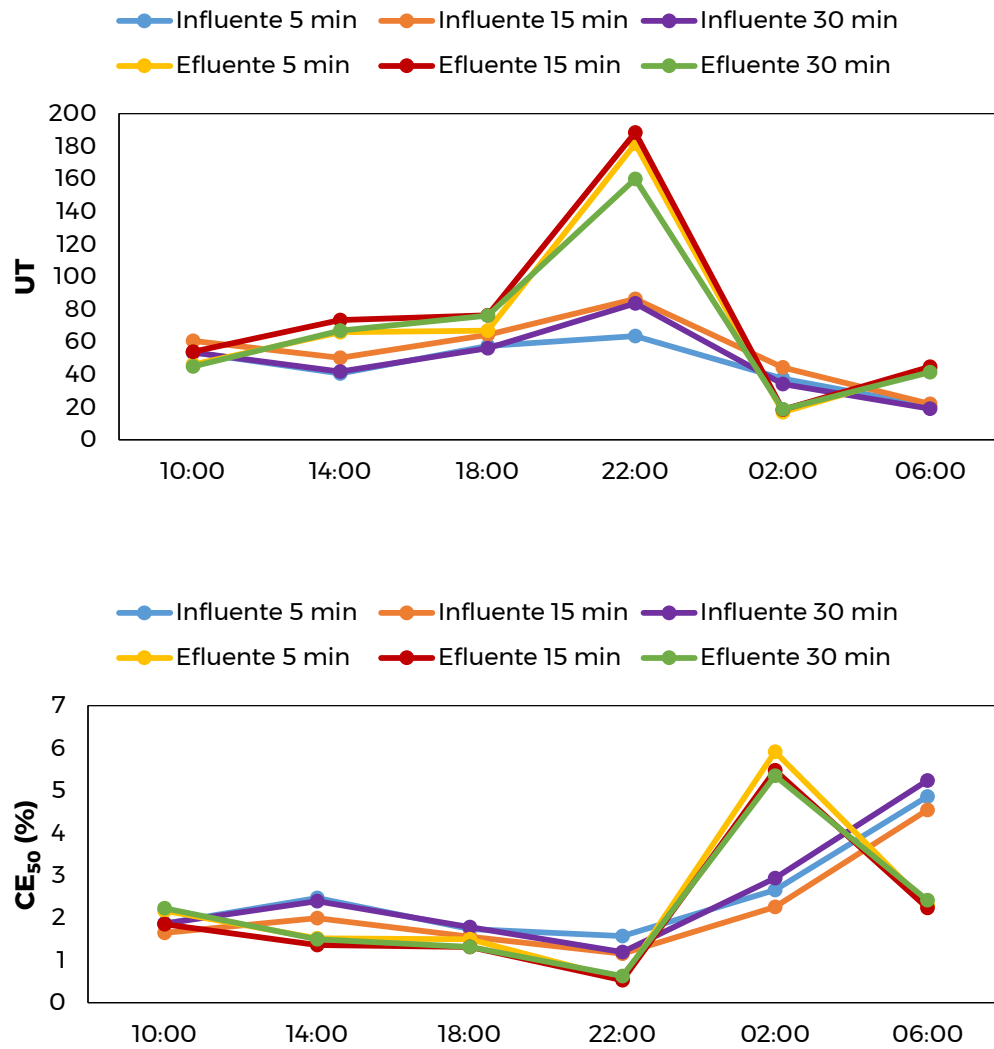


**Figura 529. Variación del pH y temperatura en el influente y efluente de la PTAR Municipal**

En la Figura 530 se muestran los resultados de las toxicidades determinadas en el influente y efluente de la PTAR. La toxicidad fue determinada en un periodo de 24 h tomado seis muestras simples. Como se puede observar que el agua residual que entra a la PTAR presenta toxicidades altas en las seis muestras simples alcanzándose valores de hasta 86.28 UT a los 15 minutos de exposición. La concentración letal media (CE<sub>50</sub>) máxima fue

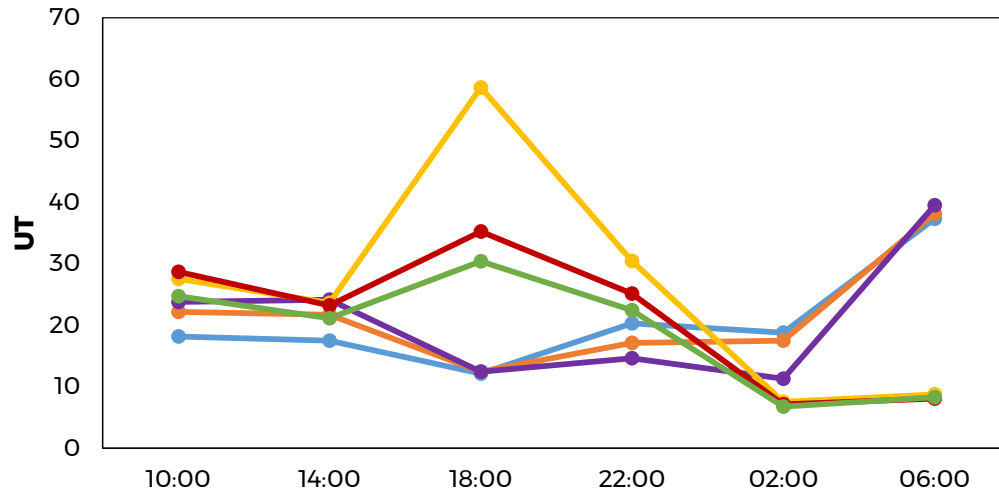
1.15% que corresponde con los altos valores de las UT en ese periodo de tiempo de exposición. Las toxicidades se presentaron desde los primeros 5 minutos de exposición. Las máximas toxicidades se presentaron a las 22:00 h y las más bajas a las 6:00 h. Para el efluente, la mayoría de las toxicidades fueron más altas comparadas con las toxicidades del influente. Los valores de las toxicidades en las seis muestras simples están por arriba de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Así mismo, las toxicidades se presentaron a las 22:00 h. Como se mencionó anteriormente, el agua residual que se conduce en el canal tiene un impacto negativo sobre las toxicidades en la descarga final de la PTAR. Las altas toxicidades presentes en las aguas residuales tanto en el influente como el efluente indica la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos en concentraciones que pueden causar un efecto tóxico a los seres vivos. En las condiciones actuales, la PTAR, no es capaz de remover aquellos compuestos que pudieran generar algún efecto tóxico.

Las toxicidades también fueron analizadas antes y después de la desinfección con cloro con el objeto de determinar si el cloro dosificado en el tanque de contacto de cloro pudiera aumentar la toxicidad en el agua residual. Como puede observarse en la Figura 531, las unidades de toxicidad antes de la cloración estuvieron en el rango de 7.1 a 35.2 a los 15 minutos de exposición. Después de la cloración (antes de mezclarse con el agua residual que proviene del canal), las toxicidades se encontraron entre 12.42 y 38.16 UT a los 15 minutos de exposición. Este incremento en las toxicidades después de la cloración, indica que existe un efecto tóxico del cloro. Se mencionó anteriormente, que la DQO y DBO<sub>5</sub> en la entrada del tanque de contacto de cloro es alta, por lo que la reacción del cloro con la materia orgánica presente en el tanque de contacto de cloro puede generar compuestos organoclorados, los cuales son tóxicos. En la Tabla 184 se muestran las toxicidades máximas en diferentes puntos de muestreos a los 15 minutos de exposición.

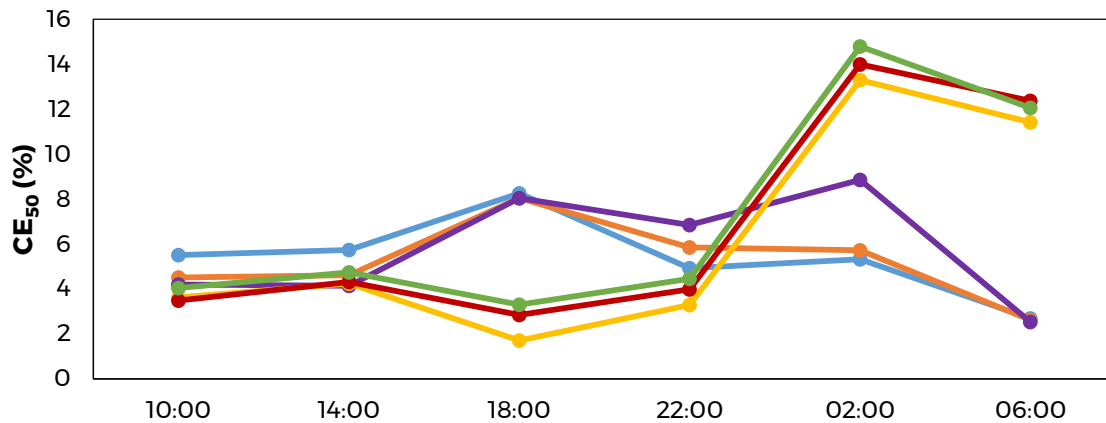


**Figura 530. Variación de las toxicidades (*Vibrio fischeri*) en el influente y efluente de la PTAR Municipal**

Salida tanque de contacto de cloro 5 min      Salida tanque de contacto de cloro 15 min  
 Salida tanque de contacto de cloro 30 min      Salida sedimentador secundario 5 min  
 Salida sedimentador secundario 15 min      Salida sedimentador secundario 30 min



Salida tanque de contacto de cloro 5 min      Salida tanque de contacto de cloro 15 min  
 Salida tanque de contacto de cloro 30 min      Salida sedimentador secundario 5 min  
 Salida sedimentador secundario 15 min      Salida sedimentador secundario 30 min



**Figura 531. Variación de las toxicidades (*Vibrio fischeri*) antes y después de la desinfección en la PTAR Municipal**

**Tabla 184. Máximas toxicidades encontradas en diferentes puntos de muestreo**

| <b>Punto de muestro</b>            | <b>Toxicidad (UT)<br/>15 minutos de exposición</b> |
|------------------------------------|--|
| Influyente                         | 54.64  |
| Canal                              | 21.5   |
| Salida sedimentadores secundarios  | 21.23  |
| Salida tanque de contacto de cloro | 21.5   |
| Efluente                           | 75.87  |

### 3.2.2 Eficiencia de la PTAR en la remoción de contaminantes

Con el objetivo de determinar el desempeño de la PTAR en la remoción de diferentes contaminantes, se realizaron muestreos simples en las salidas de las unidades de tratamiento que conforman la PTAR. Para la remoción global de la PTAR se tomaron los resultados del muestro simple del primer punto que corresponde a la salida de rejillas gruesas y finas y del punto seis que corresponde a la salida del tanque de contacto de cloro. La eficiencia global de tratamiento de acuerdo con los resultados de la caracterización de las aguas residuales se muestra en la Tabla 185. Se puede observar que la PTAR en las condiciones actuales en las que se encuentra operando presenta una baja eficiencia de remoción de los contaminantes.

**Tabla 185. Eficiencia de remoción global de los contaminantes en la PTAR Municipal**

| <b>Parámetro</b>  | <b>Remoción (%)</b> |
|-------------------|---------------------|
| DBO <sub>5</sub>  | 52.6                |
| DQO               | 0.6                 |
| COT               | 29.7                |
| SST               | 72.7                |
| N-NH <sub>3</sub> | 13.6                |
| N-NT              | 4.4                 |
| NTK               | 4.4                 |
| PT                | No hay remoción     |
| Sulfatos          | No hay remoción     |
| Sulfuros          | 87.9                |
| Cromo hexavalente | 29.1                |

| Parámetro           | Remoción (%)    |
|---------------------|-----------------|
| Cloruros totales    | No hay remoción |
| CF                  | No hay remoción |
| E.coli              | No hay remoción |
| Enterococos fecales | 96.4            |
| Color               |                 |
| 436                 | 18              |
| 525                 | 20              |
| 620                 | 21.7            |
| Toxicidad           | 60.6            |

En el caso de los metales pesados muchos de ellos se encontraron por el límite de detección. Para el arsénico, cromo y zinc las remociones globales se encontraron entre el 20 y 80.2 % (Tabla 186).

**Tabla 186. Remoción global de metales pesados en la PTAR Municipal**

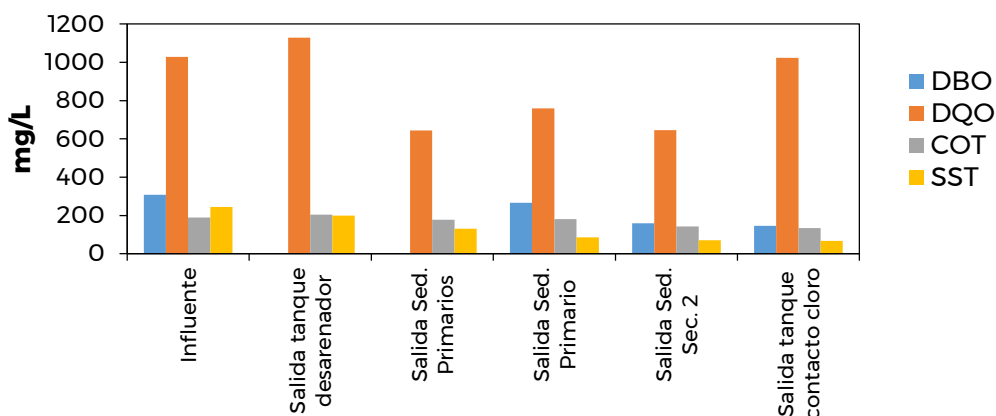
| Parámetro | Remoción (%) |
|-----------|--------------|
| Arsénico  | 20           |
| Cromo     | 80.2         |
| Zinc      | 55.5         |

Para determinar la eficiencia de remoción de los contaminantes en cada una de las unidades de tratamiento se analizaron los siguientes parámetros: DBO<sub>5</sub>, DQO, COT, SST, NT, NTK, N-NH<sub>3</sub>, PT, sulfatos, sulfuros, cromo hexavalente, cloruros totales, color verdadero y metales pesados. En la Tabla 187 a la Tabla 190 y en la Figura 532 y Figura 533 se muestran los resultados de las variaciones de las concentraciones de los contaminantes en cada una de las etapas de tratamiento. La mayoría de los contaminantes se remueven en los sedimentadores primarios y el tratamiento secundario. El tratamiento secundario compuesto por filtros percoladores se encuentran en mal estado y su operación es deficiente. Se observó muy poca presencia de biomasa adherida en los medios de soportes. Debido a esto no hay remoción de DQO. La DBO fue removida en un 48%. La remoción de las diferentes formas de nitrógeno fue de tan solo el 8% en los filtros

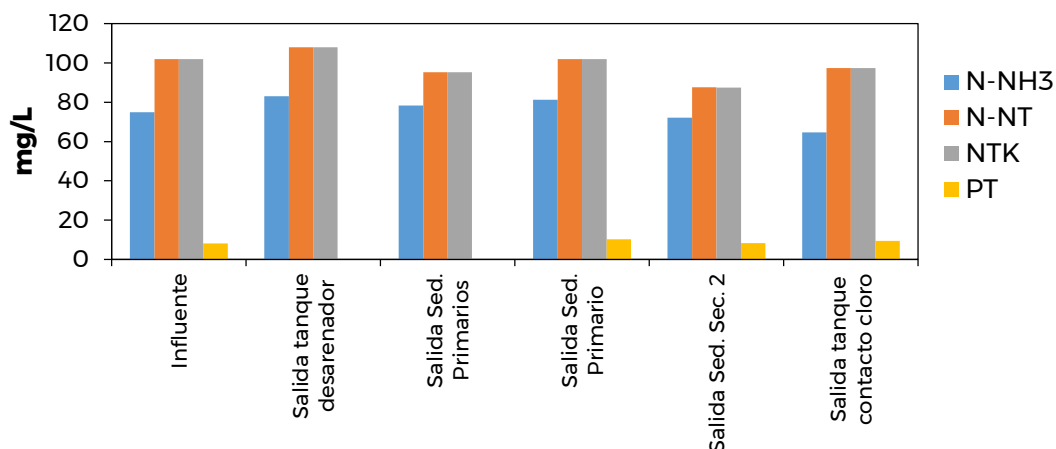
percoladores. No hay remoción del PT. La carga orgánica volumétrica actual que se alimenta al filtro percolador es de 2.75 kg DQO/m<sup>3</sup>.d. La carga superficial en el filtro percolador actual es de 38 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d. Después del tanque de contacto de cloro se incrementaron la concentración de contaminantes esto debido a posible formación de subproductos intermediarios. Asimismo, como el agua residual en el tanque de contacto de cloro contiene SST, la oxidación con cloro posiblemente libera componentes orgánicos e inorgánicos cuando los SST se ponen en contacto con el cloro.

**Tabla 187. Variación de las concentraciones de los contaminantes en las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR Municipal**

| Punto de muestreo            | DBO <sub>5</sub><br>(mg/L) | DQO<br>(mg/L) | COT<br>(mg/L) | SST<br>(mg/L) | N-NH <sub>3</sub><br>(mg/L) | N-NT<br>(mg/L) | NTK<br>(mg/L) | PT<br>(mg/L) |
|------------------------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|----------------|---------------|--------------|
| Influente                    | 308                        | 1,029         | 189.9         | 245           | 74.9                        | 102            | 102           | 8.13         |
| Salida tanque desarenador    | -                          | 1,129         | 203.8         | 200           | 83.1                        | 108            | 108           | -            |
| Salida Sed. Primarios        | -                          | 644           | 177.9         | 130           | 78.4                        | 95.3           | 95.3          | -            |
| Salida Sed. Primario         | 266                        | 759           | 181.6         | 85            | 81.3                        | 102            | 102           | 10.28        |
| Salida Sed. Sec. 2           | 159                        | 645           | 143           | 70            | 72.2                        | 87.6           | 87.6          | 8.23         |
| Salida tanque contacto cloro | 146                        | 1,023         | 133.4         | 66.7          | 64.7                        | 97.5           | 97.5          | 9.47         |





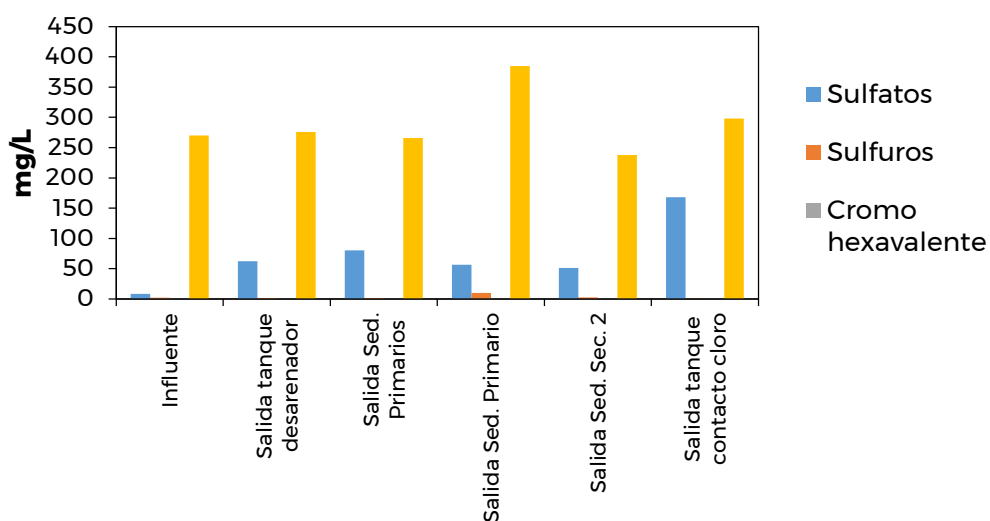


**Figura 532. Variación de las concentraciones de los contaminantes en las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR Municipal**

En el caso de los  $\text{SO}_4^{2-}$  y cloruros estos no fueron removidos en ninguna de las etapas del tratamiento. Para el caso de los  $\text{S}^{2-}$ , este fue removido en el tanque de contacto de cloro y el  $\text{Cr}^{6+}$  fue removido en la etapa de pretratamiento (Tabla 15 y Figura 46).

**Tabla 188. Variación de las concentraciones de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  y cloruros en las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR Municipal**

| Punto de muestero            | Sulfatos (mg/L) | Sulfuros (mg/L) | Cromo hexavalente (mg/L) | Cloruros totales (mg/L) |
|------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|
| Influyente                   | 8.49            | 1.974           | 0.141                    | 270                     |
| Salida tanque desarenador    | 62.2            | 1.706           | <0.1                     | 276                     |
| Salida Sed. Primarios        | 80.1            | 1.773           | <0.1                     | 266                     |
| Salida Sed. Primario         | 56.4            | 10.03           | <0.1                     | 385                     |
| Salida Sed. Sec. 2           | 51.1            | 2.626           | <0.1                     | 238                     |
| Salida tanque contacto cloro | 168             | 0.2392          | <0.1                     | 298                     |



**Figura 533. Variación de las concentraciones de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, S<sup>-2</sup>, Cr<sup>6+</sup> y cloruros en las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR Municipal**

Como se observa en la Tabla 189, el cromo fue removido en la etapa de pretratamiento y en los sedimentadores primarios. El color verdadero fue removido en el tratamiento secundario (Tabla 190).

**Tabla 189. Variación de las concentraciones de metales pesados en las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR Municipal**

| Punto de muestreo            | Arsénico (mg/L) | Cadmio (mg/L) | Cobre (mg/L) | Cromo (mg/L) | Mercurio (mg/L) | Níquel (mg/L) | Plomo (mg/L) | Zinc (mg/L) |
|------------------------------|-----------------|---------------|--------------|--------------|-----------------|---------------|--------------|-------------|
| Influyente                   | 0.008           | <0.030        | <0.050       | 1.01         | <0.0005         | <0.10         | <0.10        | 0.27        |
| Salida tanque desarenador    | -               | -             | -            | 0.99         | -               | -             | -            | -           |
| Salida Sed. Primarios        | -               | -             | -            | 0.21         | -               | -             | -            | -           |
| Salida Sed. Primario         | 0.0065          | <0.030        | <0.050       | 0.36         | <0.0005         | <0.10         | <0.10        | 0.17        |
| Salida Sed. Sec. 2           | 0.0063          | <0.030        | <0.050       | 0.24         | <0.0005         | <0.10         | <0.10        | 0.11        |
| Salida tanque contacto cloro | 0.0064          | <0.030        | <0.050       | 0.2          | <0.0005         | <0.10         | <0.10        | 0.12        |

**Tabla 190. Remoción del color verdadero en las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR Municipal**

| Punto de muestreo | 436 nm m <sup>-1</sup> | 525 nm m <sup>-1</sup> | 620 nm m <sup>-1</sup> |
|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                   |                        |                        |                        |

|                              |     |     |     |
|------------------------------|-----|-----|-----|
| Influyente                   | 7.2 | 4   | 2.3 |
| Salida tanque desarenador    | -   | -   | -   |
| Salida Sed. Primarios        | -   | -   | -   |
| Salida Sed. Primario         | 7.3 | 4.3 | 2.6 |
| Salida Sed. Sec. 2           | 5.6 | 3   | 1.6 |
| Salida tanque contacto cloro | 5.9 | 3.2 | 1.8 |

### 3.2.3 Influencia industrial

De acuerdo a los datos proporcionados por Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL), la Cd. De León Gto. tiene 19 giros industriales activos con un total de 5,428 industrias incluyendo restaurantes, panaderías, gasolineras, escuelas siendo la industria de la Tenería con la mayor cantidad de industrias en la Cd. De León Gto (Tabla 191). Las aguas residuales que llegan a la PTAR Municipal pueden tener algún tipo de influencia industrial. La relación DQO/DBO y los contaminantes detectados mostraron que el agua residual municipal contiene algunas descargas de efluentes industriales.

**Tabla 191. Cantidad de giros activos industriales la Cd. De León Gto.**

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| SANATORIO/HOSPITAL       | 61  |
| BODEGAS                  | 64  |
| INDUSTRIA METAL-MECANICA | 71  |
| LAVADO DE AUTOMOVILES    | 82  |
| LAVANDERIA/TINTORERIA    | 101 |
| ESCUELAS/UNIVERSIDADES   | 104 |
| PRODUCTOS QUIMICOS       | 127 |
| PANADERIAS               | 142 |
| GASOLINERA               | 146 |

|                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| HOTELES/MOTELES             | 155         |
| EMBOTELLADORAS DE REFRESCOS | 228         |
| PROCESADORA DE PLASTICO     | 232         |
| PROCESADORA DE ALIMENTOS    | 270         |
| TALLERES MECANICOS          | 310         |
| CARNICERIAS                 | 317         |
| TORTILLERIA/MOLINO NIXTAMAL | 466         |
| FABRICA DE CALZADO          | 514         |
| TENERIA                     | 733         |
| RESTAURANTE/CAFETERIAS      | 1043        |
| <b>Total general</b>        | <b>5428</b> |

## **4 DIAGNÓSTICO DE PERSONAL**

### **4.1 Recursos Humanos**

A continuación, se presenta el resultado del análisis del personal que labora en la PTAR. Esta información corresponde a la obtenida a través del FORMATO 03. RECURSOS HUMANOS.

La plantilla de la PTAR está conformada por 27 personas quienes se encargan de la operación de la Planta. Se cuenta con un jefe de la planta, un coordinador, 3 encargados y un auxiliar administrativo, es decir, 6 personas administrativas. En cuanto a la parte operativa la PTAR cuenta con 6 supervisores, 4 técnicos de control y 11 ayudantes de mantenimiento. Sin embargo, no se presentó información sobre la experiencia laboral y la antigüedad en sus puestos.

Adicionalmente, la PTAR municipal de León comparte personal con el módulo de desbaste que trata las aguas residuales industriales que se producen en el municipio. Son 35 personas que atienden tareas principalmente de mantenimiento en ambas plantas: 13 encargados, supervisores y coordinadores de mantenimiento, 5 auxiliares de mantenimiento, 9 peones, 5 operadores de maquinarias auxiliares, 2 choferes y un ayudante general.

Con la información obtenida no se puede establecer si el personal cuenta con la experiencia suficiente para operar adecuadamente los procesos dentro de la PTAR y si se ha dado una continuidad a la plantilla laboral.

### **4.2 Evaluación de conocimientos**

Para la evaluación de conocimientos de la plantilla laboral se tomó como base el FORMATO 04 EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS.

Durante la evaluación de conocimiento del personal que opera la PTAR, sólo se presentaron cuatro evaluaciones; tres realizadas por supervisores de operación y una por un técnico de control.

Los resultados de las evaluaciones recibidas arrojaron 3 calificaciones buenas y una muy buena.

Esta información indica que el personal que respondió las evaluaciones está capacitado para la operación de la PTAR y conoce el proceso que se lleva a cabo durante el tratamiento del agua residual. Sin embargo, la muestra no

es representativa del personal que labora en la planta, ya que representa menos del 15% del personal de la planta municipal y menos del 10 % del personal, incluyendo al personal compartido con el módulo de desbaste.

### **4.3 Capacitación**

#### **4.3.1 Cursos de capacitación recibidos**

Los operadores evaluados refirieron haber tomado seis cursos, entre los que destacan solo temas de seguridad e higiene dentro de la PTAR. Estos cursos incluyen:

- Manejo de gas cloro
- Uso de equipo de respiración autónoma
- Trabajo en espacios confinados
- Identificación de riesgos fisicoquímicos
- Manejo de sustancias químicas
- Búsqueda y rescate, primeros auxilios y evacuación

Se observa que no se han realizado cursos de capacitación sobre los procesos y equipos que se utilizan en la PTAR, tampoco de operación y mantenimiento de la planta o temas relacionados al tratamiento de aguas residuales, por lo que se recomienda que se realicen capacitaciones al respecto.

#### **4.3.2 Temas de capacitación solicitados**

El personal evaluado manifestó la necesidad de recibir capacitación en temas relacionados a la seguridad e higiene, al impacto ambiental y al diseño y operación de procesos de tratamiento.

Los temas solicitados se enlistan a continuación:

- Identificación de riesgos en la PTAR
- Curso de seguridad en PTAR
- Diseño y operación de PTAR
- Bloqueo y candadeo LOTO
- Contaminación auditiva

- Manejo de residuos
- Seguridad laboral
- Gestión e impacto ambiental
- Tecnologías ambientales
- Diseño de reactores
- Optimización de procesos de tratamiento
- Gestión y operación de PTAR
- Actualización de la NOM 001

Se puede observar que los temas solicitados por el personal para recibir capacitación incluyen la operación y diseño de procesos y plantas de tratamiento, lo que refuerza la recomendación realizada en el apartado 4.3.2.

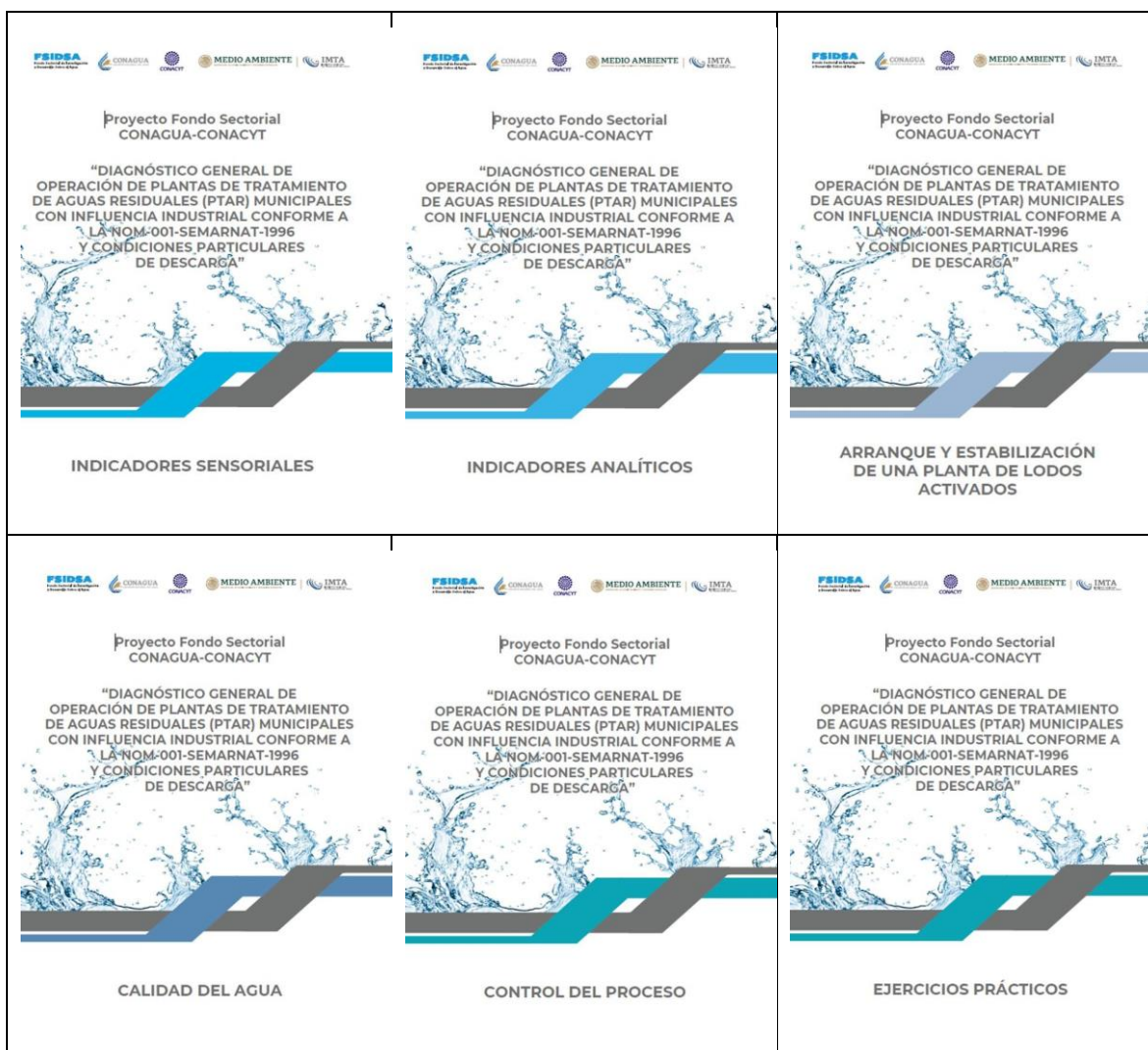
#### **4.3.3 Material didáctico entregado**

Para solventar un poco la problemática sobre material para la capacitación continua, se entregó el siguiente material didáctico en la PTAR

- a) Manuales: El contenido de cada uno de ellos se encuentra en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1m9GYeDsYFscSYAuUpRM5BV8VBsYqT-o8?usp=sharing>
- b) Infografías
- c) Manual de ejercicios prácticos

Los Manuales constan de 6 tomos cuyas temáticas son las siguientes (Figura 534).

- a) Indicadores sensoriales
- b) Indicadores analíticos
- c) Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
- d) Calidad del agua
- e) Control del proceso
- f) Seguridad e higiene



**Figura 534. Portada de los manuales.**

Se elaboraron 15 infografías con la información de los manuales, las cuales se mencionan a continuación (Figura 535):

- a) Arranque de una PTAR de lodos activados
- b) Higiene y seguridad
- c) Indicadores analíticos A
- d) Indicadores analíticos B
- e) Indicadores sensoriales A
- f) Indicadores sensoriales B
- g) Índice volumétrico de lodos



- h) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-001-SEMARNAT-1996
- i) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-002-SEMARNAT-1996
- j) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-003-SEMARNAT-1997
- k) Parámetros de calidad del agua
- l) Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados
- m) Problemas frecuentes en un sistema de lodos activados
- n) Relación alimento/microorganismos
- o) Sistema mecanizado de tratamiento de aguas residuales

## ARRANQUE DE UNA PTAR DE LODOS ACTIVADOS

**Revisión del equipo electromecánico**

Realizar un listado de todos los equipos electromecánicos por unidad de proceso. Realizar una prueba de arranque y paro, verificando el giro de motores y el es posible amparaje, esto con la finalidad de que no este obstruido o pegado el motor.

**Revisión hidráulica de los tanques**

- Realizar el llenado de las unidades para verificar que no existan fugas o grietas en las paredes.
- El agua será transferida de tanque en tanque.
- Para realizar esta actividad es necesario contar con planos de cada una de las unidades de proceso, para señalar o marcar y describir en estos las fallas que se consideren pertinentes.

**No arrancar si faltan equipos y detalles de construcción**

El arranque de un proceso de lodos activados, se lleva a cabo y deben tomarse ciertos cuidados para lograr su estabilización, así como un buen funcionamiento del proceso. Se recomienda realizarlo en **verano**.

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lodos activados se puede realizar bajo dos escenarios, **con y sin inóculo**, siendo considerado este último como una situación difícil.

**ARRANQUE SIN INÓCULO**

| DÍAS | Acciones  |
|------|---|
| 1    | Introducir agua residual al reactor biológico hasta un cuarto de su capacidad y arrancar la unidad de aeración. Al no existir microorganismos en el sistema, se generará una gran cantidad de espuma.   |
| 2    | Llenar reactor biológico a un 50% y continuar con la aeración.  |
| 3    | Llenar reactor biológico a un 70% y continuar con la aeración.  |
| 4    | Llenar reactor biológico a un 100% y continuar con la aeración.   |
| 5    | Iniciar con un flujo continuo de agua residual a 25% de flujo de diseño, iniciar operación en el sedimentador secundario con recirculación al 100%. Analizar SST y SVSLM para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras del agua residual cruda y tratada para determinar DBO o DQO y SST, para establecer la eficiencia del proceso. |
| 11   | Aumentar el flujo de agua residual al 50%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.   |
| 15   | Aumentar el flujo de agua residual al 70%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.   |
| 20   | Aumentar el flujo de agua residual al 100%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.  |
| 30   |   |

**ARRANQUE CON INÓCULO**

Calculo de requerimiento de inóculo

**Datos:**  
El reactor biológico tendrá a 500 mg/L (15 kg/m<sup>3</sup> de SST y M) y un volumen de 4.354 m<sup>3</sup>. El inóculo proviene de la recirculación con una concentración de 8.700 mg/L (8.76 kg/m<sup>3</sup>).

**Cálculos:**  
Masa requerida = 3.5 kg/m<sup>3</sup> x 4.354 m<sup>3</sup> = 15.239 kg  
Volumen requerido = 15.239 kg / 8.76 kg/m<sup>3</sup> = 1.739 m<sup>3</sup>  
Se inoculará con el 50% = 0.869 m<sup>3</sup>. En la práctica como mínimo se recomienda no menos del 5%.

**Días:**

| DÍAS | Acciones   |
|------|--|
| 1    | Llenar el reactor biológico con agua residual, al mismo tiempo agregar el inóculo, y arrancar la unidad de aeración. Iniciar con un flujo de agua residual del 20%.  |
| 1    | La recirculación en el sedimentador secundario debe ser del 100%. Monitorear la formación de la espuma y controlar su desarrollo. Analizar SST y SVSLM para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras del agua residual cruda y tratada para determinar DBO o DQO y SST, y establecer la eficiencia del proceso. |
| 6    | Aumentar el flujo al 50%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.  |
| 11   | Aumentar el flujo al 100%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.   |

**En otros determinar cuándo termina el arranque y cuándo inicia la operación normal.**

- Concentraciones de los parámetros de calidad del agua del efluente.
- Sinificar durante varios días, tal vez incluso una operación normal.
- Desarrollar valores muy cercanos a los de diseño.
- Parámetros de control de operación muy cercanos a los de diseño.

## HIGIENE Y SEGURIDAD

**Comité de higiene y seguridad**

Las actividades del comité son:

- Realizar inspecciones
- Desarrollar el manual de higiene y seguridad
- Proponer y sugerir capacitación
- Conducir investigaciones de accidentes y lesiones

Los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento

- Políticas por escrito de higiene y seguridad
- Comités de higiene y seguridad
- Capacitación en higiene y seguridad

La capacitación es importante y sirve de medida preventiva contra accidentes y enfermedades.

### Medidas de higiene

**Hepatitis A**  
**Hepatitis B**  
**Influenza**  
**Sarampión**  
**Papera**  
**Neumonía**  
**Rubeola**  
**Tétanos**  
**Difteria**

Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2001  
Equipo de protección personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

**Objetivo:** Establecer los requisitos para la selección, uso y manejo de equipos de protección personal, para proteger a los trabajadores de la Agencia del Medio Ambiente de trabajo que puedan sufrir su salud.

**Propósito:** Especificar a las actividades propias de protección personal que compete con las siguientes condiciones:  
Que cumpla con las características de resistencia, durabilidad, mantenimiento de calidad para su uso, lavado, reposición, limpieza, inspección, almacenamiento, seguridad y conservación (PA).

Que sea acorde a la naturaleza de las actividades.

Que cumpla con las características de resistencia, durabilidad, mantenimiento de calidad para su uso, lavado, reposición, limpieza, inspección, almacenamiento, seguridad y conservación (PA).

El mejor método contra infecciones virales y bacterianas es la observación de prácticas de Higiene personal, por lo que se debe:

- Mantener manos y dedos lejos de la nariz, boca, ojos y oídos.
- Usar guantes de hule cuando se limpien bombas o equipos, se maneje agua residual, regatas, todos o arena, o otras cosas que involucren contacto directo con las aguas residuales o lodos.
- Lavarse las manos con jabón, jabonamiento con agua caliente, antes de comer o fumar y después de terminar los trabajos.
- Mantener las uñas cortas y remover los materiales extraños que se introduzcan en las mismas.
- Se recomienda el uso de días guantes que trabajador, una para guardar ropa de calle y limpia y para la ropa de trabajo.
- Buffones al finalizar su turno de trabajo

| Clase y región anatómica | Clase y uso                     | Tipo de riesgo en función de la actividad   |
|--------------------------|---------------------------------|---|
| Cabeza                   | Casco contra impacto            | Colisión por alto que sea una posibilidad de mayor concentración de actividad.  |
| Ojos y cara              | Antifaz de protección           | Riesgo de proyección de partículas. Riesgo de gases de escape y vapores. Riesgo de salpicaduras de líquidos corrosivos o tóxicos.                     |
| Oídos                    | Tapones auditivos               | Protección contra riesgo de ruido, de acuerdo al volumen de ruido en el ambiente de trabajo.  |
| Aparato respiratorio     | Respirador contra gases tóxicos | Protección contra gases tóxicos en el ambiente de trabajo.  |
| Extremidades inferiores  | Guantes                         | Hay una gran variedad de guantes que se usan, goma, tela, cuero, etc. Dependiendo del tipo de protección que se requiere.                             |
| Tronco                   | Overol                          | Protección de la piel contra quemaduras por líquidos corrosivos o tóxicos. Protección de la piel contra quemaduras por líquidos corrosivos o tóxicos. |
| Extremidades inferiores  | Botas de seguridad              | Proteger a la persona contra golpes, voladuras, etc.  |

## INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para:

- Monitorar el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

### DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (degradar) la materia orgánica. Es la materia orgánica biodegradable (alimento) que entra y sale de la PTAR. Demosntros de DBO >90% indican que la PTAR opera bien. Demosntros de DBO <80% denotan problemas en la PTAR. Cabe señalar un balance entre la cantidad de alimento que entra y los microorganismos presentes en el reactor biológico.



**FLUJO DE AGUA**  
El operador tiene el control de la cantidad de agua que ingresa a la PTAR.  
Se emplea para el control del proceso para calcular: carga orgánica, AM, TMOD, TSD, tasas de recirculación y purga de lodos; dosificación de productos químicos.  
Contar con un 'Ty pass' para cualquier muestra al de salir.  
Se debe contar con un equipo medidor de agua continuo.

### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que se requieren para oxidar la materia orgánica por medio químico. Es la materia orgánica oxidable que entra y sale de la PTAR. La relación DBO/DQO se obtiene monitoreando los dos parámetros durante un largo periodo de tiempo para establecer su tendencia o comportamiento.  
Con esta relación y determinando la DQO se calcula la DBO, abstracción cinco días de separa. DBO/DQO es índice de carga industrial poco biodegradable. Determinaciones físico químico. DBO/DQO es índice de carga urbana biodegradable. Tratamiento biológico.



**GRASAS Y ACEITES**  
En vuelven a los microorganismos, interfiriendo con la transferencia de materia orgánica soluble a través de su pared celular, por lo cual mueren por falta de alimento.  
Cya entre 500 y 700 mg/L, empujan a los lodos a la superficie del sedimentador secundario.  
Cy a 100 mg/L, se presenta aglomeración de lodos en el reactor biológico, lo que ocasiona pérdida de COT y una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica.

### NUTRIENTES

Los microorganismos requieren sustancias nitrogenadas y fosforadas para su desarrollo. En las aguas residuales urbanas están en cantidad suficiente para los microorganismos. En influencias industriales, en algunos casos, se requiere su adición para su tratamiento por medios biológicos.



**TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICO**  
Tiempo que permanece cierta cantidad de agua en un tanque.  
En el tanque de aereación los microorganismos necesitan tiempo de retención para asimilar y digerir la materia orgánica soluble.

| Unidad                  | Mayor  | Mejor   |
|-------------------------|--|---|
| Reactor biológico       | Densidad orgánica, carga orgánica de sedimentación | Agua efluyente, de retención de DBO                                   |
| Sedimentador secundario | Densificación, Arrastre SST en el efluente         | El lodo no tiene tiempo de sedimentación, Arrastre SST en el efluente |

## INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para:

- Monitorar el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

### TEMPERATURA

Rango óptimo para la actividad bacteriana aerobia: 20 - 35°C

| Actividad de microorganismos | Alta | Baja |
|------------------------------|------|------|
| Presencia de microorganismos | Alta | Baja |
| Presencia de microorganismos | Baja | Alta |



**OXÍGENO DISUELTIVO (OD)**  
De 1 a 2 mg/L, OD residual satisfacen el regreso de una carga orgánica alta.  
La falta de un OD residual, inhibe la actividad microbiana y disminuye la remoción de materia orgánica.  
Un COT residual mayor a 8 mg/L, afecta negativamente la sedimentación secundaria, ya que la mezcla rompa los flocos, esta situación requeriría energía y dinero.

### pH

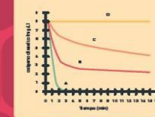
Rango óptimo para asegurar la actividad y desarrollo de los microorganismos en tanque de aereación: 6.5 - 8.5 unidades.  
Por arriba o por abajo de 7.0 a 10.0 unidades la producción biológica es baja.  
En un proceso que nitrifica se deberá un indicador de pH de 7.5 a 8.0 unidades, entre el agua de entrada y la de salida.



| Actividad de microorganismos | Alta | Baja |
|------------------------------|------|------|
| Presencia de microorganismos | Alta | Baja |
| Presencia de microorganismos | Baja | Alta |

### CONSUMO DE OXÍGENO

Permite conocer la actividad microbiana en el reactor biológico al medir la velocidad de consumo de oxígeno.  
A) Actividad microbiana alta o ingreso una alta carga orgánica o hay demasiados microorganismos.  
B) Comportamiento ideal, consumo en los primeros minutos alto, pero con el tiempo se estabilizó y se llega a una tasa de consumo constante.  
C) Consumo de oxígeno lento y gradualmente se hace constante, denota presencia de pocos microorganismos, o una actividad crónica que limita su respiración.  
D) El nivel consumo de oxígeno, la actividad microbiana es nula, indica que ocurrió una toxicidad aguda.



### SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y VOLÁTILES

Los SST se emplean para los ajustes de recirculación y de purga de lodos.  
Los SVI indican indirectamente la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de aereación. Un SVI se emplea para calcular el índice de tiempo real de retención celular (TRMIC).



## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS



### Material flotante

Indicador de altas concentraciones de grasas y aceites.  
Interfiere con la sedimentación y puede causar bajas eficiencias de remoción de DBO.



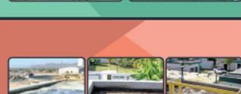
### Acumulación de sólidos

Su origen se debe a una operación ineficiente del dosificador o del sedimentador primario o secundario.  
Reduce el volumen efectivo del las unidades de proceso afectando su eficiencia.  
Generan zonas anaerobias que provocan problemas de sedimentación y mal olor.



### Traectoria de flujos

La observación de la trayectoria del flujo se utiliza para detectar cortocircuitos.  
Los cortocircuitos son visibles al observar el movimiento de la espuma, sólidos suspendidos o materia flotante.  
Problemas: reducción de tiempos de retención hidraulico, generando operación inadecuada.



### Mezcla y turbulencia

Un tanque bien mezclado presenta uniformidad de concentraciones en todo su volumen.  
Indicadores de mezcla en el reactor biológico: Formación de depósitos de sólidos en las esquinas. Diferencia de concentraciones entre zonas en COT o de SST. Diferencia de concentraciones entre zonas en COT o de SST.



Turbulencias no uniformes o de baja turbulencia pueden ser causadas por:  
Diffusores obstruidos.  
Diffusor dañado.  
Exceso de aereación.



### Burbujeo

En el sedimentador secundario indican que el lodo tiene mucho tiempo de residencia (desactivación). Se debe incrementar la recirculación de lodo.  
En canales, diapas de ranuras y tanque de contacto de aereación limpica deficiente se presenta acumulación de sólidos y condiciones anaerobias, que generan burbujas y arrastre de sólidos.

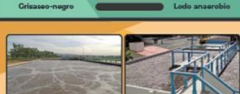
## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS



### Color

Lodo activado aerado en buenas condiciones: Color café aclarado.  
Es un Indicativo del estado de salud del lodo.  
Las condiciones de alimento proporcionan diferentes tonalidades.  
Las condiciones ambientales le dan diferente tono de color café.



### Olor

Una PTAR bien operada no genera malos olores.  
Un proceso de lodos activados saludable tiene un ligero olor a humedad (hervido mojado).  
Un lodo séptico cambia su color a oscuro y el olor es similar al del huevo podrido.



### Tacto

Una temperatura o vibración excesiva en equipos electromecánicos y tuberías advierten un mal funcionamiento.



### Algas

Su crecimiento en las paredes de los tanques o en las canales recolectoras indica que altos niveles de nutrientes.



### Turbiedad del efluente

Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario o en el tanque de contacto de cloro indican un mal funcionamiento de la PTAR.

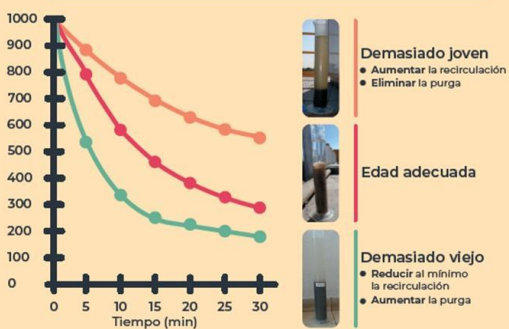


### Espuma

Color café obscuro: Se puede presentar en el reactor biológico un el sedimentador secundario y se debe a un alto consumo de grasa y aceites que encapsulan a los microorganismos y los flotas.  
Color café claro: Los niveles de sólidos no son adecuados. El lodo no tiene la edad requerida, se joven.  
Color blanco: En tanque de regulación, reactor biológico y efluente alta concentración de diásporas. Es una condición específica del arranque de una planta. Se presentan en el reactor por poca materia y con mayor intensidad en verano, debido a que la temperatura afecta la actividad metabólica de los microorganismos y no degradan los diásporas.

# ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)

- IVL (mL/g) = Volumen de lodos sedimentados (mL/L) / concentración de SSTLM (g/L)
- El volumen de lodos sedimentados se determina en una probeta de 1 L después de 30 minutos.
- Los valores de IVL están comprendidos dentro del intervalo 150 a 35 mL/g



- Demasiado joven**
  - Aumentar la recirculación
  - Eliminar la purga
- Edad adecuada**
- Demasiado viejo**
  - Reducir al mínimo la recirculación
  - Aumentar la purga

- Se registra el volumen del lodo cada 5 minutos
- Los datos se graficarán para obtener una curva de sedimentabilidad, que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el reactor biológico.
- Durante la prueba se podrá apreciar la forma del floculo, su color y olor
- El aspecto final de la prueba da una idea de lo que se espera en el sedimentador secundario
- La información de esta prueba ayudará a conocer el comportamiento del sistema y a detectar problemas operacionales

# NORMATIVA MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

## NOM-001-SEMARNAT-1996

- Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS

| PARÁMETROS  | RÍOS                      |                        |                                 |                           |                        |   |                |               |                           |                         |                           |                        | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES |                           |                        |   | AGUAS COSTERAS |               |                           |                         | SUELO |      |  |  |
|---|---------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------|---|----------------|---------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------|---|----------------|---------------|---------------------------|-------------------------|-------|------|--|--|
|   | Uso en riego agrícola (A) | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C) | Uso en riego agrícola (B) | Uso público urbano (C) | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B) | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) | Uso en riego agrícola (A) | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C)   | Uso en riego agrícola (B) | Uso público urbano (C) | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B) | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) |       |      |  |  |
| (Miligramos por litro, excepto cuando se especifique) | P.M.                      | P.D.                   | P.M.                            | P.D.                      | P.M.                   | P.D.  | P.M.           | P.D.          | P.M.                      | P.D.                    | P.M.                      | P.D.                   | P.M.                              | P.D.                      | P.M.                   | P.D.  | P.M.           | P.D.          | P.M.                      | P.D.                    | P.M.  | P.D. |  |  |
| Temperatura (°C) (1)                                  | N.A.                      | N.A.                   | 40                              | 40                        | 40                     | 40  | 40             | 40            | 40                        | 40                      | 40                        | 40                     | 40                                | 40                        | 40                     | 40  | 40             | 40            | 40                        | 40                      | 40    | 40   |  |  |
| Ceras y Aceites (2)                                   | 15                        | 25                     | 15                              | 25                        | 15                     | 25  | 15             | 25            | 15                        | 25                      | 15                        | 25                     | 15                                | 25                        | 15                     | 25  | 15             | 25            | 15                        | 25                      | 15    | 25   |  |  |
| Materia Fitolas (3)                                   | Ausente                   |                        |                                 |                           |                        |   |                |               |                           |                         |                           |                        |                                   |                           |                        |   |                |               |                           |                         |       |      |  |  |
| Sólidos Sedimentables (mg/l)                          | 1                         | 2                      | 1                               | 2                         | 1                      | 2   | 1              | 2             | 1                         | 2                       | 1                         | 2                      | 1                                 | 2                         | 1                      | 2   | 1              | 2             | 1                         | 2                       | 1     | 2    |  |  |
| Sólidos Suspendedos Totales                           | 150                       | 200                    | 75                              | 125                       | 40                     | 60  | 75             | 125           | 40                        | 60                      | 150                       | 200                    | 75                                | 125                       | 75                     | 125   | 75             | 125           | N.A.                      | N.A.                    | 75    | 125  |  |  |
| Demanda bioquímica de oxígeno                         | 150                       | 200                    | 75                              | 150                       | 30                     | 60  | 75             | 150           | 30                        | 60                      | 150                       | 200                    | 75                                | 150                       | 75                     | 150   | 75             | 150           | N.A.                      | N.A.                    | 75    | 150  |  |  |
| Nitrógeno total                                       | 40                        | 60                     | 40                              | 60                        | 15                     | 25  | 40             | 60            | 15                        | 25                      | N.A.                      | N.A.                   | N.A.                              | N.A.                      | 15                     | 25  | N.A.           | N.A.          | N.A.                      | N.A.                    | 15    | 25   |  |  |
| Fósforo Total   | 20                        | 30                     | 20                              | 30                        | 5                      | 10  | 20             | 30            | 5                         | 10                      | N.A.                      | N.A.                   | N.A.                              | N.A.                      | 5                      | 10  | N.A.           | N.A.          | N.A.                      | N.A.                    | 5     | 10   |  |  |

### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS

| PARÁMETROS (1)  | RÍOS                      |                        |                                 |                           |                        |   |                |               |                           |                         |                           |                        | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES |                           |                        |   | AGUAS COSTERAS |               |                           |                         | SUELO |      |  |  |
|---|---------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------|---|----------------|---------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------|---|----------------|---------------|---------------------------|-------------------------|-------|------|--|--|
|   | Uso en riego agrícola (A) | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C) | Uso en riego agrícola (B) | Uso público urbano (C) | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B) | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) | Uso en riego agrícola (A) | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C)   | Uso en riego agrícola (B) | Uso público urbano (C) | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B) | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) |       |      |  |  |
| (Miligramos por litro, excepto cuando se especifique) | P.M.                      | P.D.                   | P.M.                            | P.D.                      | P.M.                   | P.D.  | P.M.           | P.D.          | P.M.                      | P.D.                    | P.M.                      | P.D.                   | P.M.                              | P.D.                      | P.M.                   | P.D.  | P.M.           | P.D.          | P.M.                      | P.D.                    | P.M.  | P.D. |  |  |
| Arsénico  | 0.2                       | 0.4                    | 0.1                             | 0.2                       | 0.1                    | 0.2   | 0.2            | 0.4           | 0.1                       | 0.2                     | 0.1                       | 0.2                    | 0.2                               | 0.4                       | 0.1                    | 0.2   | 0.2            | 0.4           | 0.1                       | 0.2                     | 0.2   | 0.4  |  |  |
| Cadmio  | 0.2                       | 0.4                    | 0.1                             | 0.2                       | 0.1                    | 0.2   | 0.2            | 0.4           | 0.1                       | 0.2                     | 0.1                       | 0.2                    | 0.2                               | 0.4                       | 0.1                    | 0.2   | 0.2            | 0.4           | 0.1                       | 0.2                     | 0.2   | 0.4  |  |  |
| Cianuros  | 10                        | 30                     | 10                              | 30                        | 10                     | 30  | 10             | 30            | 10                        | 30                      | 10                        | 30                     | 10                                | 30                        | 10                     | 30  | 10             | 30            | 10                        | 30                      | 10    | 30   |  |  |
| Cobre   | 4.0                       | 6.0                    | 4.0                             | 6.0                       | 4.0                    | 6.0   | 4.0            | 6.0           | 4.0                       | 6.0                     | 4.0                       | 6.0                    | 4.0                               | 6.0                       | 4.0                    | 6.0   | 4.0            | 6.0           | 4.0                       | 6.0                     | 4.0   | 6.0  |  |  |
| Cromo   | 1.0                       | 1.5                    | 0.5                             | 1.0                       | 0.5                    | 1.0   | 1.0            | 1.5           | 0.5                       | 1.0                     | 0.5                       | 1.0                    | 0.5                               | 1.0                       | 0.5                    | 1.0   | 1.0            | 1.5           | 0.5                       | 1.0                     | 0.5   | 1.0  |  |  |
| Mercurio  | 0.01                      | 0.02                   | 0.005                           | 0.01                      | 0.005                  | 0.01  | 0.01           | 0.02          | 0.005                     | 0.01                    | 0.01                      | 0.02                   | 0.005                             | 0.01                      | 0.01                   | 0.02  | 0.01           | 0.02          | 0.005                     | 0.01                    | 0.005 | 0.01 |  |  |
| Níquel  | 2                         | 4                      | 2                               | 4                         | 2                      | 4   | 2              | 4             | 2                         | 4                       | 2                         | 4                      | 2                                 | 4                         | 2                      | 4   | 2              | 4             | 2                         | 4                       | 2     | 4    |  |  |
| Plomo   | 0.5                       | 1                      | 0.2                             | 0.4                       | 0.2                    | 0.4   | 0.5            | 1             | 0.2                       | 0.4                     | 0.2                       | 0.4                    | 0.5                               | 1                         | 0.2                    | 0.4   | 0.5            | 1             | 0.2                       | 0.4                     | 0.5   | 1    |  |  |
| Zinc  | 10                        | 20                     | 10                              | 20                        | 10                     | 20  | 10             | 20            | 10                        | 20                      | 10                        | 20                     | 10                                | 20                        | 10                     | 20  | 10             | 20            | 10                        | 20                      | 10    | 20   |  |  |

- pH de 5 a 10
- Para determinar la contaminación por patógenos Coliformes Fecales, LMP para descargas a aguas y bienes nacionales y para las vertidas al suelo (riego agrícola):
  - 1000 NMP/100 ml como P.M.
  - 2000 NMP/100 ml como P.D.
- Para determinar la contaminación por parásitos: Huevos de Helminto, LMP para descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola):
  - 1 H.H. para riego no restringido (CUALQUIER CULTIVO)
  - 5 H.H. para riego restringido (excepto legumbres y verduras que se consumen crudas)

### NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

#### NOM-002-SEMARNAT-1996

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C.

Los límites máximos permisibles para los parámetros DBO y SST son los establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1996.

El rango permisible de pH de 10 y 5.5 unidades.

La materia flotante debe estar ausente.

No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos, considerados peligrosos, conforme a la regulación.

| LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES   |                  |                 |             |
|---|------------------|-----------------|-------------|
| Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | Promedio mensual | Promedio diario | Instantáneo |
| Grasas y aceites  | 50               | 75              | 100         |
| Sólidos sedimentables (mililitros por litro)                          | 5                | 7.5             | 10          |
| Arsénico total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cadmio total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cianuro total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Cobre total   | 10               | 15              | 20          |
| Cromo hexavalente   | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Mercurio total  | 0.01             | 0.015           | 0.02        |
| Níquel total  | 4                | 6               | 8           |
| Plomo total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Zinc total  | 6                | 9               | 12          |

### NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

#### NOM-003-SEMARNAT-1997

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.

**REUSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO**  
Es el que se destina a actividades donde el público usuario está expuesto directamente o en contacto físico. Se consideran los siguientes reusos:

- Llenado de lagos y canales artificiales recreativos con:
  - Esquí
  - Lago artificial no recreativos
  - Barreras hidráulicas de seguridad
  - Pantanos
- Playas en lancha
- Fuentes de ornato
- Lavado de vehículos
- Siego de parques y jardines.
- Siego de jardines y canales en estatuas y anillos
- Fuentes de ornato
- Campo de golf
- Abastecimiento de sistemas contra incendio

**REUSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL**  
Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. Se consideran los siguientes reusos:

La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada.

El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

| TIPO DE REUSO   | PROMEDIO MENSUAL               |                          |                         |                         |            |
|---|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
|   | Coliformes Fecales (MPN/100ml) | Huevos de Helminth (ppm) | Grasas y aceites (mg/l) | DBO <sub>5</sub> (mg/l) | SST (mg/l) |
| Servicios al público con contacto directo               | 340                            | ≤ 1                      | 15                      | 20                      | 20         |
| Servicios al público con contacto indirecto u ocasional | 1,000                          | ≤ 5                      | 15                      | 30                      | 30         |

### PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

| PARÁMETRO                      | ABREVIACIÓN   | IMPORTANCIA  |
|--------------------------------|---|--|
| Sólidos totales                | ST  | Para evaluar el uso potencial de un agua residual y residual tratado y determinar el posible tipo de operación o proceso para su tratamiento.  |
| Sólidos volátiles totales      | SVT   |  |
| Sólidos fijos totales          | SFT   |  |
| Sólidos suspendidos totales    | SST   |  |
| Sólidos suspendidos volátiles  | SSV   |  |
| Sólidos suspendidos fijos      | SSF   |  |
| Sólidos disueltos volátiles    | SDV   |  |
| Sólidos disueltos fijos        | SDF   |  |
| Sólidos sedimentables          | SSed  |  |
| Turbidez                       | T   |  |
| Color                          | C   | Para evaluar las condiciones del agua.   |
| Oloro                          | O   | Para determinar si el olor puede ser un problema.  |
| Temperatura                    | T   | Es importante en el diseño y operación de procesos de tratamiento biológico.   |
| Conductividad                  | CE  | Es importante para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.   |
| Amoníaco libre                 | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | Empaquetado como una medida de nutrientes presentes y del grado de descomposición en el agua residual. Las formas oxidadas pueden ser tomadas como una medida del grado de oxidación.                                      |
| Nitrógeno orgánico             | N Org   |  |
| Nitrógeno total kjeldahl       | NTK   |  |
| Nitratos                       | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  |  |
| Nitrosos                       | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  |  |
| Nitrógeno total                | NT  |  |
| Fósforo inorgánico             | P Inorg   |  |
| Fósforo total                  | PT  |  |
| Fósforo orgánico               | P Org   |  |
| pH                             |   | Importante para el desarrollo de los microorganismos en un proceso de tratamiento biológico.   |
| Alcalinidad                    |   | Una medida de la capacidad de amortiguamiento del agua en un proceso de tratamiento biológico.   |
| Cloruro                        | Cl  | Empleado para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.  |
| Sulfato                        | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>   | Para evaluar la potencialidad de generar olores y su impacto en el tratamiento de los residuos.  |
| Metales                        | Ag, As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Hg, Mn, Ni, Ni <sub>2</sub> , K, Mo, Ni, Se, Na, Zn | Para evaluar la posibilidad de reuso del agua residual tratada y sus efectos tóxicos en el tratamiento. Cambios de toxicidad pueden ser importantes para el desarrollo de los microorganismos en un tratamiento biológico. |
| Demanda bioquímica de oxígeno  | DBO   | Cambios de oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica biodegradable.   |
| Demanda química de oxígeno     | DQO   | A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO.   |
| Carbón orgánico total          | COT   | A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO.   |
| Toxicidad                      |   | Toxicidad aguda o crónica ocasionada por presencia de metales o COV.   |
| Compuestos orgánicos volátiles | COV   | Para determinar la presencia de compuestos orgánicos específicos y evaluar si se necesitan medidas especiales de diseño para su remoción.  |
| Organismos coliformes          | CT, CF  | Para evaluar la presencia de bacterias patógenas y la efectividad del proceso de desinfección.   |
| Microorganismos específicos    | Bacterias, protozoarios, helmintos, virus   | Evaluación de la presencia de organismos específicos en un proceso de tratamiento biológico.   |

### Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados

**Joven**  
Café claro  
Sedimentación clara  
Floculo esponjoso  
Agua clara  
Aumentar recirculación

**Maduro**  
Café achocolado  
Buena sedimentación  
Floculo bien formado  
Agua clara

**Viejo**  
Café oscuro  
Sedimentación rápida  
Floculo cabeza de rapa  
Agua turbia

Predominio relativo

Bajo Tiempo medio de retención celular (TMC) Alto



## SISTEMA MECANIZADO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

MEDIO AMBIENTE | IMTA

MEDIO AMBIENTE | IMTA

Figura 535. Infografías.

En el Manual de ejercicios prácticos (Figura 536) se presentan una serie de ejercicios prácticos que están clasificados por niveles, de tal manera que el operador podrá resolverlos inicialmente por él mismo. Posteriormente, la

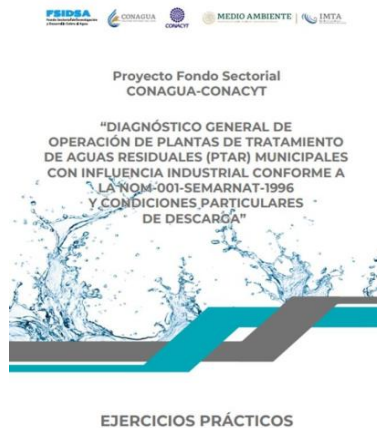
complejidad de los ejercicios le requerirá hacer uso de materiales de apoyo, o recurrir a sus colegas para dar una solución adecuada, y finalmente en un nivel superior, para poder resolver el ejercicio tendrá que recurrir a la ayuda del instructor.

Para la ejecución de estos ejercicios se hará uso de:

- Preguntas de opción múltiple
- Preguntas directas
- Presentación de problemas operacionales
- Preguntas de reflexión, con problemas que desde un punto de vista pueden presentar múltiples interacciones entre los procesos.

Estos ejercicios están relacionados a su vez con conocimientos generales, teóricos y prácticos de la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por lo anterior, lo que pretende este manual es que el operador al final cuente con los conocimientos que le permita discernir los niveles de problemas operacionales que se pueden presentar en una PTAR y, a su vez, tener una herramienta que le permita jerarquizarlos para obtener la mejor y correcta solución.



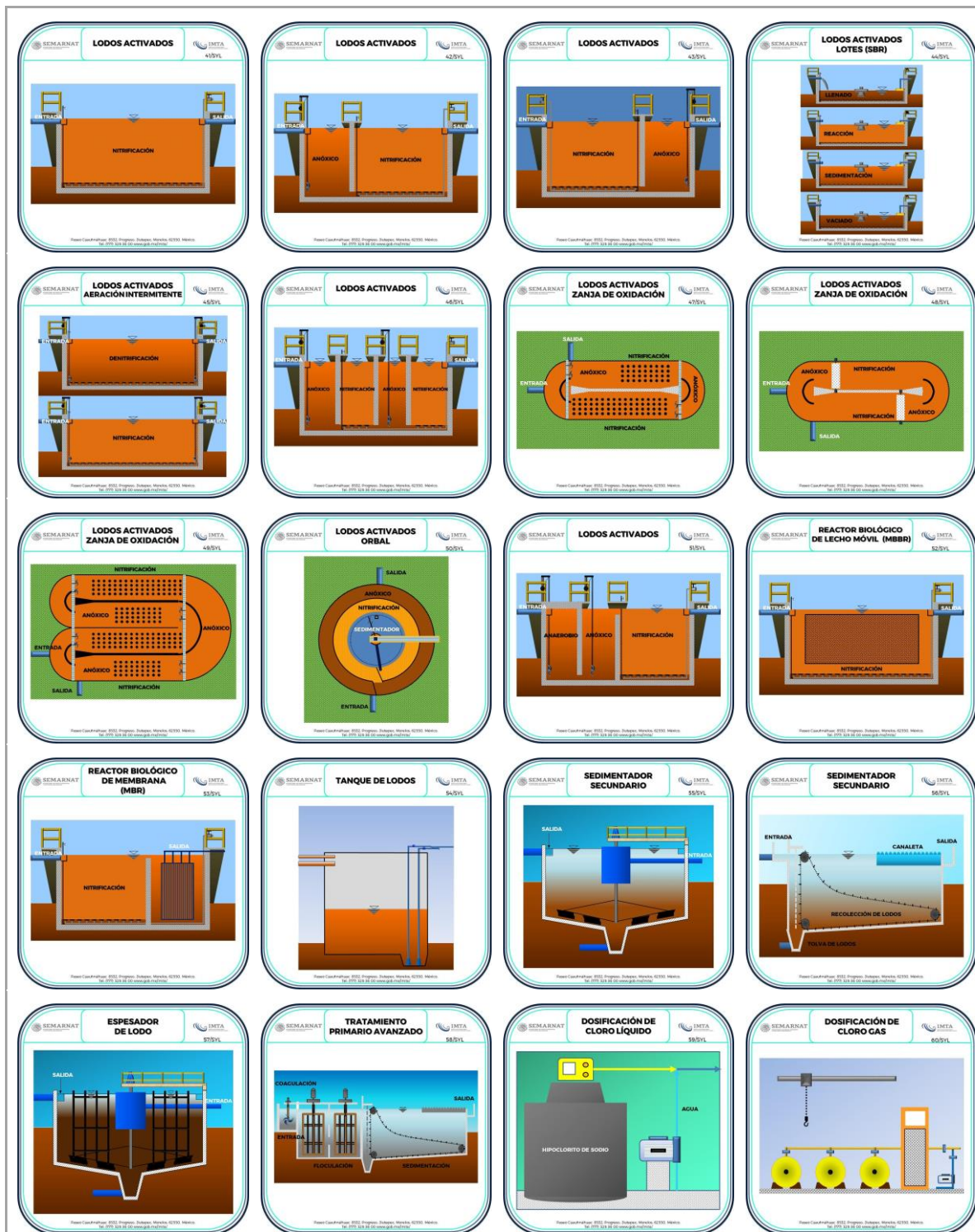
**Figura 536. Manual de ejercicios prácticos.**

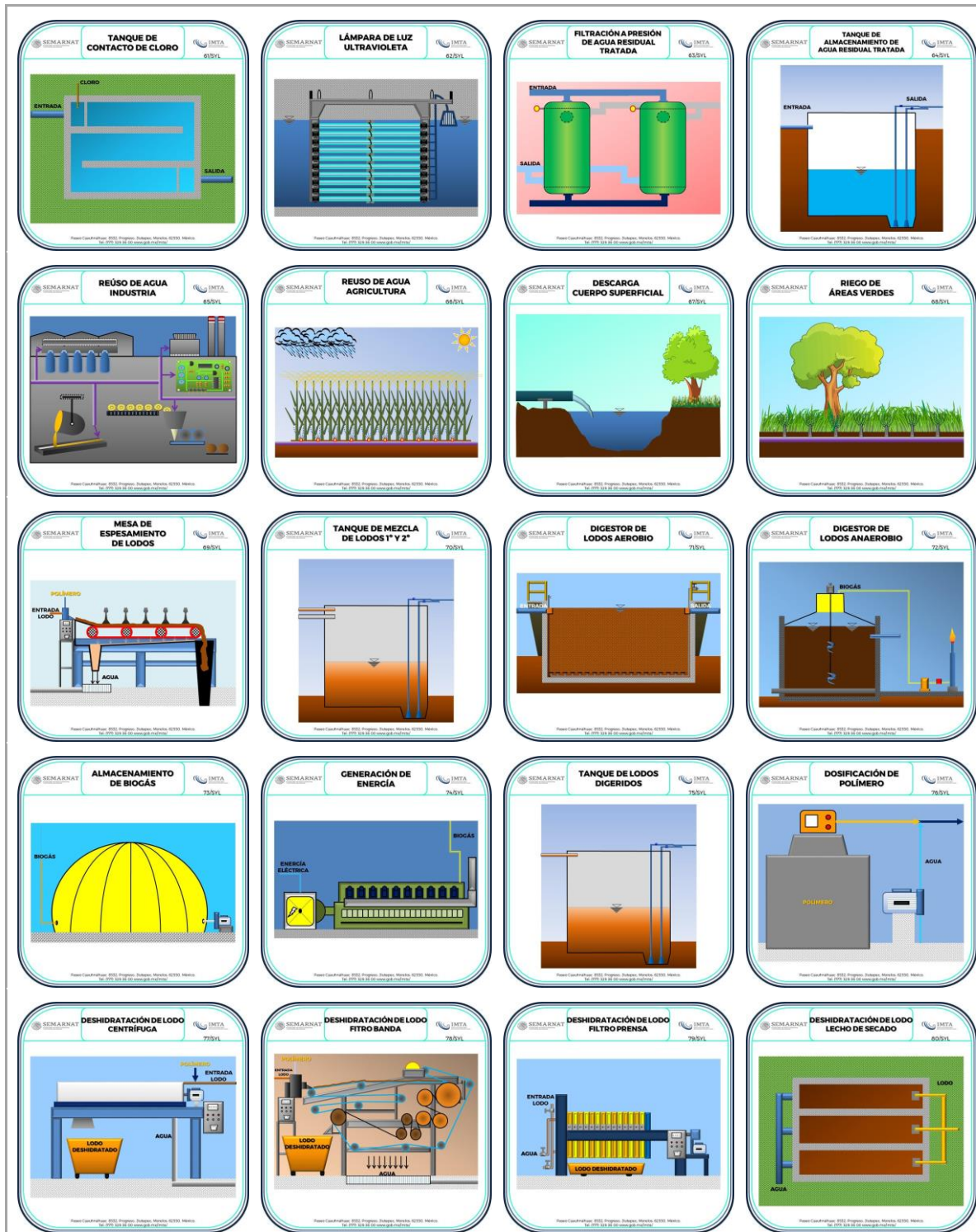
Este manual va acompañado de un kit de imágenes (Figura 537) que representan todos los posibles procesos que pueden estar presentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.













**Figura 537. Kit de figuras.**

En la Figura 538, se muestra el oficio de entrega.

## CARTA DE ENTREGA Y RECEPCIÓN

### MATERIAL DE APOYO TÉCNICO IMPRESO

El que suscribe Edgar A. Carra Reyes en representación de la **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipal**, ubicada en Monterrey, Nuevo León, manifiesta recibir de conformidad el material de apoyo técnico impreso en perfecto estado, consiste en:

1. Infografía
2. Manual:
  - a. Seguridad e higiene
  - b. Control de proceso
  - c. Calidad del agua
  - d. Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
  - e. Indicadores sensoriales
  - f. Indicadores analíticos
  - g. Ejercicios prácticos
3. Kit de imágenes de proceso

Dicho material impreso está relacionado con las actividades del proyecto Fondo Sectorial CONAGUA-CONACYT "DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA"

Se firma la presente carta de entrega y recepción del material de apoyo técnico impreso a los 25 días del mes de Mayo de 2022

**Recibe de conformidad**



**Figura 538. Entrega de material didáctico.**

## 5 SEGURIDAD E HIGIENE

El responsable de la seguridad e higiene en la PTAR es Harold López Cisneros, quien colaboró en el llenado del FORMATO 15. SEGURIDAD E HIGIENE.

Se pudo corroborar que se tienen identificadas las zonas de riesgo dentro de la PTAR, las cuales se han identificado mediante letreros y advertencias de seguridad. Asimismo, se tienen señalizadas las rutas de evacuación, el equipo de protección personal que se debe utilizar en cada área de trabajo, así como el lugar en el que se encuentra el equipo de protección personal y combate a emergencias.



**Figura 539. Señalización de seguridad en la PTAR.**

También, se verificó la existencia de brigadas de evacuación, primeros auxilios, prevención y combate de incendio, búsqueda y rescate, así como una brigada multifuncional y de atención de derrames químicos.



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



Adicionalmente, se cuenta con planes de contingencia para atención de incendios, derrames de combustibles, sismos, tormentas eléctricas, explosión, contingencias técnicas y atención de emergencias médicas del personal. Asimismo, se realizan simulacros para mejorar la capacitación.

En lo que respecta a los servicios médicos, la Planta cuenta con enfermería, médico en las instalaciones, paramédico y un plan de movilización de personal al centro de atención hospitalaria más cercano, que se encuentra a menos de 4 km.

## 6 LABORATORIO

La PTAR cuenta con un laboratorio de análisis acreditado, que pertenece al SAPAL, por lo que presta servicios de análisis de agua residual y potable a todas las instalaciones que dependen de este sistema de administración de agua (Figura 540).



**Figura 540. Laboratorio de análisis**

Como se hace constar en el FORMATO 16. BUENAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO, el laboratorio se encuentra limpio y ordenado, cuenta con instalaciones, equipos, cristalería y materiales adecuados para su operación. Asimismo, se constató que se cuenta con manual de procedimientos, manual de análisis, manuales de equipos y manual de buenas prácticas de laboratorio.

Respecto a la seguridad en el laboratorio, se tienen señalizaciones y ruta de evacuación identificada. Asimismo, se cuenta con el equipo de protección personal necesario, extintor y botiquín de primeros auxilios.

En resumen, el laboratorio acreditado cuenta con las instalaciones, los equipos y el personal requerido para desempeñar las actividades de manera adecuada.

## 7 CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR

### 7.1 Causas

Para poder ponderar las causas que influyen de manera negativa en el desempeño de la PTAR, se hace uso de una clasificación que consta de tres niveles de impacto, a saber:

#### Nivel I

Son los que presentan un mayor efecto y con problemas físicos difíciles de resolver de las unidades de proceso más importantes.

#### Nivel II

Son los que contribuyen rutinariamente al bajo desempeño o producen mayores efectos en una base periódica o estacional.

#### Nivel III

Son los que presentan mínimos efectos, fáciles y económicos de resolver, Normalmente de operación y administración.

Así, tomando como base la información obtenida de los capítulos anteriores, y la clasificación de las causas que influyen en el desempeño de la PTAR, se elabora la Tabla 192.

**Tabla 192. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR**

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño                                     | Atención      |
|-----|-------|---|---------------|
| 1   | I     | Pre-tratamiento en malas condiciones de operación y mal diseñados | Mediano plazo |
| 2   |       | Desarenadores fuera de operación                                  | Mediano plazo |
| 3   |       | El efluente de PTAR Desbaste con alta carga de contaminantes.     | Largo plazo   |
| 4   |       | Filtros percoladores en las malas condiciones de operación.       | Largo plazo   |



| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño   | Atención      |
|-----|-------|---|---------------|
| 5   |       | Sedimentadores secundarios en malas condiciones de operación                          | Corto plazo   |
| 6   |       | Sobredosificación de cloro en el tanque de contacto de cloro                          | Corto plazo   |
| 7   |       | Presencia de materia orgánica y sólidos en el tanque de contacto de cloro             | Mediano plazo |
| 8   |       | La mezcla del agua residual del canal con el efluente del tanque de contacto de cloro | Mediano plazo |
| 1   | II    | Capacitación al personal de operación   | Mediano plazo |

## 7.2 Descripción de la causa y recomendaciones

### 7.2.1 Nivel I

| Causa  | Recomendación  |
|--|--|
| <p><b>1. Pre-tratamiento en malas condiciones de operación</b></p> <p>Existe una alta acumulación sólidos de gran tamaño en el cárcamo de bombeo. Las rejillas gruesas y finas no son de la abertura correcta. Cárcamo de bombeo azolvado.</p> | <p>Rediseño del sistema de pretratamiento.</p> <p>Rediseño del desarenador.</p> <p>Disminución de la carga de contaminantes y toxicidades del efluente de la PTAR</p> <p>Desbaste.</p> <p>Reingeniería del tratamiento secundario. Se recomienda hacer una combinación de filtro-percolador con un sistema de lodos activados con remoción de nutrientes. Como proceso alternativo, se recomienda la</p> |
| <p><b>2. Desarenadores fuera de operación.</b></p> <p>El tanque de desarenador solo sirve como tanque de pasó. No hay mantenimiento del tanque. Tanque azolvado.</p>   |  |

| <b>Causa</b>  | <b>Recomendación</b>   |
|---|--|
| <p><b>3. El efluente de PTAR Desbaste con alta carga de contaminantes.</b></p> <p>El efluente de la PTAR Desbaste contiene toxicidad y una alta carga de contaminantes provocando una desestabilización en la PTAR. El efluente de la PTAR Desbaste se envía a un sedimentador primario para posteriormente mezclarse con los efluentes de los sedimentadores primarios de la PTAR Municipal. Una cierta cantidad de caudal que sale de los sedimentadores primarios se envía a una canal a cielo abierto sin tratamiento previo. Este excedente de agua residual tiene alta toxicidad y una alta carga de contaminantes.</p> | <p>implementación de reactores de lecho móvil.</p> <p>Realizar una correcta operación y mantenimiento de los sedimentadores secundarios. Realizar una correcta extracción de los lodos acumulados en el fondo y en la superficie de los sedimentadores secundarios.</p> <p>Se recomienda la disminución de la dosis de cloro una vez que se hayan disminuido las concentraciones de los contaminantes.</p> <p>Incorporar los excedentes de los sedimentadores primarios al tren de tratamiento de la PTAR.</p> |
| <p><b>4. Filtros percoladores en las malas condiciones de operación.</b></p> <p>De los dos filtros percoladores solo se encuentra en operación uno. Existe una alta carga superficial y orgánica en el proceso biológico provocando la muerte de los microorganismos y desprendimiento de las biopelículas. Todos los componentes que componen a los dos filtros percoladores se encuentran en muy mal estado.</p>  |  |
| <p><b>5. Sedimentadores secundarios en malas condiciones de operación.</b></p> <p>Rastras y vertederos desnivelados. Los materiales con los que están contruidos se encuentran en avanzado estado de corrosión. Alta acumulación de sólidos</p>   |  |

| Causa  | Recomendación |
|--|---------------|
| <p>en la superficie y en el fondo de los sedimentadores secundarios.</p>   |               |
| <p><b>6. Sobredosificación de cloro en el tanque de contacto de cloro.</b></p> <p>Actualmente se está dosificando una concentración de cloro entre 139 y 222 mg/L.</p>   |               |
| <p><b>7. Presencia de materia orgánica y sólidos en el tanque de contacto de cloro.</b></p> <p>Debido a un alto contenido de materia orgánica, nitrógeno y sólidos en el tanque de contacto de cloro, el poder oxidante del cloro disminuye. Además, las reacciones entre el cloro y materia orgánica generan compuestos organoclorados.</p>   |               |
| <p><b>8. La mezcla del agua residual del canal con el efluente del tanque de contacto de cloro.</b></p> <p>El excedente del efluente de los sedimentadores primarios se mezcla con el efluente del tanque de contacto de cloro. Esta mezcla se convierte en la descarga final de la PTAR. El excedente que se conduce en el canal presenta una toxicidad alta y contiene diferentes contaminantes orgánicos e inorgánicos que impacta negativamente la calidad del agua residual tratada de la PTAR.</p> |               |

### 7.2.2 Nivel II

| Causa | Recomendación |
|-------|---------------|
|-------|---------------|

|   |   |
|---|---|
| <p><b>1. Capacitación al personal de operación.</b></p> | <p>Aunque el personal de SAPAL se capacita constante es necesario capacitarse en temas de tratamiento fisicoquímicos, procesos biológicos, procesos de oxidación avanzada, operación de procesos fisicoquímicos, procesos biológicos, características de las aguas residuales industriales.</p> |
|---|---|

## 7.3 RESUMEN

### 3) Título de concesión de descarga

- c) Se cuenta con un título de descarga con Número de título de asignación 08GUA123229/12HMDL18 que permite un volumen de descarga autorizado de 216,000m<sup>3</sup>/d. Se tienen condiciones particulares de descarga.

### 4) Memoria de cálculo

- a) No se proporcionó memoria de cálculo de la PTAR, por lo que no se conocen los parámetros utilizados para el diseño de la PTAR. Las dimensiones, geometrías y profundidades de las unidades de proceso se midieron en campo y corresponden con las dimensiones de los planos entregados.

### 5) Información histórica de calidad del agua

- a) Se proporcionó información que se reportó a la Comisión Nacional del Agua entre los años 2019 y 2021.
- b) La PTAR en este periodo ha operado un caudal promedio mensual de 750.2 L/s que corresponde a un 30% del caudal de diseño (2,500 L/s).
- c) El efluente de la planta municipal, de acuerdo con los datos históricos, no cumple con los límites máximos permisibles de descarga de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996 en los siguientes parámetros: sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno.
- d) La PTAR Municipal no cumple con los límites permisibles de DQO, DBO, SST y NT de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021. También la concentración de cromo y mercurio presentan valores máximos muy cercanos y/o superiores a los límites de descarga de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y 2021.

### 6) Información del Proceso

- a) Los análisis rutinarios del influente y efluente de la PTAR Municipal se realizan en el laboratorio acreditado de SAPAL con el que cuenta SAPAL, por lo que se realizan análisis de todos los parámetros requeridos en las condiciones particulares de descarga de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 y de la NOM-001-SEMARNAT-2021

excepto COT, toxicidad, color verdadero, *E. coli* y Enterococos fecales.

- b) El programa de operación y mantenimiento incluye los procesos de tratamiento, equipo electromecánico, sistemas de control, telemetría e instrumentación, subestación eléctrica etc.
- c) Se cuenta con la documentación del historial de mantenimientos preventivos y correctivos realizados durante el último año de operación en la PTAR.
- d) Se cuenta con las bitácoras de operación y mantenimiento.
- e) Se cuenta con un manual de operación y mantenimiento.

## **7) Funcionamiento de la PTAR**

- a) El estado de la obra civil de todas las unidades de tratamiento se encuentra en buen estado.
- b) Las rejillas mecánicas gruesas y finas se encuentran en funcionamiento. Sin embargo, no se encuentran funcionando correctamente. Las rejillas gruesas y finas no están bien diseñadas.
- c) Los canales y el cárcamo de bombeo se encuentran saturados de sólidos tanto en la superficie como en el fondo.
- d) El equipo de bombeo se encuentran en buenas condiciones de operación
- e) Los desarenadores se encuentran fuera de operación.
- f) Sedimentadores primarios se encuentran en buen estado y trabajando correctamente.
- g) Sedimentador primario que recibe el efluente de la PTAR Desbaste se encuentra en funcionamiento. Sus vertedores se encuentran en avanzado estado de oxidación, desgastados y desnivelados.
- h) Un caudal de 735 L/s de agua residual que sale de los sedimentadores primarios se envía a una canal a cielo abierto en donde se mezcla con el efluente tratado que sale del tanque de contacto de cloro.
- i) Los dos filtros percoladores se encuentran en malas condiciones de operación y mantenimiento. Existe desprendimiento e inhibición de las biopelículas adheridas al medio de soporte.
- j) Los sedimentadores secundarios se operan de manera ineficiente. Existe un exceso de lodos en la superficie y fondo de los sedimentadores.
- k) El proceso de desinfección se trabaja de manera ineficiente. Hay un exceso de cloro que se dosifica en el tanque de contacto de cloro.

Existe gran presencia de materia orgánica y sólidos. Hay formación de espumas.

- l) El excedente de agua residual que proviene del efluente de los sedimentadores primarios se conduce a través de una canal donde se mezcla con el efluente del tanque de contacto de cloro impactando negativamente la calidad del agua residual de la descarga principal de la PTAR.
- m) Existe una baja o nula remoción de los contaminantes presentes en el agua residual a través de las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR.
- n) En los influentes y efluentes de las unidades de tratamiento la carga de contaminantes es alta. El agua residual cruda y tratada son altamente tóxicas.

## 8) Muestreo

- a) Se realizó un muestreo compuesto de 24 h al influente y efluente general de la PTAR, considerando los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y de la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- b) Otros parámetros tales como cloruros totales, conductividad eléctrica, cromo hexavalente, sulfatos, sulfuros, N-NH<sub>3</sub>, NTK, fueron analizados en el muestreo compuesto y muestreo simple.
- c) El caudal de operación de la PTAR se encuentra entre 420 y 1,344 L/s con un promedio de 1,185 L/s.
- d) Para la NOM-001-SEMARNAT-1996, los parámetros que no cumplieron fueron los sólidos sedimentables, CyA, DBO y NT.
- e) Para la NOM-001-SEMARNAT-2021, los parámetros que no cumplieron fueron CyA, NT, DQO, *E. coli* y toxicidad.

## 9) Influencia industrial

- a) Se tiene un total de 5,428 industrias en la Cd. De León Gto. de las cuales 733 son industrias de Tenerías.
- b) La relación DQO/DBO del influente de la PTAR fue de 3.34 indicando que es poco biodegradable.
- c) El valor promedio de la toxicidad en el influente es de 54.64 UT.

## 10) Evaluación de conocimientos

- a) El personal directivo de la PTAR presenta buenas bases en conocimiento básico y generales, sin embargo, los conocimientos técnicos son deficientes en algunos temas.
- b) Los operadores conocen bien la PTAR y en general tienen conocimientos técnicos sobre el proceso de tratamiento.
- c) Se entregó material didáctico para solventar un poco la problemática.

## **11) Seguridad**

- a) La PTAR cuenta con todas las medidas de seguridad incluyendo la de espacios confinados.
- b) Existe dentro de la PTAR disposiciones de seguridad tales como, el uso de equipo de protección personal, elementos de protección respiratoria, así como para contingencia COVID-19.
- c) Se cuenta con brigadas de evacuación, de primeros auxilios y prevención, así como de combate a incendios, búsqueda y rescate, así como una brigada multifuncional y de atención de derrames químicos.
- d) La PTAR cuenta con enfermería, médico en las instalaciones, paramédico y un plan de movilización de personal al centro de atención hospitalaria más cercano, que se encuentra a menos de 4 km.

## **12) Laboratorio**

- a) La PTAR cuenta con un laboratorio de análisis acreditado que pertenece al SAPAL que realiza todos los análisis para los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021 excepto para el COT, toxicidad, color verdadero, *E. coli* y Enterococos fecales por lo que presta servicios de análisis de agua residual y potable a todas las instalaciones que dependen de este sistema de administración de agua

## **13) Causas que limitan el desempeño de la PTAR**

- a) Pre-tratamiento en malas condiciones de operación y mal diseñado.
- b) Desarenadores fuera de operación



- c) El efluente de la PTAR Desbaste que se mezcla con el agua residual municipal contiene toxicidad y una alta carga de contaminantes provocando una desestabilización en la PTAR
- d) Filtros percoladores en las malas condiciones de operación.
- e) Sedimentadores secundarios en malas condiciones de operación.
- f) Sobredosificación de cloro en el tanque de contacto de cloro.
- g) Presencia de materia orgánica y sólidos en el tanque de contacto de cloro.
- h) El excedente del efluente de los sedimentadores primarios se mezcla con el efluente del tanque de contacto de cloro. Esta mezcla se convierte en la descarga final de la PTAR. El excedente que se conduce en el canal presenta una toxicidad alta y contiene diferentes contaminantes orgánicos e inorgánicos que impacta negativamente la calidad del agua residual tratada de la PTAR.

## 8 CONCLUSIONES

Actualmente, la PTAR Municipal se encuentra en un proceso de reconfiguración en la cual solo se conoce que se va a implementar un set de hidrocribas de 0.3 cm para la separación de sólidos, un sistema de filtración tipo placa planas y un sistema de lodos activados no convencional. No se pudo obtener información a detalle sobre la reingeniería de la PTAR.

De acuerdo a los muestreos realizados en la PTAR, los parámetros que no cumplieron con los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996, fueron los sólidos sedimentables, GyA, DBO y NT. Para la NOM-001-SEMARNAT-2021, los parámetros que no cumplieron fueron GyA, NT, DQO, E. coli y toxicidad.

Se demostró que el agua residual que llega a la PTAR Municipal presenta un aporte industrial. Una alta concentración de diferentes contaminantes principalmente DQO, nitrógeno y fósforo entre otros compuestos fueron encontrados en el influente de la PTAR generando altas toxicidades en el agua residual.

En las condiciones actuales, la PTAR no presenta una adecuada eficiencia de remoción de los contaminantes. Las remociones de los contaminantes en las diferentes etapas de tratamiento son insignificantes.

Con el objetivo de dar cumplimiento con la NOM-001-SEMARNAT-2021 y/o y tomando en cuenta de que ya se tiene con un proyecto de reingeniería (y que está en construcción) se recomienda que en el proyecto de reingeniería actual se contemple el rediseño del sistema de pretratamiento, rediseño del desarenador, disminución de la carga de contaminantes y toxicidades del efluente de la PTAR Desbaste, reingeniería de todo el sistema de tratamiento secundario. Se recomienda hacer una combinación de filtro-percolador con un sistema de lodos activados con remoción de nutrientes. Como proceso alternativo, se recomienda la implementación de reactores de lecho móvil. Realizar una correcta operación y mantenimiento de los sedimentadores secundarios, realizar una correcta extracción de los lodos acumulados en el fondo y en la superficie de los sedimentadores secundarios.

Se recomienda además determinar las dosis exactas de cloro una vez que se hayan disminuido las concentraciones de los contaminantes.

Es necesario incorporar los excedentes de los sedimentadores primarios al tren de tratamiento de la PTAR.



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



Tomado en cuenta estas recomendaciones se puede garantizar un efluente con mayor calidad de agua disminuyéndose los efectos tóxicos hacia los cuerpos receptores.



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



## **PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

### **PROYECTO No.309621**

# **“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA”**

## **DIAGNÓSTICO DE LA PTAR DE DESBASTE**

**LEÓN, GUANAJUATO**

## ÍNDICE

|        |   |      |
|--------|---|------|
| 1      | INFORMACIÓN DE LA PTAR .....  | 1067 |
| 1.1    | Datos generales.....  | 1067 |
| 1.2    | Ubicación.....  | 1068 |
| 1.3    | Descripción del proceso.....  | 1068 |
| 2      | REVISIÓN DOCUMENTAL .....   | 1071 |
| 2.1    | Planos.....   | 1071 |
| 2.2    | Permiso de descarga .....   | 1072 |
| 2.3    | Análisis de la memoria de cálculo.....                              | 1075 |
| 2.4    | Análisis de la información histórica de calidad del agua .....      | 1075 |
| 2.4.1  | Caudal .....  | 1076 |
| 2.4.2  | Temperatura.....  | 1076 |
| 2.4.3  | pH.....   | 1077 |
| 2.4.4  | Grasas y Aceites .....  | 1078 |
| 2.4.5  | Sólidos Suspendidos Totales .....                                   | 1079 |
| 2.4.6  | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....              | 1080 |
| 2.4.7  | Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....                              | 1081 |
| 2.4.8  | Nitrógeno Total (NT) .....  | 1082 |
| 2.4.9  | Cromo Total.....  | 1083 |
| 2.4.10 | Sulfuros .....  | 1084 |
| 2.4.11 | Resumen de la calidad del efluente de la planta de desbaste<br>1085 |      |
| 2.5    | Análisis de la información del Proceso.....                         | 1087 |
| 2.5.1  | Análisis rutinarios .....   | 1087 |
| 2.5.2  | Manual de operación.....  | 1087 |
| 2.5.3  | Reportes de operación (bitácoras) .....                             | 1087 |
| 2.5.4  | Mantenimiento.....  | 1088 |

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 3     | ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR.....           | 1090 |
| 3.1   | Estado de las unidades de proceso.....                     | 1090 |
| 3.1.1 | Pre-desbaste.....  | 1090 |
| 3.1.2 | Cribado grueso y fino.....                                 | 1094 |
| 3.1.3 | Desarenadores-Desgrasadores.....                           | 1095 |
| 3.1.4 | Tanques de homogeneización.....                            | 1096 |
| 3.1.5 | Caja de distribución y tanques de homogeneización.....     | 1098 |
| 3.1.6 | Coagulación-Floculación.....                               | 1099 |
| 3.1.7 | Módulos de oxidación biológica.....                        | 1102 |
| 3.2   | Muestreo y calidad del agua residual.....                  | 1106 |
| 3.2.1 | Resultados del muestreo compuesto.....                     | 1110 |
| 3.2.2 | Eficiencia de la PTAR en la remoción de contaminantes..... | 1118 |
| 3.2.3 | Influencia industrial.....                                 | 1126 |
| 4     | DIAGNÓSTICO DE PERSONAL.....                               | 1128 |
| 4.1   | Recursos Humanos.....                                      | 1128 |
| 4.2   | Evaluación de conocimientos.....                           | 1128 |
| 4.3   | Capacitación.....  | 1129 |
| 4.3.1 | Cursos de capacitación recibidos.....                      | 1129 |
| 4.3.2 | Temas de capacitación solicitados.....                     | 1129 |
| 4.3.3 | Material didáctico entregado.....                          | 1130 |
| 5     | SEGURIDAD E HIGIENE.....                                   | 1143 |
| 6     | LABORATORIO.....   | 1144 |
| 7     | CAUSAS QUE LIMITAN EL Desempeño de la PTAR.....            | 1145 |
| 7.1   | Causas.....  | 1145 |
| 7.2   | Descripción de la causa y recomendaciones.....             | 1146 |
| 7.2.1 | Nivel I.....   | 1146 |
| 7.2.2 | Nivel II.....  | 1148 |
| 7.3   | RESUMEN.....   | 1149 |
| 8     | CONCLUSIONES.....  | 1154 |

## TABLAS

|   |      |
|---|------|
| Tabla 1. Datos generales .....  | 1067 |
| Tabla 2. Ubicación y contacto .....   | 1068 |
| Tabla 3. Condiciones particulares y Norma 001-Semarnat-2021 para la descarga de aguas residuales módulo de desbaste y PTAR municipal ...  | 1073 |
| Tabla 4. Resumen de las características del efluente del módulo de desbaste .....   | 1085 |
| Tabla 5. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua .....  | 1108 |
| Tabla 6. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT 1996 y 2021. ....  | 1111 |
| Tabla 7. Contaminantes adicionales presentes en el influente y efluente de la PTAR “Desbaste” (muestreo compuesto).....   | 1112 |
| Tabla 8. Eficiencia de remoción global de los contaminantes en la PTAR “Desbaste” .....   | 1118 |
| Tabla 9. Remoción global de metales pesados en la PTAR “Desbaste” .....   | 1119 |
| Tabla 10. Variación de las concentraciones de los contaminantes en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR “Desbaste” .....                             | 1120 |
| Tabla 11. Variación de las concentraciones de $SO_4^{-2}$ , $S^{-2}$ , $Cr^{6+}$ y cloruros en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR “Desbaste” ..... | 1122 |
| Tabla 12. Variación de las concentraciones de metales pesados en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR “Desbaste” .....                               | 1124 |
| Tabla 13. Cantidad de industrias en la Cd. De León Gto. ....  | 1126 |
| Tabla 14. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR .....  | 1145 |

## FIGURAS

|   |      |
|---|------|
| Figura 1. Tren de tratamiento del Módulo de Desbaste. (Elaboración propia)                                  | 1070 |
| Figura 2. Datos históricos de la Temperatura en el influente y efluente del módulo de desbaste              | 1077 |
| Figura 3. Datos históricos de pH en el influente y efluente de la planta de desbaste                        | 1078 |
| Figura 4. Datos históricos de grasas y aceites en el influente y efluente del módulo de desbaste            | 1079 |
| Figura 5. Datos históricos de sólidos suspendidos totales en el influente y efluente del módulo de desbaste | 1080 |
| Figura 6. Datos históricos de DBO <sub>5</sub> en el influente y efluente del módulo de desbaste            | 1081 |
| Figura 7. Datos históricos de DQO en el influente y efluente del módulo de desbaste                         | 1082 |
| Figura 8. Datos históricos de nitrógeno total en el influente y efluente del módulo de desbaste             | 1083 |
| Figura 9. Datos históricos de cromo total a la entrada y salida del módulo de desbaste                      | 1084 |
| Figura 10. Datos históricos de los sulfuros a la entrada y salida del módulo de desbaste                    | 1085 |
| Figura 11. Clarifloculador  | 1090 |
| Figura 12. Canales de entrada que funcionan como pre-desbaste   | 1091 |
| Figura 13. Canales y cárcamo de bombeo fuera de operación   | 1092 |
| Figura 14. Cárcamo de bombeo en funcionamiento  | 1093 |
| Figura 15. Obtención de residuos del cárcamo de bombeo  | 1093 |
| Figura 16. Estructuras metálicas en estado avanzado de oxidación  | 1093 |
| Figura 17. Equipos de bombeo fuera de operación   | 1094 |
| Figura 18. Microtamizadores   | 1095 |



|  |      |
|--|------|
| Figura 19. Canales desarenadores-desgrasadores .....   | 1096 |
| Figura 20. Tanques de homogeneización .....  | 1097 |
| Figura 21. Área de tamizadores las cuales están fuera de servicio .....  | 1098 |
| Figura 22. Caja de distribución .....  | 1099 |
| Figura 23. Tanques de homogeneización .....  | 1099 |
| Figura 24. Proceso de coagulación-floculación .....  | 1100 |
| Figura 25. Caseta para la preparación de los agentes químicos para llevar a cabo el proceso de coagulación-floculación.....  | 1101 |
| Figura 26. Clarifloculadores .....   | 1102 |
| Figura 27. Primera etapa de módulos de oxidación .....   | 1103 |
| Figura 28. Segunda etapa de módulos de oxidación .....   | 1105 |
| Figura 29. Sedimentadores secundarios de la segunda etapa de oxidación .....   | 1105 |
| Figura 30. Cárcamo de bombeo del efluente de la PTAR Desbaste.....   | 1106 |
| Figura 31. Puntos de muestreos tomados para la caracterización del agua residual en la PTAR Desbaste.....  | 1107 |
| Figura 32. Variación del caudal en el influente y efluente de la PTAR Desbaste .....   | 1113 |
| Figura 33. Concentración de GyA en el influente y efluente de la PTAR de Zaragoza.....   | 1114 |
| Figura 34. Variación de los Enterococos fecales en el influente y efluente de la PTAR Desbaste.....  | 1115 |
| Figura 35. Variación del pH y temperatura en el influente y efluente final de la PTAR Desbaste.....  | 1116 |
| Figura 36. Variación de las toxicidades ( <i>Vibrio fischeri</i> ) en el influente y efluente de la Desbaste.....  | 1118 |
| Figura 37. Variación de las concentraciones de diferentes parámetros fisicoquímicos en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR “Desbaste”..... | 1121 |
| Figura 38. Variación de las concentraciones de sulfatos en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR “Desbaste”.....                             | 1123 |



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



|  |      |
|--|------|
| Figura 39. Variación de las concentraciones de metales pesados en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR “Desbaste” ..... | 1124 |
| Figura 40. Variación de las concentraciones del cromo en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR “Desbaste” .....          | 1125 |
| Figura 41. Variación del color verdadero en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR “Desbaste” .....                       | 1126 |
| Figura 42. Portada de los manuales.....  | 1131 |
| Figura 43. Infografías.....  | 1136 |
| Figura 44. Manual de ejercicios prácticos.....   | 1137 |
| Figura 45. Kit de figuras.....   | 1141 |
| Figura 46. Entrega y recepción de materiales de apoyo técnico impreso  | 1142 |
| Figura 47. Señalización de seguridad en la PTAR.....   | 1143 |
| Figura 48. Laboratorio de análisis .....   | 1144 |

## 1 INFORMACIÓN DE LA PTAR

### 1.1 Datos generales

El módulo de desbaste está ubicado en la carretera León-San Francisco del Rincón en el municipio de León, Guanajuato. Este módulo de desbaste junto con un sistema de colectores ha permitido separar las aguas industriales de las domésticas para su tratamiento.

El módulo de desbaste tiene una capacidad de 150 L/s, las aguas provenientes de las industrias reciben primero un pretratamiento, un tratamiento físico químico (coagulación-floculación) y posteriormente un tratamiento biológico para eliminar la mayor cantidad de carga contaminante. Posteriormente, el agua industrial tratada pasa a la Planta Municipal para continuar con su tratamiento.  
<https://www.sapal.gob.mx/proyectosprioritarios/saneamiento>

En la Tabla 193 se presentan algunos datos generales de la PTAR (tomados del Anexo I, el cual contiene los formatos con la información obtenida en campo, procesada y corregida).

**Tabla 193. Datos generales**

| <b>Datos generales</b>     |  |                     |                                   |
|----------------------------|--|---------------------|-----------------------------------|
| Año de construcción        | de 2009  | Inicio de operación | de 2010                           |
| Recepción de descargas     | <b>Parques industriales de León, Guanajuato</b>            | Población servida   | <b>1.2 millones de habitantes</b> |
| Actualización más reciente | <b>La PTAR El Desbaste se encuentra en reconfiguración</b> | Tipo de tratamiento | <b>Físicoquímico y biológico</b>  |
| Gasto de diseño            | <b>150 L/s</b>   | Gasto de operación  | <b>85 L/s</b>                     |

## 1.2 Ubicación

La planta “Módulo de Desbaste”, se encuentra ubicada en carretera León-San Francisco del Rincón, en el municipio de León, Guanajuato. El módulo es operado por FYPASA y va a iniciar su operación SAPAL (Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del municipio de León). Se encuentra a cargo del Ing. Jesús Manríquez (Gerente de tratamiento y reúso) y del Ing. Edgar Correa, encargado del módulo de desbaste. En la Tabla 2 se presentan los datos de ubicación y de contactos del módulo.

**Tabla 194. Ubicación y contacto**

| Ubicación          |   |   |                                  |
|--------------------|---|---|----------------------------------|
| Nombre de la PTAR  | <b>Módulo de Desbaste</b>                                       |  |                                  |
| Calle y número     | Carretera León-San Francisco del Rincón, Calle Montencarlo S/N, |   |                                  |
| Colonia y C.P.     | Arroyo Hondo<br>C.P. 374600                                     |   |                                  |
| Municipio y estado | León, Guanajuato  |   |                                  |
| Coordenadas        | 21.08285, -101.73214  |   |                                  |
| Contacto           |   |   |                                  |
| Nombre             | Ing. Edgar Armando Correa Reyes                                 | Puesto  | Encargado del módulo de desbaste |
| Correo electrónico | ecorrea@sapal.gob.mx  | Teléfono  | 4777671604                       |

## 1.3 Descripción del proceso

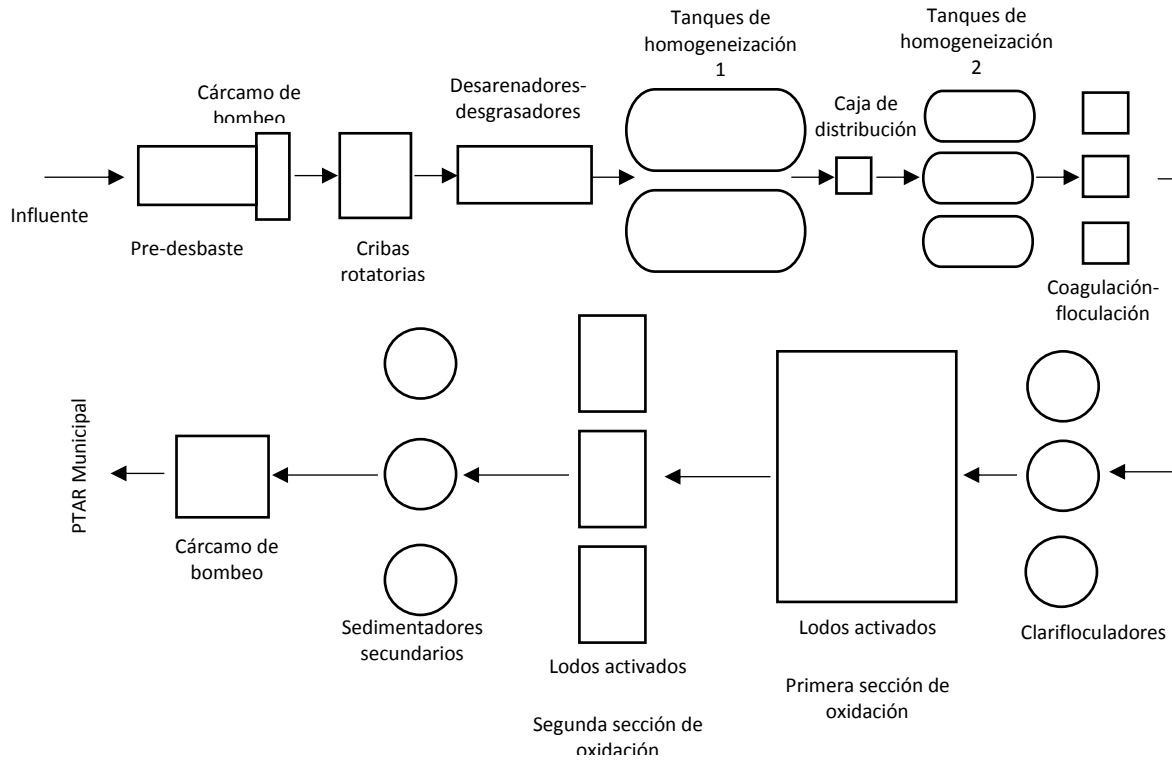
El módulo de Desbaste tiene una capacidad 150 L/s. Recibe las descargas de las aguas residuales de los parques industriales principalmente. Es una planta de tratamiento primario avanzado. Tiene un proceso de coagulación-floculación y un proceso biológico. El lodo que se genera

durante el proceso de tratamiento cuenta con un sistema completo para la generación de biogás. Este se produce por digestión anaerobia mesofílica. Actualmente el proceso de digestión anaerobia y cogeneración de energía se encuentra fuera de operación. El agua tratada se envía a la PTAR Municipal donde se mezcla con las aguas residuales municipales.

El proceso de tratamiento del agua residual de la PTAR el Desbaste está formado por las siguientes etapas:

- Pre-desbaste (rejillas gruesas y finas)
- Bombeo de agua cruda
- Cribado grueso.
- Cribado fino.
- Desarenador-desgrasador.
- Tanque de homogeneización.
- Coagulación-Floculación
- Clarifloculadores
- Proceso biológico de lodos activados o módulos de oxidación.
- Sedimentación secundaria.
- Cárcamo de bombeo

En la Figura 541 se presenta un diagrama de flujo general del proceso de tratamiento del agua residual. Tiene como característica principal la remoción de cromo y sulfuros, la cual se realiza por medio de un proceso de coagulación-floculación seguido por un proceso biológico de lodos activados. Actualmente la PTAR el Desbaste se encuentra en un proceso de reconfiguración. El proceso de coagulación-floculación se cambiará a un proceso de flotación por aire disuelto. Se desconoce si la nueva reconfiguración tendrá un proceso biológico. Actualmente se encuentra en construcción.



**Figura 541. Tren de tratamiento del Módulo de Desbaste. (Elaboración propia)**

## 2 REVISIÓN DOCUMENTAL

Se recopiló información documental sobre la PTAR y los procesos que se desarrollan en ella. Esta información incluye la que se enumera a continuación:

20. Planos generales
21. Manual de operación
22. Programa anual de revisión de equipos contra incendios
23. Programa de mantenimiento a las instalaciones eléctricas
24. Programa de mantenimiento de las luminarias
25. Bitácoras de operación
26. Datos históricos de calidad del agua
27. Análisis de calidad del agua de cumplimiento ante Conagua
28. Permiso de descarga

### 2.1 Planos

Se recopilaron 22 planos de la PTAR entre los que se incluyen:

- Plano general
- Diagrama de flujo
- Plano del pretratamiento
- Plano de entrada al pretratamiento
- Plano de tamices volumétricos
- Plano de filtros mecanizados
- Plano de tubería de agua
- Plano de tubería de lodos
- Plano del perfil hidráulico
- Plano de vialidades
- Plano de áreas verdes y andadores
- Plano del sistema de control de incendios
- Plano del pretratamiento, rejillas finas y gruesas
- Plano del vertedor sutro
- Plano de la línea de gas natural
- Plano de la red de riego y agua de servicio
- Plano de las microcribas mecanizadas
- Plano del balance de materia del proceso
- Plano de la compuerta de salida del pretratamiento

- Plano de la caja distribuidora
- Plano de la interconexión entre la caja distribuidora y las cribas
- Plano del tanque de homogenización

Como se puede observar, no se presentaron planos ni documentación sobre el tratamiento secundario ni el tratamiento fisicoquímico.

## 2.2 Permiso de descarga

Directamente el módulo de desbaste no cuenta con un permiso oficial de descarga ya que su efluente descarga a la planta municipal. Esta descarga se envía a un sedimentador primario de la PTAR municipal, sin embargo, tanto el módulo de descarga como la planta municipal comporten el mismo permiso de descarga que aparece a continuación:

| PTAR                       | Número de título de asignación | Volumen de descarga autorizado (m <sup>3</sup> /d) | Volumen de descarga (L/s) | Fecha de vencimiento | Coordenadas                 | Parámetros de descarga               |
|----------------------------|--------------------------------|--|---------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| PTAR MUNICIPAL (municipal) | 08GUA123229/12HMDL18           | 216,000.00   | 2,500.00                  | 13/10/2024           | 21°05'30.0"<br>101°41'45.0" | Condiciones particulares de descarga |

### Ubicación de la descarga de aguas residuales objeto del presente permiso:

Cuenca: Río Turbio

Afluente: Río Lerma

Región hidrológica: Lerma-Santiago

Entidad Federativa: Guanajuato

Municipio: León

Localidad: El Paisaje

Tipo de descarga: Público-urbano

Forma de realizar la descarga: Libre con tubería y canal

Cuerpo receptor: Río de los Gómez

Coordenadas: Latitud norte

Coordenadas: 21°05'30.0" 101°41'45.0"



Las condiciones particulares de descarga a la que deberán sujetarse las aguas residuales tratadas procedentes del módulo de desbaste y la PTAR municipal de León, aparecen en la Tabla 195.

**Tabla 195. Condiciones particulares y Norma 001-Semarnat-2021 para la descarga de aguas residuales módulo de desbaste y PTAR municipal**

| Parámetro   | Condiciones Particulares de Descarga y (NOM-001-SEMARNAT-1996) C.R. Tipo B |               | Carga (kg/d) | NOM-001-Semarnat-2021 (Ríos, arroyos, canales, drenes) |               |                         | Unidades             |
|---|--|---------------|--------------|--|---------------|-------------------------|----------------------|
|   | Concentración promedio   |               |              | Concentración promedio                                 |               |                         |                      |
|   | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) |              | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) | Valor Instantáneo (V.I) |                      |
| Temperatura                                       | 40   | 40            | N.A.         | 35   | 35            | 35                      | °C                   |
| Grasas y Aceites (GyA)                            | 15   | 20            | 32,400       | 15   | 18            | 21                      | mg/L                 |
| Materia flotante                                  | Ausente  | Ausente       | NA           | NA   | NA            | NA                      | Ausencia / presencia |
| Sólidos sedimentables                             | 1  | 1             | NA           | NA   | NA            | NA                      | ml/l                 |
| Sólidos suspendidos totales (SST)                 | 75.00  | 125           | 32,400       | 60   | 72            | 84                      | mg/L                 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | 75.00 (150)  | 150 (160)     | 32,400       | NA   | NA            | NA                      | mg/L                 |
| Demanda Química de Oxígeno(DQO)                   | NA   | NA            | NA           | 150  | 180           | 210                     | mg/L                 |
| Carbón Orgánico Total(COT)                        | NA   | NA            | NA           | 38   | 45            | 53                      | mg/L                 |
| Nitrógeno Total (NT)                              | 40   | 60            | NA           | 25   | 30            | 35                      | mg/L                 |
| Fósforo Total (PT)                                | 20   | 30            | NA           | 15   | 18            | 21                      | mg/L                 |
| Huevos de Helminths                               | <5   | <5            | NA           | NA   | NA            | NA                      | huevos/litro         |

| Parámetro                              | Condiciones Particulares de Descarga y (NOM-001-SEMARNAT-1996) C.R. Tipo B |               | Carga (kg/d) | NOM-001-Semarnat-2021 (Ríos, arroyos, canales, drenes) |               |                         | Unidades   |
|--|--|---------------|--------------|--|---------------|-------------------------|------------|
|  | Concentración promedio   |               |              | Concentración promedio                                 |               |                         |            |
|  | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) |              | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) | Valor Instantáneo (V.I) |            |
| Coliformes fecales                     | 1,000  | 2,000         | NA           | NA   | NA            | NA                      | NMP/100 ml |
| <i>Escherichia Coli</i>                | NA   | N.A           | NA           | 250  | 500           | 600                     | NMP/100 ml |
| <i>Enterecocos fecales</i>             | NA   | NA            | NA           | 250  | 400           | 500                     | NMP/100 ml |
| pH                                     | 5-10   | 6-9           | NA           | 6-9  | 6-9           | 6-9                     | UpH        |
| Color                                  |  | 100           |              |  |               |                         | U Pt-Co    |
| Conductividad                          |  | 1000          |              |  |               |                         | µhom/cm    |
| Salinidad                              |  | 15            |              |  |               |                         | mg/L       |
| Sustancias Activas al azul de metileno |  | 5             |              |  |               |                         | mg/L       |
| Sulfuros                               | 25   | 30            |              |  |               |                         | mg/L       |
| Arsénico Total (As)                    | 0.1  | 0.2           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4                     | mg/L       |
| Cadmio Total (Cd )                     | 0.1  | 0.2           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4                     | mg/L       |
| Cianuro Total (CN )                    | 1  | 2             | NA           | 1  | 2             | 3                       | mg/L       |
| Cobre Total (Cu)                       | 4  | 6             | NA           | 4  | 5             | 6                       | mg/L       |
| Cromo Total (Cr)                       | 0.5  | 1             | NA           | 1  | 1.25          | 1.5                     | mg/L       |
| Cromo hexavalente                      |  | 0.1           |              |  |               |                         | mg/L       |
| Mercurio Total (Hg)                    | 0.005  | 0.01          | NA           | 0.01   | 0.015         | 0.02                    | mg/L       |
| Níquel Total (Ni)                      | 2  | 4             | NA           | 2  | 3             | 4                       | mg/L       |
| Plomo Total (Pb )                      | 0.2  | 0.4           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4                     | mg/L       |
| Zinc Total (Zn)                        | 10   | 20            | NA           | 10   | 15            | 20                      | mg/L       |

| Parámetro       | Condiciones Particulares de Descarga y (NOM-001-SEMARNAT-1996) C.R. Tipo B |               | Carga (kg/d) | NOM-001-Semarnat-2021 (Ríos, arroyos, canales, drenes) |  |                         | Unidades |
|-----------------|--|---------------|--------------|--|--|-------------------------|----------|
|                 | Concentración promedio   |               |              | Concentración promedio                                 |  |                         |          |
|                 | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) |              | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.)                              | Valor Instantáneo (V.I) |          |
| Color Verdadero | NA   | NA            | NA           | Longitud de onda                                       | Coefficiente de absorción espectral máximo | NA                      |          |
|                 | NA   | NA            | NA           | 436 nm   | 7,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup>    |          |
|                 | NA   | NA            | NA           | 525 nm   | 5,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup>    |          |
|                 | NA   | NA            | NA           | 620 nm   | 3,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup>    |          |
| Toxicidad Aguda | NA   | NA            | NA           | 2 a los 15 minutos de exposición                       | UT   |                         |          |

C.R. Cuerpo receptor, N.A: No Aplica, P.M: Promedio Mensual, P.D: Promedio Diario, V.I: Valor Instantáneo, NMP: Número más probable, UpH: Unidades de pH, UT: Unidades de Toxicidad

\* Si Cloruros es menor a 1000 mg/L se analiza y reporta DQO. \* Si Cloruros es mayor o igual a 1000 mg/L se analiza y reporta COT. \* Si la conductividad eléctrica menor a 3500 µS/cm se analiza y reporta E. coli. \* Si la conductividad eléctrica es mayor o igual a 3500 µS/cm se analiza y reporta Enterococos fecales. Las determinaciones de Conductividad eléctrica y de Cloruros no requieren la acreditación y aprobación de la entidad correspondiente. Los parámetros y concentraciones en color azul es lo que fija las condiciones particulares de descarga adicionales a la NOM-001-Semarnat-1996

### 2.3 Análisis de la memoria de cálculo

La PTAR no suministró las memorias de cálculo

### 2.4 Análisis de la información histórica de calidad del agua

A continuación, se muestra información promedio mensual del influente y efluente del módulo de desbaste. La información es de un año y los diferentes parámetros se analizan a continuación.

Los datos de los análisis utilizados para hacer la evaluación del efluente módulo de desbaste y de la PTAR son realizados por el laboratorio "Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León" acreditado por la EMA (AG-032-

007/12) y aprobado por Conagua (CNA-GCA-1984), quien realiza la caracterización del efluente de la planta dos veces al mes y los análisis diarios realizados para el control y operación de la planta.

### **2.4.1 Caudal**

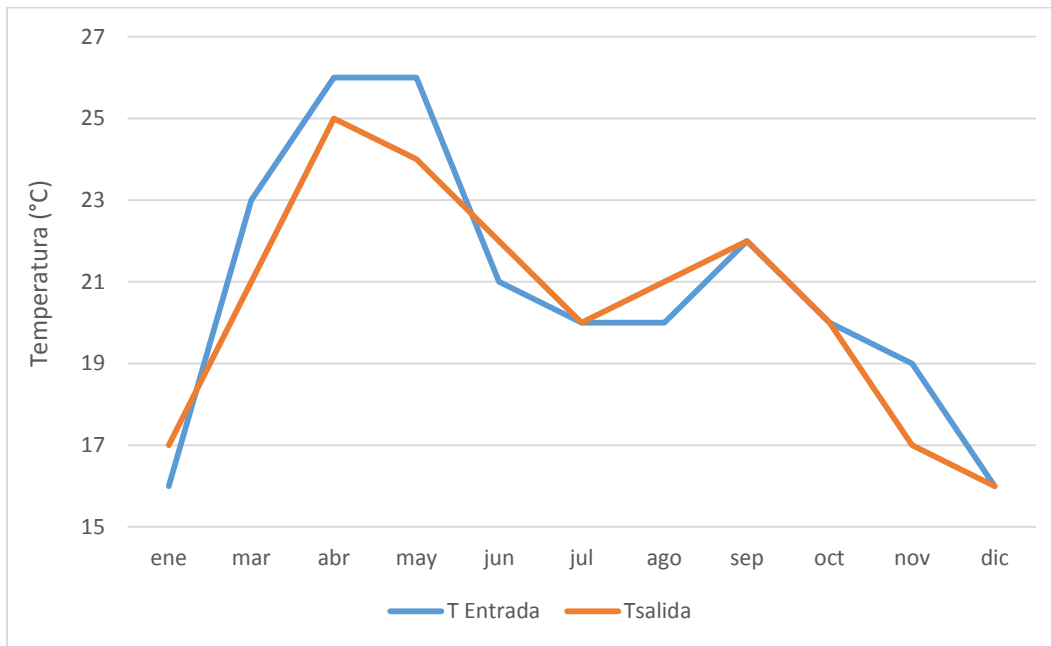
El módulo de desbaste tiene un caudal de diseño de 150 L/s.

### **2.4.2 Temperatura**

La temperatura media mensual del agua residual que entra al módulo de desbaste fue de 20.81°C con una temperatura mínima de 16°C en el mes de enero y una máxima de 26°C en los meses de abril y mayo.

La temperatura de salida de módulo fue en promedio mensual de 20.45°C con un mínimo de 16°C y un máximo de 25°C.

Se observa que no hay reducción de temperatura mientras el agua pasa por el módulo de desbaste y la temperatura es adecuada para ingresar en la PTAR municipal de León. En la Figura 542 se observa la variación de la temperatura a través del año. Esta variación se relaciona con los cambios en la temperatura ambiente.

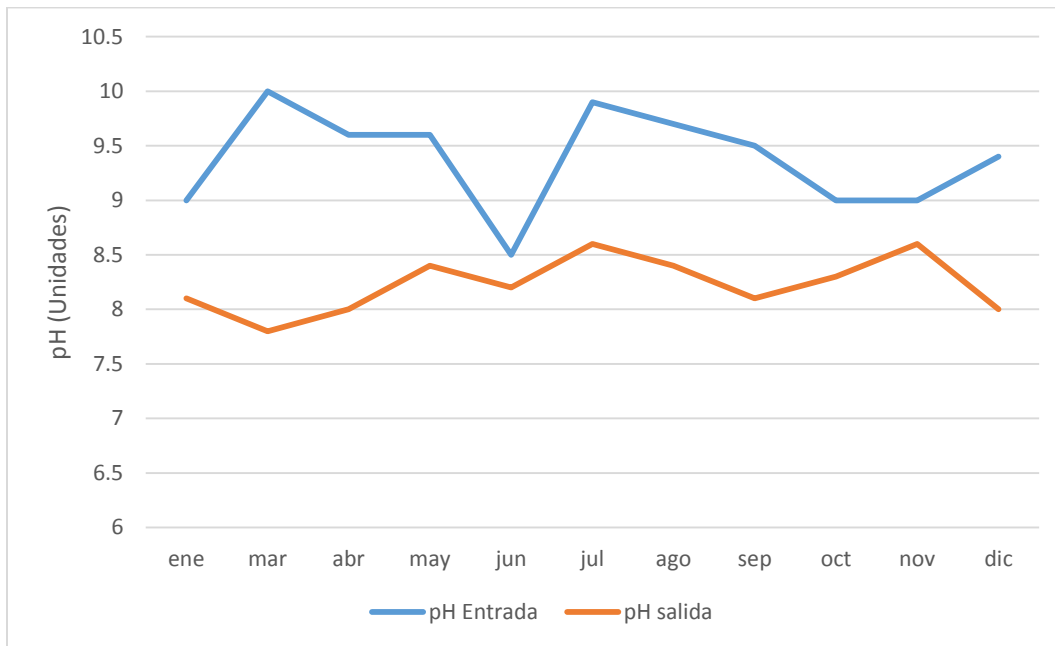


**Figura 542. Datos históricos de la Temperatura en el influente y efluente del módulo de desbaste**

### 2.4.3 pH

En la Figura 543 se observa la evolución del pH a lo largo del año en el módulo de desbaste. El pH del influente al módulo fue de 9.38 mg/L como promedio mensual, presentó un valor máximo de 10 unidades y un valor mínimo de 8.5 unidades.

El efluente del módulo de desbaste tuvo un promedio 8.22 mg/L con una concentración máxima de 8.6 mg/L y una concentración mínima de 7.8 mg/L. El pH del efluente es ligeramente alcalino y no presentará problema al ingreso de la planta de tratamiento al mezclarse con las aguas residuales municipales.

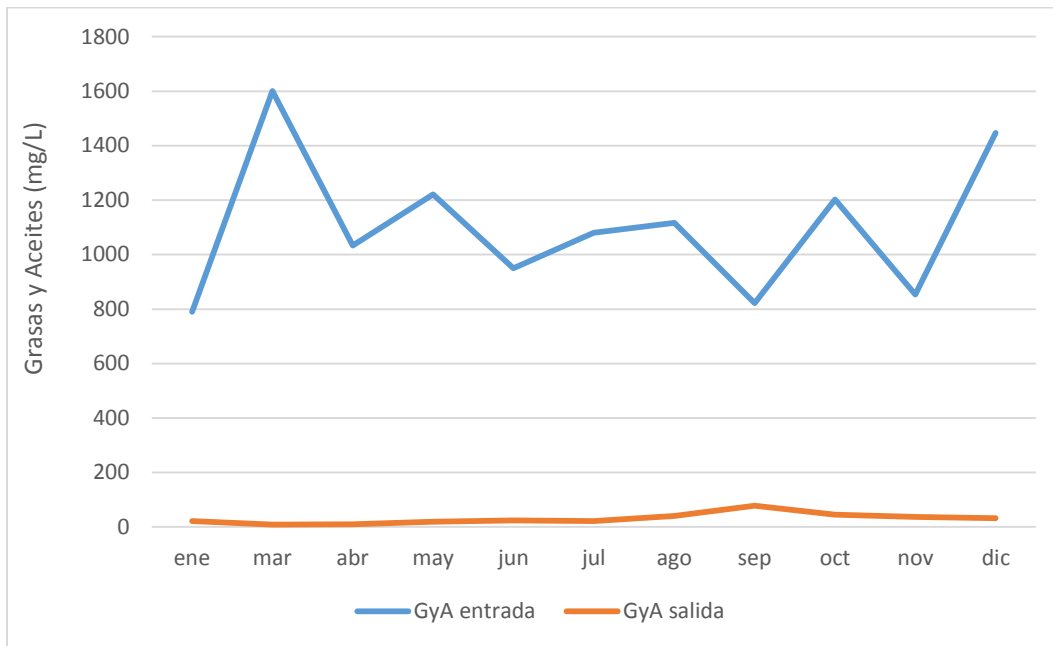


**Figura 543. Datos históricos de pH en el influente y efluente de la planta de desbaste**

#### 2.4.4 Grasas y Aceites

Las grasas y aceites a la entrada del módulo de desbaste presentaron una concentración promedio mensual de 1,101.5 mg/L con un valor mínimo de 790 mg/L y un valor máximo de 1,601 mg/L. Esta concentración es característica de aguas residuales industriales.

El efluente presenta una concentración media mensual de 30.3 mg/L con un valor máximo de 78 mg/L y un mínimo de 9 mg/L. Se observa una gran reducción de este parámetro en el módulo de desbaste ya que cuenta con un sistema para remoción de grasas y arenas. En la Figura 544 se puede observar la variación mensual de la concentración de grasas y aceites a la entrada y salida del módulo de desbaste. La concentración de salida de módulo es adecuada para ingresar a la PTAR municipal.

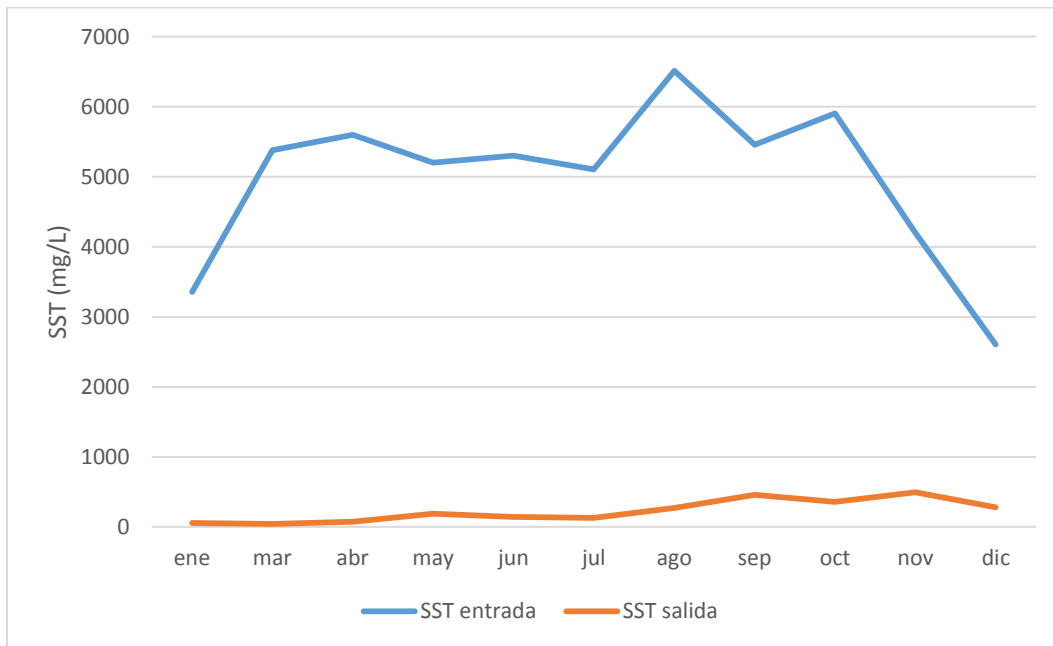


**Figura 544.** Datos históricos de grasas y aceites en el influente y efluente del módulo de desbaste

#### 2.4.5 Sólidos Suspendidos Totales

El promedio mensual reportado de sólidos suspendidos totales a la entrada al módulo de desbaste fue de 4,490 mg/L con un valor máximo de 6,512 mg/L y un valor mínimo de 2,604 mg/L.

El efluente del módulo de desbaste presentó una concentración promedio de 228.3 mg/L con un valor máximo de 495 mg/L y un valor mínimo de 43 mg/L. Se observa una gran reducción en la concentración de SST en el módulo de desbaste (85.4%) Figura 545. El efluente ingresa a la planta municipal con una concentración promedio mensual de 228.3 mg/L.



**Figura 545.** Datos históricos de sólidos suspendidos totales en el influente y efluente del módulo de desbaste

#### 2.4.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

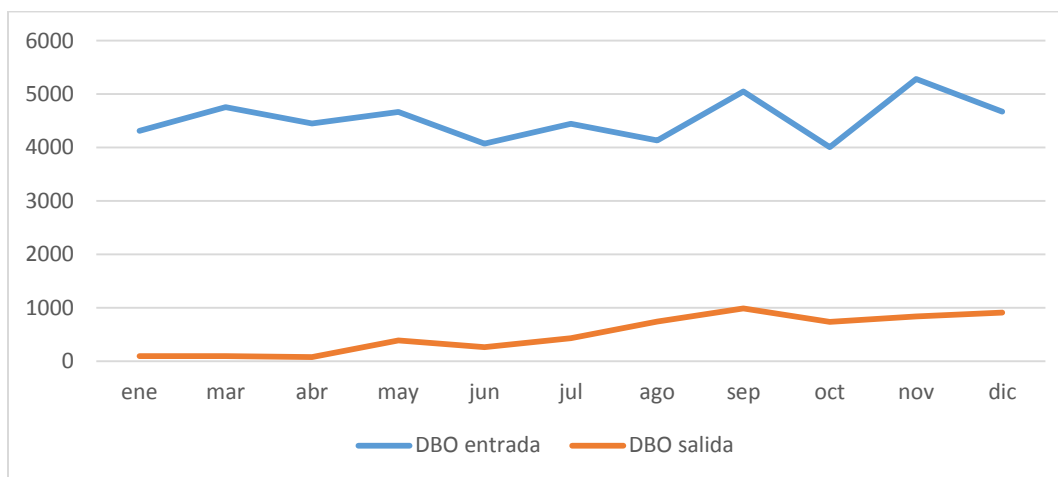
En la Figura 546 se observa los cambios en la concentración de DBO<sub>5</sub> en el influente y efluente del módulo de desbaste.

El influente al módulo de desbaste presentó una concentración promedio mensual de 4,532.5 mg/L, un valor máximo de 52.83 mg/L y un valor mínimo de 4,010 mg/L.

En el efluente se reportó una concentración promedio de 504.9 mg/L con una concentración máxima de 986 mg/L y una concentración mínima de 76 mg/L.

Por lo tanto, hay una remoción alta de DBO<sub>5</sub> en el módulo de desbaste de 88.8 %. Esto demuestra un buen desempeño del módulo de desbaste en la remoción de este parámetro el cual se remueve principalmente en el sistema de tratamiento de lodos activados.





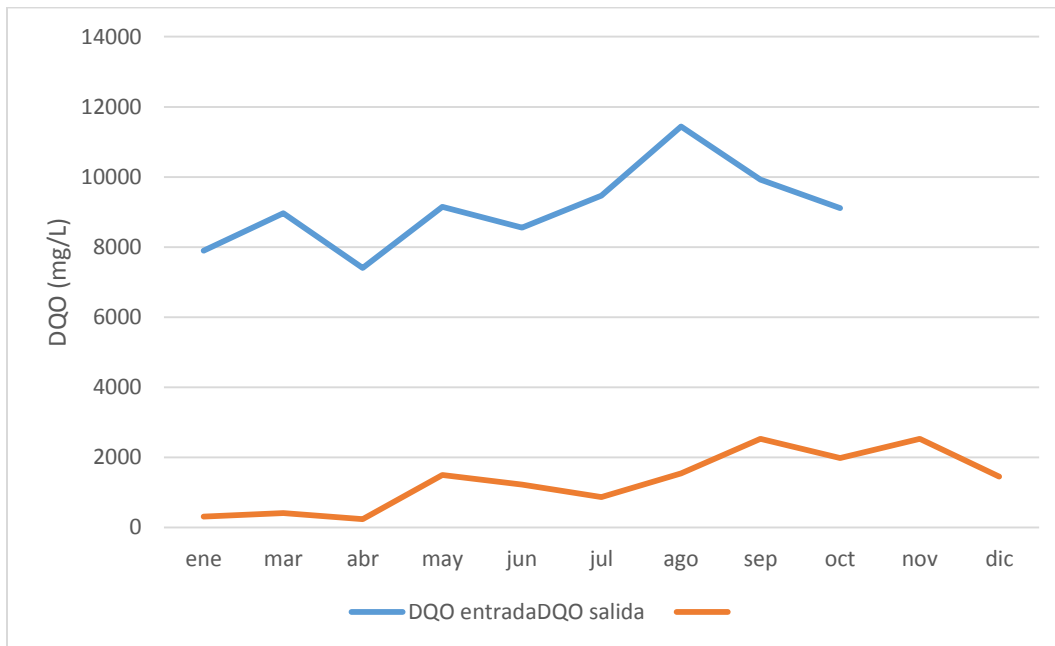
**Figura 546. Datos históricos de DBO<sub>5</sub> en el influente y efluente del módulo de desbaste**

### 2.4.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La concentración promedio mensual de DQO a la entrada fue de 8,866.4 mg/L con un valor máximo de 11,438 mg/L y un valor mínimo de 6,751 mg/L. Como se observa es una concentración alta y característica de descargas industriales con alta carga orgánica.

El efluente del módulo tuvo un promedio de 1,326.4 mg/L con un valor máximo de 2,533 mg/L y un valor mínimo 239 mg/L.

En la Figura 547 se observa el comportamiento de la DQO en el influente y efluente del módulo de desbaste. La remoción de DQO en el módulo fue de aproximadamente un 87%.

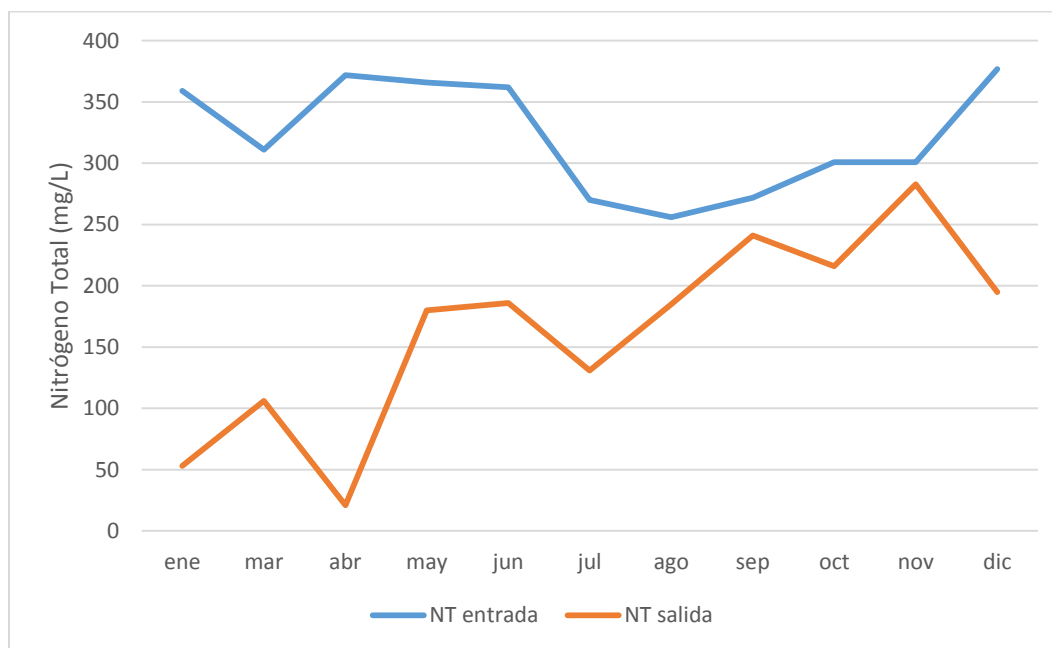


**Figura 547. Datos históricos de DQO en el influente y efluente del módulo de desbaste**

#### 2.4.8 Nitrógeno Total (NT)

El nitrógeno total (NT) a la entrada del módulo de desbaste presentó una concentración media mensual de 322.45 mg/L, un valor máximo de 377 mg/L y valor mínimo de 256 mg/L.

En el efluente del módulo se presentó una concentración 163.4 mg/L y una concentración máxima de 283 mg/L y una mínima de 21 mg/L. La remoción de nitrógeno total en el módulo de desbaste es de 49% (Figura 548)



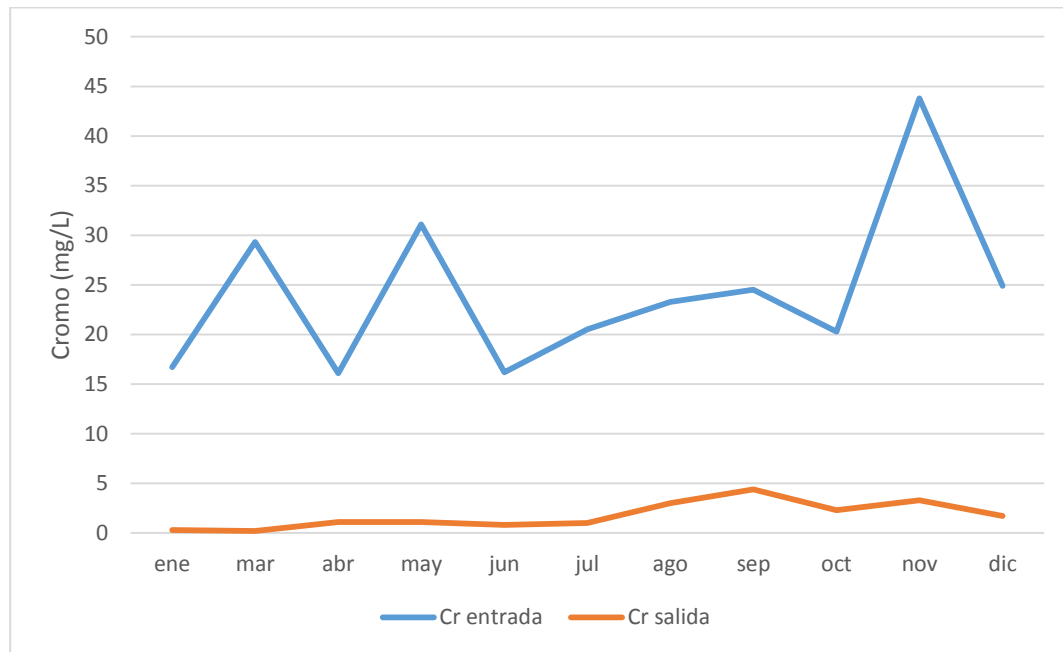
**Figura 548. Datos históricos de nitrógeno total en el influente y efluente del módulo de desbaste**

### 2.4.9 Cromo Total

Debido a que la planta de desbaste recibe las descargas de la industria curtidora se le da seguimiento a la concentración de cromo total.

El agua residual a la entrada del módulo de desbaste presentó una concentración media mensual de 24.24 mg/L. El valor máximo reportado fue de 43.8 mg/L y un valor mínimo de 16.1 mg/L.

El efluente del módulo de desbaste tuvo una concentración de 1.75 mg/L de cromo total con un valor máximo de 4.4 mg/L y un valor mínimo de 0.2 mg/L. La remoción de este metal en el módulo de desbaste fue de 92%.



**Figura 549. Datos históricos de cromo total a la entrada y salida del módulo de desbaste**

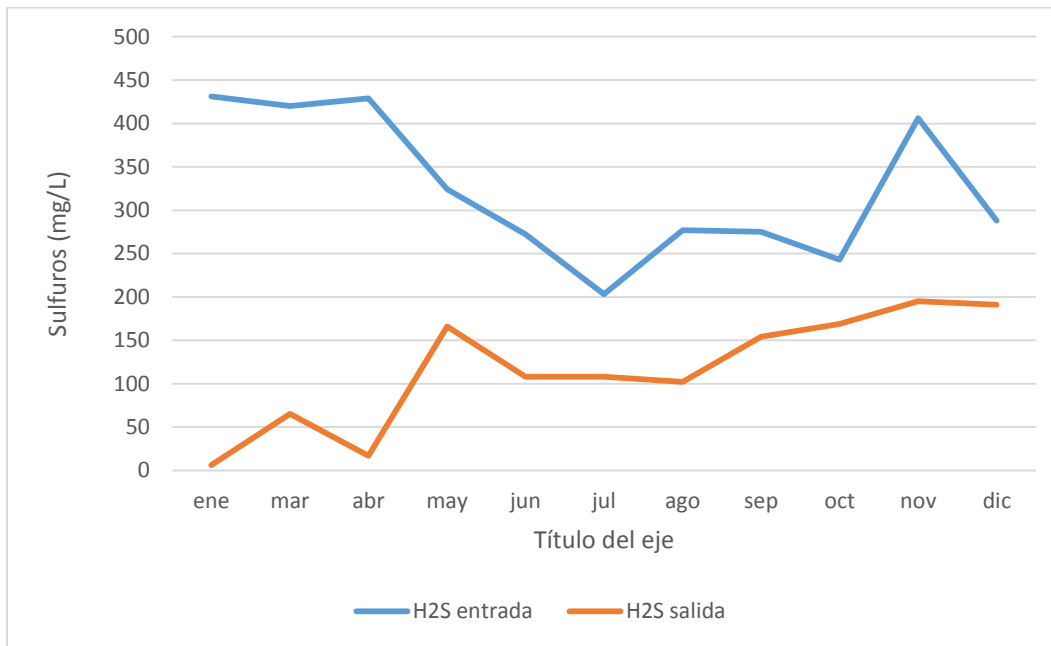
#### 2.4.10 Sulfuros

Los sulfuros siempre se encuentran en las descargas de la industria del curtido por lo tanto se le da seguimiento a este parámetro en el módulo de desbaste. El control de este parámetro es muy importante debido al peligro que representa para la vida y también por la corrosión que genera en las instalaciones y equipos de las plantas de tratamiento.

La concentración en el agua residual a la entrada del módulo de desbaste tuvo un promedio mensual de 314.8 mg/L, un valor máximo de 431 mg/L y un valor mínimo de 203 mg/L. Este parámetro presentó una desviación estándar de  $\pm 80.4$  mg/L y una variación de 25.5%.

La salida del módulo de desbaste presentó una concentración promedio mensual de 116.4 mg/L, un valor máximo de 195 mg/L y un valor mínimo de 6 mg/L. La desviación estándar es de  $\pm 65.9$  mg/L y una variación del 56.6%.

El porcentaje de remoción en el módulo de desbaste fue de 63%, el cual se obtiene en el proceso de coagulación-floculación-sedimentación con adición de polímeros. La Figura 550 muestra el comportamiento de este parámetro a la entrada y salida del módulo.



**Figura 550. Datos históricos de los sulfuros a la entrada y salida del módulo de desbaste**

#### 2.4.11 Resumen de la calidad del efluente de la planta de desbaste

En la Tabla 4, se resumen las características del efluente del módulo de desbaste que se presentaron durante un año.

**Tabla 196. Resumen de las características del efluente del módulo de desbaste**

| Parámetro                            | Promedio | Mínimo | Máximo | % de Variación |
|--------------------------------------|----------|--------|--------|----------------|
| Flujo de diseño (L/s)                | 150      |        |        |                |
| Temperatura (°C)                     | 20.45    | 16     | 25     | 14%            |
| Grasas y Aceites (mg/L)              | 30.54    | 9      | 78     | 64.1%          |
| Sólidos suspendidos totales (mg/L)   | 228.7    | 43     | 95     | 69.5           |
| Demanda Bioquímica de oxígeno (mg/L) | 504.9    | 76     | 986    | 69.0%          |
| Demanda Química de oxígeno (mg/L)    | 1326.4   | 239    | 2533   | 61.7%          |

| <b>Parámetro</b>                                    | <b>Promedio</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> | <b>% de Variación</b> |
|---|-----------------|---------------|---------------|-----------------------|
| Nitrógeno total (mg/L)                              | 163.7           | 21            | 283           | 48.2%                 |
| pH  | 8.22            | 7.8           | 8.6           | 3.1%                  |
| Cromo (mg/L)  | 1.75            | 0.2           | 4.4           | 77.0                  |
| Sulfuros (mg/L)                                     | 11.45           | 6             | 195           | 56.6%                 |
| Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | 10700.5455      | 3003          | 18120         | 40.4%                 |

De acuerdo con las características se hacen los siguientes comentarios:

Las características del efluente del módulo de desbaste presentan variación en la concentración de sus parámetros como se observa en la Tabla 196.

Todos los parámetros reportados tienen altos porcentajes de variación que hacen difícil mantener un efluente con características promedio controladas para su ingreso a la planta de tratamiento municipal. Los parámetros que presentan poca variación en sus concentraciones son el pH y la temperatura.

El módulo de descarga se mezclará con aguas residuales municipales antes de la entrada a la planta municipal por lo que algunos de sus parámetros se disminuirán permitiendo que la mezcla (agua de desbaste-agua residual municipal) sea adecuada para su tratamiento en una planta de tratamiento biológica convencional de biofiltros.

El efluente de la planta municipal, de acuerdo con los datos históricos, no cumple con los límites máximos permisibles de descarga de acuerdo con la NOM-001-Semarnat-1996 en los siguientes parámetros: sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno y nitrógeno total.

La planta municipal tampoco cumple con los límites permisibles de DQO, DBO, SST y NT de acuerdo con la NOM-001-Semarnat-2021. También la concentración de cromo y mercurio presentan valores máximos muy cercanos y/o superiores a los límites de descarga de la NOM-001-Semarnat-1996 o 2021. Por tal motivo es conveniente revisar el desempeño de las diferentes unidades de tratamiento del módulo de descarga con el fin de mejorar la calidad y disminuir la variabilidad en el efluente del módulo.

## **2.5 Análisis de la información del Proceso**

### **2.5.1 Análisis rutinarios**

Entre los análisis realizados se encuentra DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, sólidos sedimentables, pH y temperatura, la frecuencia de los análisis es diaria. Sin embargo, dentro de los manuales de operación de la PTAR no se especifican estos análisis ni la frecuencia con la que deben realizarse, por lo que se recomienda incluirlos en el manual.

### **2.5.2 Manual de operación**

El personal del módulo de desbaste facilitó el manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales.

Dicho manual consta de 152 páginas que contienen una introducción y la definición del objetivo del manual; el diagrama y la descripción del proceso de la PTAR desglosado por etapas. El manual no especifica el número de versión o revisión ni el año de elaboración y aprobación, por lo que no se conoce si han realizado actualizaciones para mejorar su contenido, lo que permitiría incluir la experiencia adquirida durante su operación.

En el manual se describe el objetivo de cada etapa del proceso, los equipos e instalaciones con las que cuenta cada unidad de tratamiento, los accesorios y los parámetros de control, así como las actividades que se deben realizar y la frecuencia con la que se desarrollarán.

También se describen las unidades para el tratamiento del lodo y su disposición final, incluyendo la etapa de digestión anaerobia y la producción y almacenamiento de biogás.

En el manual de operación también se indican las medidas de seguridad e higiene, así como el equipo de seguridad requerido para realizar cada una de las actividades requeridas para la operación de la PTAR. Sin embargo, no existe un capítulo destinado a la seguridad e higiene, por lo que se recomienda su habilitación dentro del documento.

### **2.5.3 Reportes de operación (bitácoras)**

El personal de la PTAR envió las bitácoras de operación utilizadas, las cuales abarcan desde enero hasta agosto de 2021.

Las bitácoras incluyen las actividades realizadas diariamente, el estado de cada unidad de proceso, así como los reportes de fallas y las acciones de mantenimiento llevadas a cabo durante el turno.

La bitácora contiene fecha, la descripción de las actividades y las firmas del operador y el jefe de turno. Las actividades se describen por unidad o equipo y se coloca la hora en la que se realizó la actividad.

Por último, se detectó que la bitácora se realiza en un libro de actas, por lo que no se tiene un formato establecido, lo que ocasiona que cada turno se tenga información distinta, por lo que es recomendable que se realice una guía de llenado para las bitácoras, en la que se establezca la información que debe contener y el orden que debe llevar. Esto facilitará el seguimiento de la operación y la supervisión por parte de los responsables de la PTAR.

## **2.5.4 Mantenimiento**

### **2.5.4.1 Programa**

El personal de la PTAR mostró los manuales de mantenimiento y el programa de mantenimiento que incluye mantenimientos preventivos cada 6 meses, a los equipos que se utilizan en la planta.

Asimismo, se verificó la documentación generada durante la solicitud de órdenes de servicio de mantenimiento, internas y externas, las cuales se tienen sistematizadas, se generan de manera digital y se imprime y firma cada orden por el solicitante y el encargado del área de mantenimiento. Asimismo, se identifican las fechas de envío y de posible recepción del equipo después del mantenimiento.

Posteriormente, toda la documentación generada se guarda en carpetas organizadas por área y la clasificación de los equipos.

### **2.5.4.2 Reportes**

En la información proporcionada no se presentó el historial de mantenimientos preventivos y correctivos, realizados en los últimos años. Sin embargo, durante la visita de diagnóstico que se realizó se pudo verificar dicha información con el personal encargado de mantenimiento.

Los reportes se generan de manera digital y se almacenan en carpetas dentro del área de mantenimiento.





**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



### 3 ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

#### 3.1 Estado de las unidades de proceso

La PTAR el Desbaste tiene una capacidad de procesar un flujo promedio de 150 L/s, actualmente el caudal que se está tratando es de 85 L/s. La PTAR recibe las aguas residuales generadas por el parque industrial de León, Gto. Principalmente de la industria curtidora. Debido al ambiente corrosivo por la presencia de sulfuros en la atmósfera, lo equipos y unidades de tratamientos se encuentra en estado de oxidación avanzado.

Durante la evaluación se encontró que la PTAR se encuentra en una reconfiguración y construcción. Se cambiará el actual proceso de coagulación-floculación por un proceso de flotación por aire disuelto (Figura 551).



**Figura 551. Clarifloculador**

#### 3.1.1 Pre-desbaste

La PTAR actualmente como pretratamiento contiene tres canales en donde están instaladas tres rejillas gruesas y tres rejillas finas ambas de limpieza manual. En estas rejillas se quedan retenidos sólidos de gran tamaño y pelambre (Figura 552). Existen dos canales y un cárcamo de bombeo que están fuera de operación (Figura 553). Después de las rejillas finas, el agua se envía por gravedad a un cárcamo de bombeo en donde el agua es bombeada a los microtamizadores. El cárcamo de bombeo se encontró completamente saturado de lodos y con abundante pelambre. Para extraer los lodos en el cárcamo de bombeo se utiliza una mano de chango externo como método de extracción de lodos. En el cárcamo de bombeo se

encontró la falta de equipos de bombeo que de acuerdo al operador se concentraron en mantenimiento durante la evaluación. Cada canal tiene un ancho y largo de 0.8 m y 7.67 m respectivamente con una profundidad del agua de 1.5 m. El cárcamo de bombeo tiene 6.7 m de ancho y un largo de 4.89 m. El nivel operativo del cárcamo de bombeo es de 3.5 m.



**Figura 552. Canales de entrada que funcionan como pre-desbaste**



**Figura 553. Canales y cárcamo de bombeo fuera de operación**



**Figura 554. Cárcamo de bombeo en funcionamiento**



**Figura 555. Obtención de residuos del cárcamo de bombeo**



**Figura 556. Estructuras metálicas en estado avanzado de oxidación**



**Figura 557. Equipos de bombeo fuera de operación**

### 3.1.2 Cribado grueso y fino

El agua que se envía del cárcamo de bombeo ingresa a cinco microtamizadores marca *roto-Sieve*, dos con un tamaño de apertura de las barras de 1.0 mm y tres con una apertura de las barras de 0.1 mm. Actualmente se encuentran en operación cuatro microtamizadores (Figura 558). Los sólidos retenidos se transportan a través de una banda transportadora para su disposición. El volumen recolectado de sólidos gruesos es en promedio de 12 m<sup>3</sup>/mes. Estos sólidos están clasificados como residuos sólidos de manejo especial.





**Figura 558. Microtamizadores**

### **3.1.3 Desarenadores-Desgrasadores**

El agua residual que pasa a través de microtamizadores se envía a cuatro canales desarenadores-desgrasadores. Actualmente estos canales están fuera de servicio (Figura 559) por lo que se realiza un by-pass a través de una tubería que conecta el efluente de los microtamizadores y lo envía a los tanques de homogeneización.



**Figura 559. Canales desarenadores-desgrasadores**

### **3.1.4 Tanques de homogeneización**

El agua residual que sale de los microtamizadores se vierte a dos tanques de homogeneización. Un tanque de homogeneización se encontró fuera de servicio. El tanque en funcionamiento cuenta con dos propelas y seis impulsores tipo banana esto con el objetivo de dar movimiento del agua residual a través del tanque. Los tanques de homogeneización son de tipo zanjas de oxidación. Cada tanque cuenta con un sistema de inyección de aire a través de difusores de membrana de burbuja fina. Cada tanque cuenta con 932 difusores de burbuja fina. Actualmente no hay inyección de aire. Estos tanques de homogeneización sirven como tanques de paso y no se lleva a cabo alguna función específica. El largo de cada tanque es de 21.4 m y el ancho de 14.3 m. El volumen es aproximadamente de 2,500 m<sup>3</sup>. Sobre las paredes de los tanques de homogeneización se observó con abundante sólido adherido de color gris.





**Figura 560. Tanques de homogeneización**

Antes de la caja de distribución se observó un área de tamizadores, sin embargo de acuerdo, al operador los tamices no fueron trabajados por lo que actualmente se encuentran desmantelados (Figura 561).



**Figura 561. Área de tamizadores las cuales están fuera de servicio**

### **3.1.5 Caja de distribución y tanques de homogeneización**

El agua que pasa a través de los tanques de homogeneización se bombea a una caja de distribución (Figura 562). De ahí se envía por gravedad a tres tanques más pequeños de homogeneización (Figura 563). Actualmente estos tanques se encuentran fuera de operación y funcionan solo como tanques de paso. Durante el recorrido solo se observaron dos tanques en funcionamiento, el otro se encontró vacío. El volumen de cada tanque es de 1,000 m<sup>3</sup> con un largo de 24.3 m y 7.95 m de ancho.



**Figura 562. Caja de distribución**



**Figura 563. Tanques de homogeneización**

### 3.1.6 Coagulación-Floculación

Una vez que pasa el agua residual por los tanques de homogeneización, el efluente se envía a tres tanques de coagulación-floculación (Figura 564). Actualmente un tanque de coagulación-floculación se encuentra fuera de operación. Primero se encuentra el tanque de coagulación en donde se dosifica  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  con una concentración entre 80 y 85 mg/L. El agente coagulante es suministrado por la empresa Aqueachem. El tipo de mezclador que se utiliza para la mezcla rápida es mecánico tipo propela. La aplicación del coagulante es en forma líquida a través de bombas de diafragmas. El volumen de los tanques de coagulación-floculación es de 12 m<sup>3</sup>. Después de la adición del agente coagulante, el agua residual se vierte en tanque de floculación en donde se adiciona un polímero aniónico de alto peso molecular a una concentración de 120 mg/L. El tipo de floculador que se utiliza es mecánico tipo propela. El polímero es suministrado por la empresa Florjet Tecnich. La aplicación del polímero es del 0.1% es en forma líquida a través de bombas de cavidad progresiva. Existe una caseta

especial para la preparación de los agentes químicos. La adición de los agentes químicos se introduce en la entrada de cada tanque (Figura 565).



**Figura 564. Proceso de coagulación-floculación**



**Figura 565. Caseta para la preparación de los agentes químicos para llevar a cabo el proceso de coagulación-floculación**

Para poder separar los flóculos formados en el proceso de coagulación-floculación se utilizan tres clarifloculadores circulares con un volumen de 2,200 m<sup>3</sup>/unidad (Figura 566). Cada clarifloculador tiene un diámetro de 25.5 m con una profundidad del agua de 4.3 m. El tipo de mecanismo utilizado para el arrastre de los flóculos es mecánico. Actualmente se encuentran dos clarifloculadores en operación. Los tres clarifloculadores se encuentran en mal estado. Las rastras y los vertederos se encuentran desnivelados y con lodo adherido sobre la superficie de los equipos. Se observó abundantes natas y flóculos flotantes en los clarifloculadores. El sobrenadante presentó un color gris con presencia de turbiedad.

El tercer clarifloculador recibe o almacena los lixiviados de la deshidratación de los lodos químicos. Actualmente no se encuentra en operación.





**Figura 566. Clarifloculadores**

### **3.1.7 Módulos de oxidación biológica**

Después de los clarifloculadores, el agua residual se envía a un cárcamo de bombeo donde se manda el agua a nueve módulos de tanques de aireación (primera etapa). Cada módulo contiene dos tanques de aireación. En el proyecto original estos tanques de aireación operaban como reactores de lodos activados, sin embargo, no funcionaron correctamente. Por lo que se decidió solamente inyectar aire para la eliminación de los sulfuros.

Actualmente los nueve módulos de aireación se encuentran fuera de operación y no hay inyección de aire. Existen derivaciones del agua residual que transportan el agua residual desde el cárcamo de bombeo y lo envían a una segunda etapa de oxidación a través de tuberías externas. Los nueve módulos se encuentran llenos con agua con el objeto de no dañar las estructuras civiles de los tanques y no destruir el sistema de difusión (Figura 567).



**Figura 567. Primera etapa de módulos de oxidación**

Las tuberías que pasan a través de los nueve módulos de aireación y que transportan el agua residual de los efluentes de los clarifloculadores se vierten a tres tanques de oxidación, en donde solo se inyecta aire con el objetivo de remover sulfuros (segunda etapa) (Figura 568). Cada tanque contiene 1,179 difusores de burbuja fina. Cada tanque tiene un largo, ancho y profundidad de 33.5, 13.9 y 5.0 m respectivamente con un volumen de 2,328 m<sup>3</sup>. En los tres tanques de oxidación no hay licor mezclado. Durante la evaluación se encontró dos tanques de oxidación en funcionamiento y uno fuera de servicio. Cada tanque de oxidación tiene un sedimentador secundario de 15 m de diámetro con una profundidad del agua de 4.0 m. Los vertederos se encontraron desnivelados (Figura 569).







**Figura 568. Segunda etapa de módulos de oxidación**



**Figura 569. Sedimentadores secundarios de la segunda etapa de oxidación**

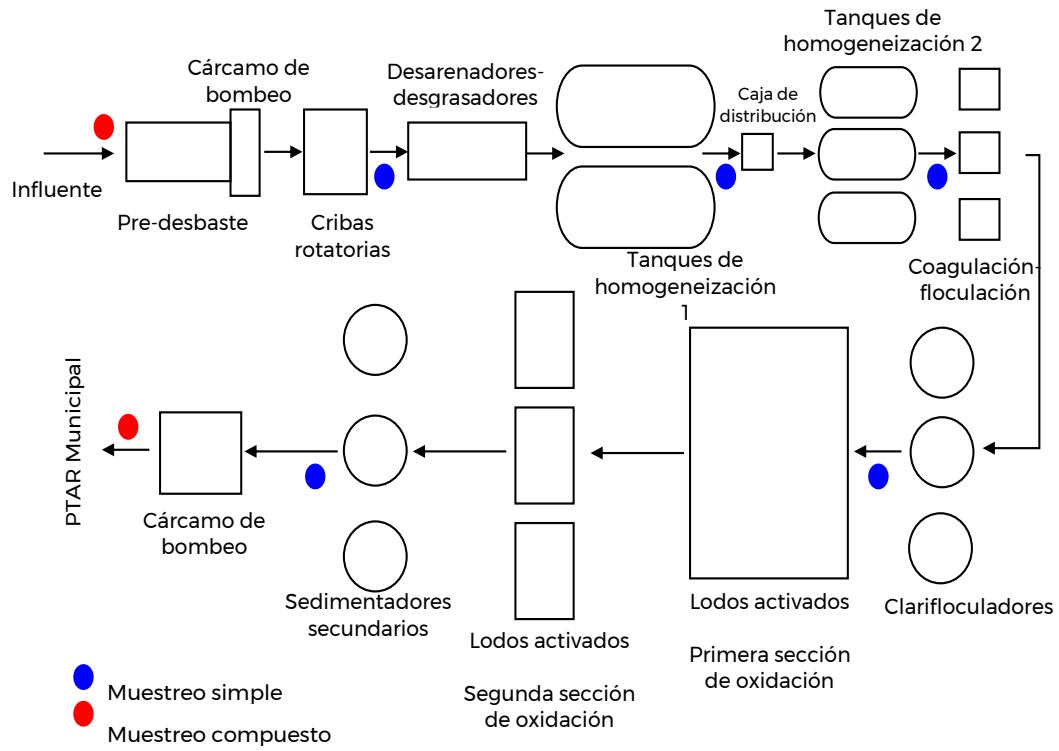
El agua que sale de los sedimentadores secundarios se envía a un cárcamo de bombeo donde el agua residual tratada se manda a la PTAR Municipal mezclándose con el agua municipal que sale de los sedimentadores primarios (Figura 570).



**Figura 570. Cárcamo de bombeo del efluente de la PTAR Desbaste**

### **3.2 Muestreo y calidad del agua residual**

Para realizar el muestreo del agua residual en la PTAR “Desbaste” se realizó previamente un recorrido a las instalaciones con el personal operativo de la PTAR, con el objetivo de seleccionar los puntos de muestreo más adecuados y para poder evaluar las eficiencias de remoción de los contaminantes en cada una de las unidades de tratamiento que conforman la PTAR. Los puntos de muestreo seleccionados de la PTAR “Desbaste” se muestran en la Figura 571. Se tomaron muestras simples de DBO<sub>5</sub>, DQO, COT, SST, NT, NTK, N-NH<sub>3</sub>, PT, sulfatos, sulfuros, cromo hexavalente, cloruros totales, color verdadero y metales pesados en los cinco puntos seleccionados. Se tomó un muestro compuesto del influente y de la descarga final de la PTAR tomando en cuenta los parámetros de calidad del agua que se señalan en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021. En la Tabla 197 se muestran un resumen parámetros evaluados en cada punto de muestreo de la PTAR los cuales se seleccionaron de acuerdo a los parámetros de diseño de cada unidad de proceso de la PTAR.



**Figura 5.71. Puntos de muestreo tomados para la caracterización del agua residual en la PTAR Desbaste**

**Tabla 197. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua**

| Parámetro             | Descripción      | Influyente | Salida tamices rotatorios | Salida tanques de homogeneización 1 | Salida tanques de homogeneización 2 | Clarifloculadores | Salida 2a sección módulos de oxidación | Efluente |
|-----------------------|------------------|------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|--|----------|
|                       | No. de muestras  | 1          | 1                         | 1                                   | 1                                   | 1                 | 1                                      | 1        |
| NOM-001-SEMARNAT-1996 | pH               |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | Temperatura      |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | Materia flotante |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | Sól. Sed.        |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | CyA              |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | SST              |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | DBO              |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | NT               |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | PT               |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | Metales pesados  |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | HH               |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | CF               |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
| NOM-001-SEMARNAT-2021 | DQO              |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | COT              |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | Toxicidad aguda  |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | Color verdadero  |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |
|                       | <i>E. coli</i>   |            |                           |                                     |                                     |                   |  |          |

| <b>Parámetro</b>        | <b>Descripción</b>         | <b>Influente</b>            | <b>Salida tamices rotatorios</b> | <b>Salida tanques de homogeneización 1</b> | <b>Salida tanques de homogeneización 2</b> | <b>Clarifloculadores</b> | <b>Salida 2a sección módulos de oxidación</b> | <b>Efluente</b>             |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--|--|--------------------------|---|-----------------------------|
|                         | <b>No. de muestras</b>     | 1                           | 1                                | 1  | 1  | 1                        | 1   | 1                           |
|                         | <b>Enterococos fecales</b> |                             |                                  |  |  |                          |   |                             |
| <b>Tipo de muestreo</b> |                            | Compuesto, 24 h, 6 muestras | Muestreo simple                  | Muestreo simple                            | Muestreo simple                            | Muestreo simple          | Muestreo simple                               | Compuesto, 24 h, 6 muestras |

### 3.2.1 Resultados del muestreo compuesto

En la Tabla 198 se muestran los resultados del muestreo compuesto realizados en la PTAR. Como se mencionó anteriormente, el efluente tratado de la PTAR “Desbaste” se envía a un sedimentador primario de la PTAR “Municipal”. Sin embargo, resultados de los muestreos compuestos realizados en esta PTAR se compararon con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021. Las concentraciones de los contaminantes encontradas en el influente de la PTAR durante el muestreo de 24 horas fueron altas con valores para la DQO, DBO y COT de 7,848, 3,590 y 1,416.5 mg/L respectivamente. Para los nitrógenos las concentraciones fueron mayores a 343 mg/L. Para los SST y GyA las concentraciones fueron de 3,680 y 335.95 respectivamente. En el caso del cromo se encontró en una concentración de 24.3 mg/L. Los Enterococos fecales se encontraron en un valor de  $2.5 \times 10^5$  NMP/100 mL.

Para la NOM-001-SEMARNAT-1996, los parámetros que no cumplieron fueron los sólidos sedimentables, GyA, SST, DBO, NT y cromo.

Al tratarse de un efluente industrial se analizó primeramente la concentración de cloruros en el influente y efluente dando como resultados concentraciones de 5,889 y 1,287 mg/L respectivamente. La NOM-001-SEMARNAT-2021 establece que si la concentración de cloruros es mayor o igual a 1,000 mg/L se analiza y reporta COT. Por lo tanto, en este muestro se analizó el COT. Asimismo, esta NOM menciona que si la conductividad eléctrica es mayor o igual a 3,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se analiza y reporta Enterococos fecales. La conductividad eléctrica en el influente y efluente fueron mayores a 4,100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , por lo que se analizó los Enterococos fecales como parámetro de respuesta. Los resultados de muestreo indicaron que el efluente de la PTAR no cumple con GyA, SST, NT, cromo, COT, Enterococos fecales, color a una longitud de onda de 436 nm y toxicidad.

La relación DQO/DBO del influente de la PTAR fue de 2.18 indicando que es biodegradable, sin embargo, como la concentración de cloruros es muy alta, la técnica para el análisis de la DQO se interfiere, por lo tanto, en este caso la relación DQO/DBO no se aplica para determinar la biodegradabilidad del agua residual. Esto se comprueba con los resultados de las toxicidades en el influente. Los valores de la toxicidad aguda en el influente de la PTAR indican que el agua residual que llega a la PTAR es altamente tóxica con valores en todas las muestras simples a los 15 minutos de exposición mayores a 363.64 UT. Asimismo, los resultados de las toxicidades en todas las muestras simples en el efluente fueron mayores a 16.78 UT.

**Tabla 198. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT 1996 y 2021.**

| Parámetro                | Unidades      | Compuesto           |                      | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Cuerpo receptor tipo B (PM) | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Ríos, arroyos, canales, drenes (PM) |
|--------------------------|---------------|---------------------|----------------------|--|--|
|                          |               | Influente (PM)      | Efluente (PM)        |  |  |
| pH                       | UpH           |                     |                      | 5 - 10   | 6 - 9  |
| Temperatura              | °C            |                     |                      | 40   | 35   |
| G y A promedio ponderado | mg/L          | 335.95              | 41.5                 | 15   | 15   |
| Material Flotante        | A / P         |                     |                      | Ausente  | NA   |
| S. Sed.                  | ml/L          | 1.5                 | 2.5                  | 1  | NA   |
| SST                      | mg/L          | 3,680               | 185                  | 75   | 60   |
| DBO                      | mg/L          | 3,590               | 161                  | 75   | NA   |
| NT                       | mg/L          | 755                 | 161                  | 40   | 25   |
| PT                       | mg/L          | 8.23                | 6.28                 | 20   | 15   |
| As                       | mg/L          | 0.0055              | 0.0052               | 0.1  | 0.2  |
| Cd                       | mg/L          | 0.034               | <0.030               | 0.1  | 0.2  |
| CN                       | mg/L          |                     |                      | 1.0  | 1.0  |
| Cu                       | mg/L          | 0.083               | <0.05                | 4.0  | 4.0  |
| Cr                       | mg/L          | 24.31               | 1.19                 | 0.5  | 1.0  |
| Hg                       | mg/L          | <0.0005             | <0.0005              | 0.005  | 0.01   |
| Ni                       | mg/L          | 0.35                | <0.10                | 2.0  | 2.0  |
| Pb                       | mg/L          | 0.26                | <0.10                | 0.2  | 0.2  |
| Zn                       | mg/L          | <0.10               | <0.10                | 10.0   | 10.0   |
| CF media geométrica      | NMP/100 ml    | 178                 | 34.6                 | 1000   | NA   |
| HH                       | H/L           | 0                   | 0                    | 1  | NA   |
| DQO                      | mg/L          | 7,848               | 724                  | NA   | 150  |
| COT                      | mg/L          | 1,416.5             | 174.8                | NA   | 38   |
| <i>Escherichia coli</i>  | NMP/100 mL    | 178                 | 34.6                 | NA   | 250  |
| Enterococos fecales      | (NMP/100 mL)  | 2.5x10 <sup>5</sup> | 2.12x10 <sup>5</sup> | NA   | 250  |
| Color                    | Long. De onda |                     |                      | NA   | Coefficiente absorción Espectral máximo                      |
|                          | 436 nm        | 37.11               | 8.78                 |  | 7.0 m <sup>-1</sup>  |
|                          | 525 nm        | 17.98               | 4.83                 |  | 5.0 m <sup>-1</sup>  |
|                          | 620 nm        | 11.21               | 2.83                 |  | 3.0 m <sup>-1</sup>  |

| Parámetro       | Unidades     | Compuesto       |               | NOM-001-SEMARNAT-1996       | NOM-001-SEMARNAT-2021               |
|-----------------|--------------|-----------------|---------------|-----------------------------|-------------------------------------|
|                 |              | Influyente (PM) | Efluente (PM) | Cuerpo receptor tipo B (PM) | Ríos, arroyos, canales, drenes (PM) |
| Toxicidad aguda | UT<br>15 min | 467.95          | 27.41         | NA                          | 2                                   |

El efluente industrial que llega a la PTAR recibe diferentes descargas industriales principalmente de la industria de la tenería por lo que los cloruros totales, conductividad eléctrica cromo hexavalente, sulfatos, sulfuros, nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) y nitrógeno total Kjeldahl (NTK) fueron analizados en esta PTAR. En la Tabla 199 se muestran los resultados de las concentraciones de estos parámetros en el influente y efluente de la PTAR.

**Tabla 199. Contaminantes adicionales presentes en el influente y efluente de la PTAR “Desbaste” (muestreo compuesto)**

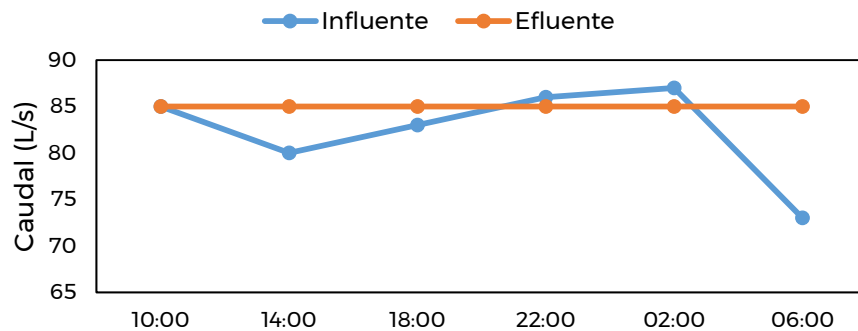
| Parámetro                       | Influyente (mg/L) | Efluente (mg/L) |
|---------------------------------|-------------------|-----------------|
| Cloruros totales                | 5,889             | 1,287           |
| Conductividad eléctrica (mS/cm) | 10.2              | 4.1             |
| Cromo hexavalente               | <0.10             | <0.10           |
| Sulfatos                        | 1,266             | 196             |
| Sulfuros                        | 0.97              | 2.068           |
| N-NH <sub>3</sub>               | 343               | 146             |
| NTK                             | 755               | 161             |

Como puede observarse en la Tabla 199, existe una alta concentración de sulfatos, cloruros y nitrógeno en el influente aún después del proceso de tratamiento. La mayor remoción de estos contaminantes se llevó a cabo el proceso de coagulación-floculación. En el caso de los sulfatos, se detectó una concentración de 1,266 mg/L en el influente de la PTAR. Una cierta cantidad de los sulfatos posiblemente fue convertida a sulfuro de hidrógeno por la presencia de bacterias sulfato-reductoras que se encuentran probablemente en las unidades de tratamiento ya que se observó la presencia de biopelículas adheridas en las paredes de las unidades de



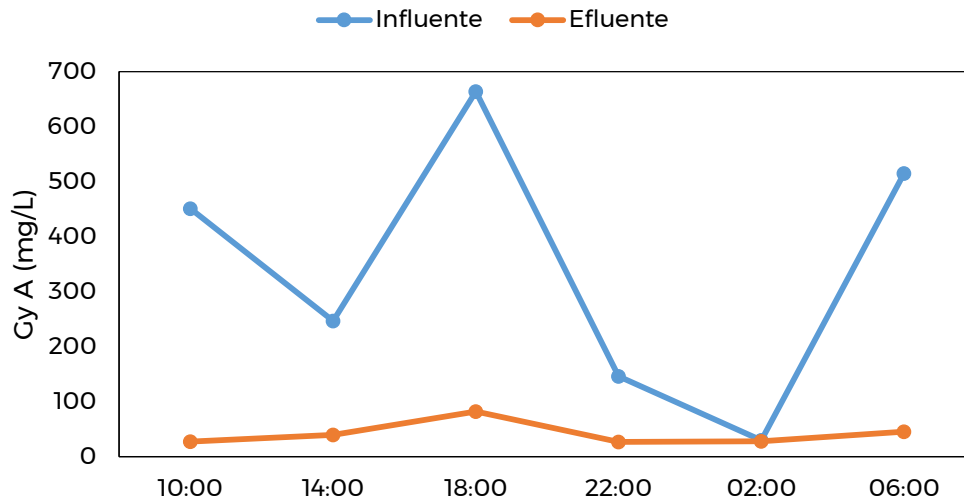
tratamiento. Además, en el ambiente se detectaron concentraciones del sulfuro de hidrógeno de 4 hasta 50 mg/L. De acuerdo a los operadores, se ha llegado a detectar concentraciones en el aire de hasta 300 mg/L. La baja concentración de sulfuros en el agua es debido a que en el segundo módulo de oxidación se inyecta aire con el objetivo de volatilizar el sulfuro de hidrógeno presente en la fase líquida.

En la Figura 572 se muestra la variación del caudal durante un periodo de 24 h. El máximo caudal presentado en el influente de la PTAR fue en el quinto periodo de muestreo (2:00 h) el cual fue de 87 L/s. El caudal más bajo medido se presentó a las 6:00 h con un valor de 73 L/s. El caudal promedio en el influente de la PTAR fue de 82.3 L/s que corresponde a un 56.6% del gasto de diseño (150 L/s). En el efluente, el caudal se mantuvo con flujos de 85 L/s durante toda la campaña de muestreo



**Figura 572. Variación del caudal en el influente y efluente de la PTAR Desbaste**

Para las GyA las concentraciones en el influente oscilaron entre 146 y 664 mg/L con un promedio ponderado respecto al caudal de entrada de 335.95 mg/L. Las concentraciones de GyA detectadas en el efluente fueron entre 27.5 y 82.2 mg/L con un promedio ponderado de 41.5 mg/L respecto al caudal del efluente de la PTAR. Las mayores concentraciones de GyA tanto para el influente como para el efluente se encontraron a las 18:00 h (Figura 573).



**Figura 573. Concentración de CyA en el influente y efluente de la PTAR de Zaragoza**

Debido a que se encontraron altas concentraciones de cloruros y altos valores de conductividad eléctrica en influente y efluente de la PTAR, los Enterococos fecales se tomaron como el parámetro microbiológico de referencia (**Figura 574**). Los valores de Enterococos fecales en el influente se encontraron entre  $1.8 \times 10^5$  y  $8.18 \times 10^5$  NMP/100 mL con un promedio (media geométrica) de  $2.15 \times 10^5$  NMP/100 mL. En el efluente los valores de los Enterococos fecales se encontraron entre  $1.63 \times 10^5$  y  $3.81 \times 10^5$  NMP/100 mL con un promedio de  $2.12 \times 10^5$  NMP/100 mL. Esto indica que la PTAR no tiene la capacidad de remover a los Enterococos fecales.

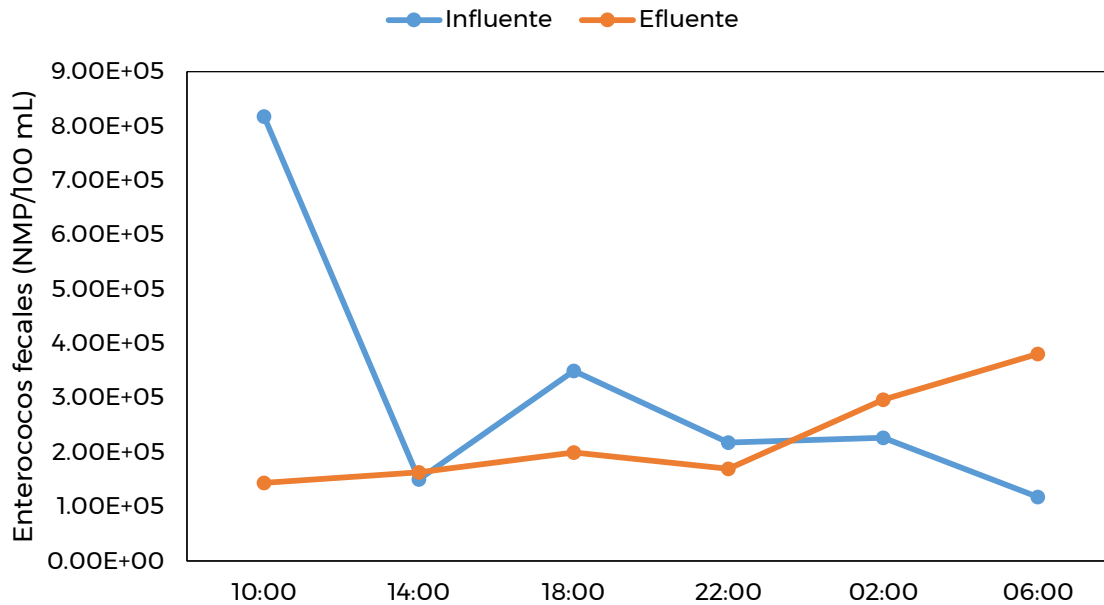
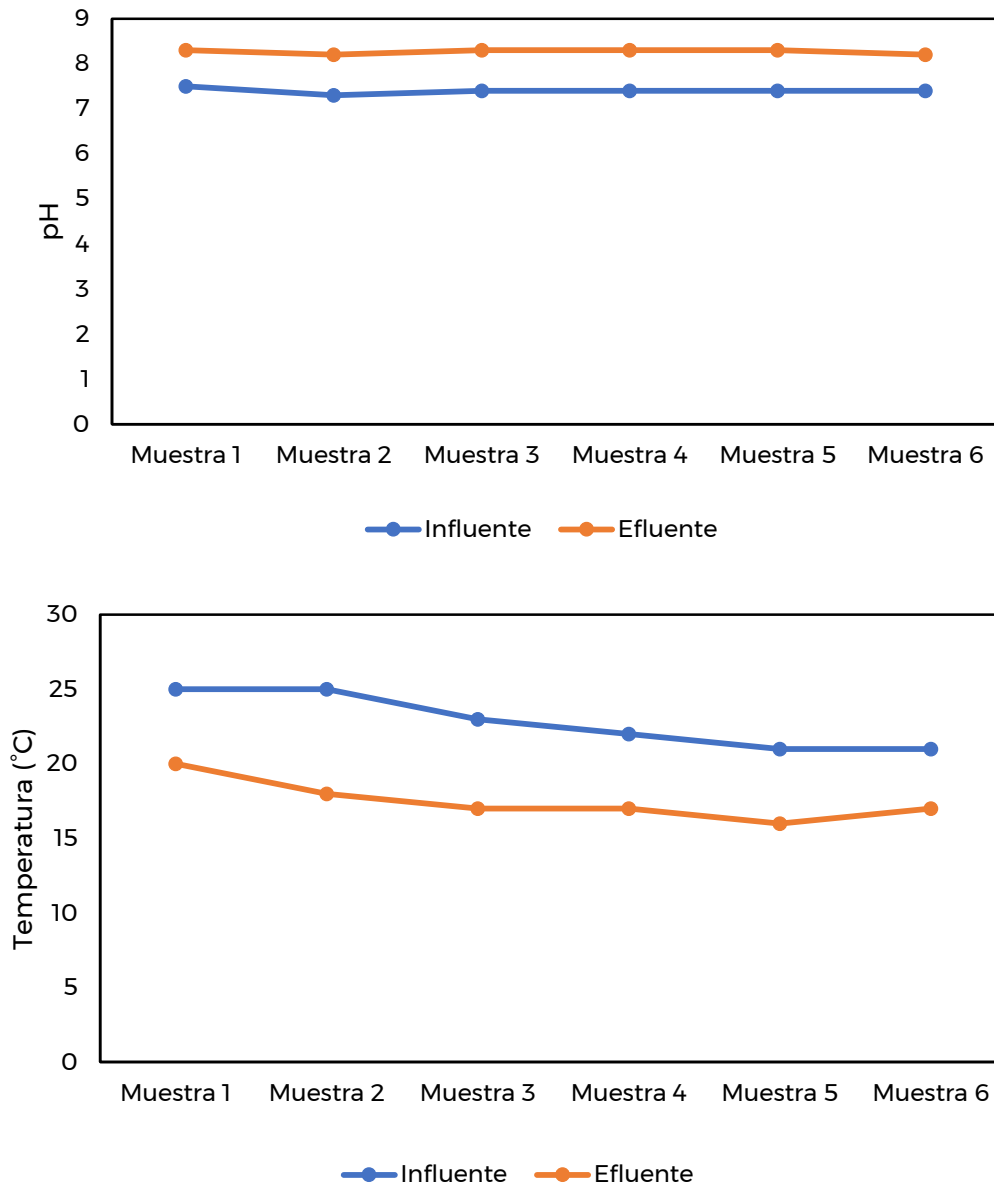


Figura 574. Variación de los Enterococos fecales en el influente y efluente de la PTAR Desbaste

Los valores del pH en el influente fueron constantes con valores entre 7.3 y 7.5 (promedio de 7.4). El pH en el efluente fue en promedio de 8.2 indicando. La temperatura en el influente durante la campaña de muestro fue entre 21 y 25°C con un promedio de 23°C. Las temperaturas del agua residual en el efluente fueron entre 16 y 20°C (promedio de 17.5°C). Las más bajas temperaturas se presentaron durante la noche y al amanecer (Figura 575).

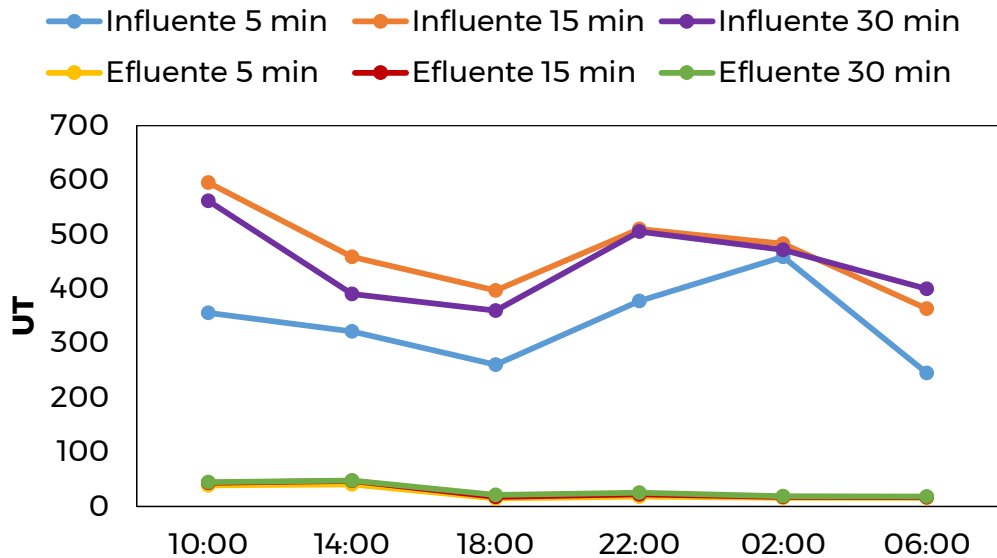


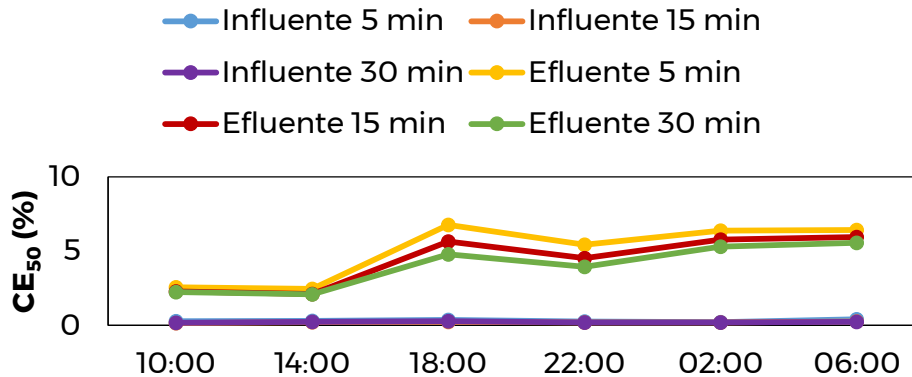
**Figura 575. Variación del pH y temperatura en el influente y efluente final de la PTAR Desbaste**

En la Figura 576 se muestran los resultados de las toxicidades determinadas en el influente y efluente de la PTAR. La toxicidad fue determinada en un periodo de 24 h tomado seis muestras simples. Como se puede observar que el agua residual que entra a la PTAR presenta toxicidades muy altas en las seis muestras simples alcanzándose valores de hasta 595.24 UT a los 15 minutos de exposición. La concentración letal medio ( $CE_{50}$ ) máxima fue 0.168% que corresponde con los altos valores de las UT en ese periodo de tiempo. Las toxicidades se presentaron desde los primeros 5 minutos de

exposición. Estos valores bajos de  $CE_{50}$  indicaron que a muy bajas exposiciones del agua residual cruda se alcanzan toxicidades muy altas capaces de afectar al 50% de *Vibrio fischeri*. Las máximas toxicidades que se presentaron fueron por la mañana y por la noche. Para el efluente se presentaron toxicidades más bajas comparadas con el influente, sin embargo, los valores de las toxicidades están muy por arriba de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Como se puede observar en la Figura 576, las toxicidades son casi constantes en el transcurso del día y en la noche.

Los valores de toxicidad en el efluente a los 15 minutos de exposición estuvieron entre 17.661 y 43.649 UT. Las altas toxicidades presentes en las aguas residuales tanto en el influente como el efluente indica la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos en concentraciones que pueden causar un efecto tóxico a los seres vivos. En las condiciones actuales, la PTAR a pesar de remover hasta un 94.1% toxicidad en el agua, no es capaz de remover aquellos compuestos que pudieran generar algún efecto tóxico





**Figura 576. Variación de las toxicidades (*Vibrio fischeri*) en el influente y efluente de la Desbaste**

### 3.2.2 Eficiencia de la PTAR en la remoción de contaminantes

Con el objetivo de determinar el desempeño de la PTAR en la remoción de diferentes contaminantes, se realizaron muestreos simples en las salidas de las unidades de tratamiento que conforman la PTAR. Los puntos de muestreos que fueron seleccionados para determinar la eficiencia de tratamiento de cada unidad de tratamiento fueron: Influyente (antes de pre-desbaste), salida tamices rotatorios, salida tanques de homogeneización 1, salida tanques de homogeneización 2, clarifloculadores, salida 2 a sección módulos de oxidación y efluente (cárcamo de bombeo).

Para la remoción global de la PTAR se tomaron los resultados del muestro compuesto realizado en el influente y efluente de la PTAR. La eficiencia global de tratamiento de acuerdo con los resultados de la caracterización de las aguas residuales se muestra en la Tabla 200. Se puede observar que el sistema de tratamiento en las condiciones actuales en las se encuentran presenta una buena remoción en la mayoría de los contaminantes excepto para los sulfuros y Enterococos fecales. Sin embargo, a pesar de las altas remociones globales que se obtienen en la PTAR, tanto las concentraciones, unidades de toxicidad y coeficientes de absorción espectral son altos en el efluente por lo que muchos de estos contaminantes no cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.

**Tabla 200. Eficiencia de remoción global de los contaminantes en la PTAR "Desbaste"**

| Parámetro           | Remoción (%) |
|---------------------|--------------|
| DBO <sub>5</sub>    | 95.5         |
| DQO                 | 90.7         |
| COT                 | 87.6         |
| SST                 | 95           |
| GyA                 | 87.9         |
| N-NH <sub>3</sub>   | 57.4         |
| N-NT                | 78.6         |
| NTK                 | 78.6         |
| PT                  | 23.7         |
| Sulfatos            | 84.5         |
| Sulfuros            | -110         |
| Cromo hexavalente   | N.D          |
| Cloruros totales    | 78.1         |
| Enterococos fecales | 15.2         |
| Color               |              |
| 436                 | 76.3         |
| 525                 | 73.1         |
| 620                 | 74.7         |
| Toxicidad           | 94.1         |

N.D. No detectable

En el caso de los metales pesados especialmente el cromo, la PTAR remueve un 95.1% de este contaminante, sin embargo, su concentración en el efluente no cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021. Para el cadmio, cobre, níquel y plomo las remociones globales se encontraron entre el 11.7 y 71.4% (Tabla 201).

**Tabla 201. Remoción global de metales pesados en la PTAR “Desbaste”**

| Parámetro | Remoción (%) |
|-----------|--------------|
| Arsénico  | -            |
| Cadmio    | 11.7         |
| Cobre     | 39.8         |

|          |      |
|----------|------|
| Cromo    | 95.1 |
| Mercurio | -    |
| Níquel   | 71.4 |
| Plomo    | 61.5 |
| Zinc     | -    |

- Por debajo del límite de detección en el influente y efluente

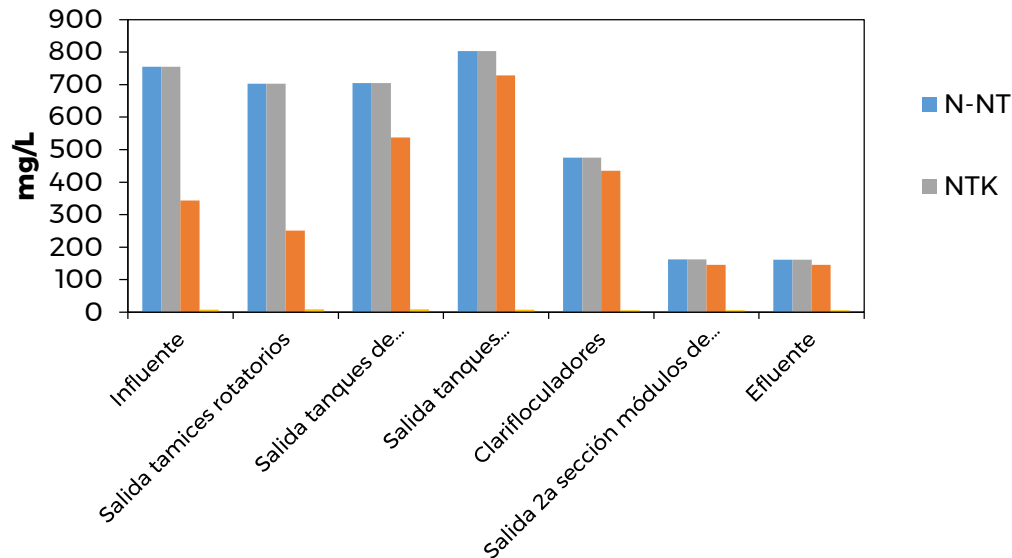
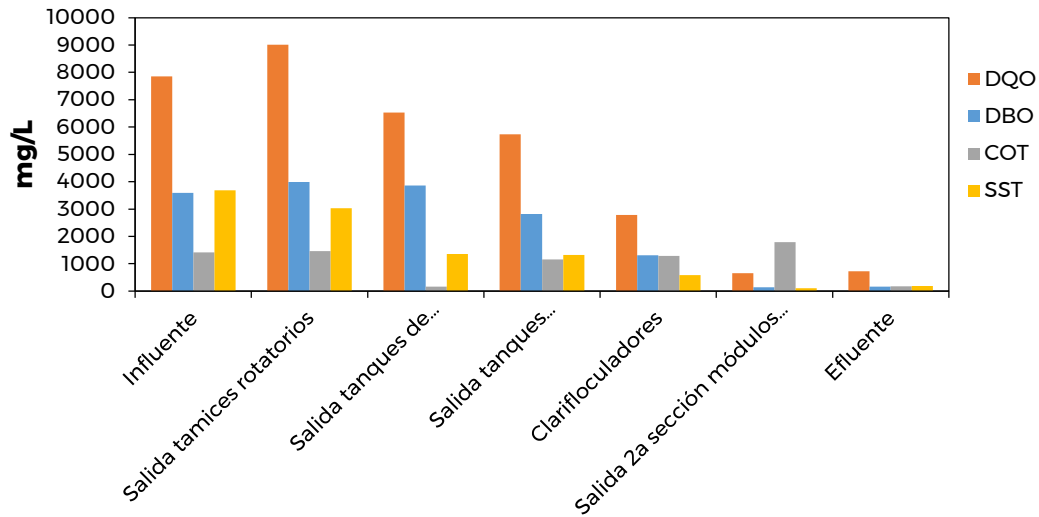
Para determinar la eficiencia de remoción de los contaminantes en cada una de las unidades de tratamiento se analizaron los siguientes parámetros: DBO<sub>5</sub>, DQO, COT, SST, NT, NTK, N-NH<sub>3</sub>, PT, sulfatos, sulfuros, cromo hexavalente, cloruros totales, color verdadero y metales pesados. En la Tabla 202, Tabla 203 y Tabla 204 y en la Figura 577 a la Figura 581, se muestran los resultados de las variaciones de las concentraciones de los contaminantes en cada una de las etapas de tratamiento. La mayoría de los contaminantes se remueven gradualmente a través de las unidades de tratamiento. El proceso de coagulación-floculación y en la segunda sección de los módulos de oxidación es donde se llevó a cabo las mayores remociones de los contaminantes.

**Tabla 202. Variación de las concentraciones de los contaminantes en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR “Desbaste”**

| Punto de muestreo                         | DBO <sub>5</sub><br>(mg/L) | DQO<br>(mg/L) | COT<br>(mg/L) | SST<br>(mg/L) | N-NH <sub>3</sub><br>(mg/L) | N-NT<br>(mg/L) | NTK<br>(mg/L) | PT<br>(mg/L) |
|---|----------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|----------------|---------------|--------------|
| Influente                                 | 3,590                      | 7,848         | 1,416.5       | 3,680         | 343                         | 755            | 755           | 8.23         |
| Salida tamices rotatorios                 | 3,988                      | 9,009         | 1,463.2       | 3,033         | 251                         | 703            | 703           | 8.59         |
| Salida tanques de homogeneización 1       | 3,860                      | 6,528         | 1,62.4        | 1,360         | 537                         | 705            | 705           | 9.15         |
| Salida tanques homogeneización 2          | 2,815                      | 5,729         | 1,155         | 1,320         | 728                         | 803            | 803           | 7.51         |
| Clarifloculadores                         | 1,307                      | 2,783         | 1,288.8       | 580           | 435                         | 475            | 475           | 5.8          |
| Salida 2a sección de módulos de oxidación | 136                        | 651           | 1,784         | 104           | 146                         | 162            | 162           | 6.13         |



| Punto de muestreo | DBO <sub>5</sub> (mg/L) | DQO (mg/L) | COT (mg/L) | SST (mg/L) | N-NH <sub>3</sub> (mg/L) | N-NT (mg/L) | NTK (mg/L) | PT (mg/L) |
|-------------------|-------------------------|------------|------------|------------|--------------------------|-------------|------------|-----------|
| Efluente          | 161                     | 724        | 174.8      | 185        | 146                      | 161         | 161        | 6.28      |



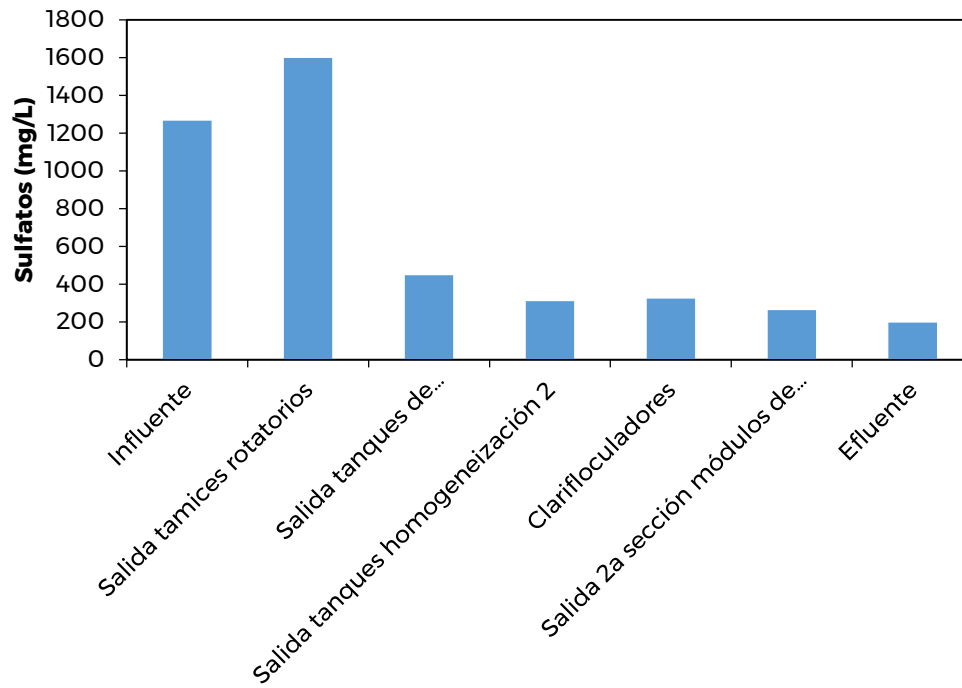
**Figura 577. Variación de las concentraciones de diferentes parámetros fisicoquímicos en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR “Desbaste”**

En el caso de los sulfatos la mayor remoción se llevó a cabo en los tanques de homogenización. En este proceso es donde se observó una mayor cantidad de biopelícula y una especie de masa gris. Posiblemente en este tanque existan bacterias sulfato-reductoras que toman al sulfato como

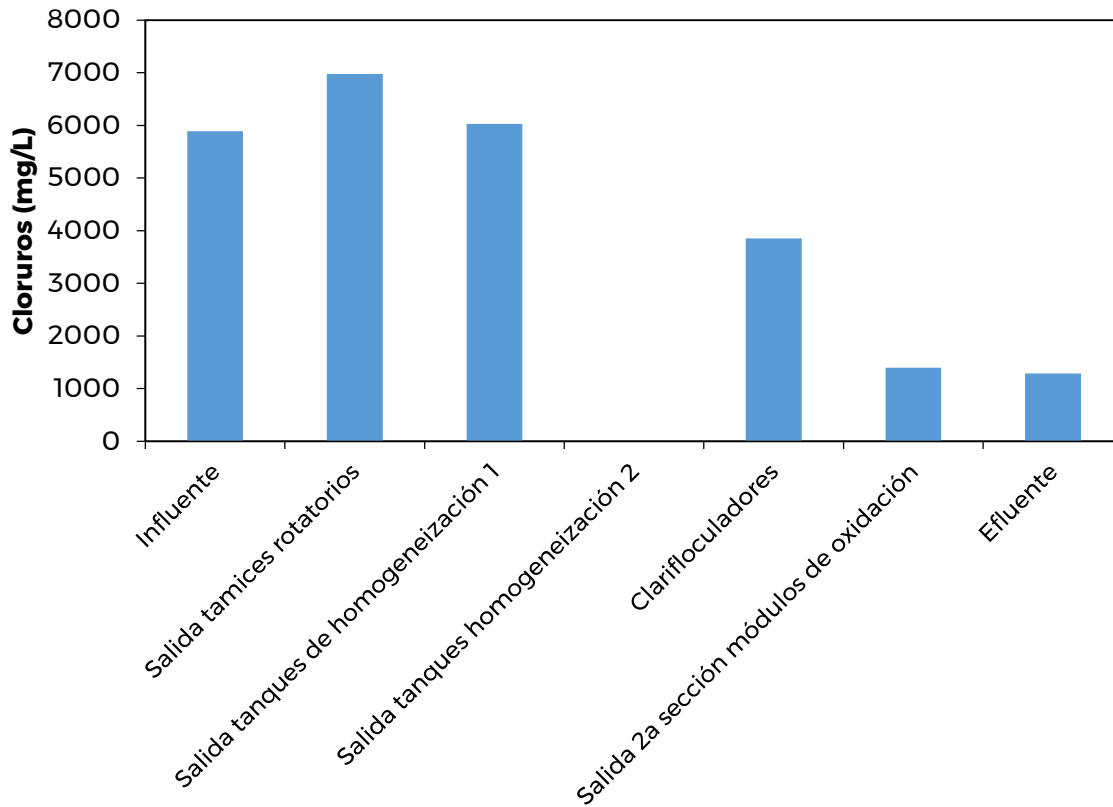
aceptador final de electrones para formar sulfuros. La mayor cantidad de sulfuros quedan en el aire ya que se detectó a través de un detector de gases altas concentración de sulfuros en el ambiente. Los cloruros fueron removidos mayormente en el proceso de coagulación-floculación y en la segunda sección de los módulos de oxidación. No se detectó cromo hexavalente en ninguna unidad de tratamiento. La concentración de sulfuros en el agua residual fue menor a 2.066 mg/L.

**Tabla 203. Variación de las concentraciones de  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{S}^{-2}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  y cloruros en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR “Desbaste”**

| Punto de muestero                      | Sulfatos (mg/L) | Sulfuros (mg/L) | Cromo hexavalente (mg/L) | Cloruros totales (mg/L)       |
|--|-----------------|-----------------|--------------------------|-------------------------------|
| Influyente                             | 1,266           | 0.9794          | <0.1                     | 5,889                         |
| Salida tamices rotatorios              | 1,599           | 1.579           | <0.100                   | 6,980                         |
| Salida tanques de homogeneización 1    | 447             | 0.8998          | <0.100                   | 6,026                         |
| Salida tanques homogeneización 2       | 310             | 1.05            | <0.100                   | 1.95<br>(verificar este dato) |
| Clarifloculadores                      | 324             | 0.5756          | <0.100                   | 3,850                         |
| Salida 2a sección módulos de oxidación | 263             | 2.021           | <0.100                   | 1,399                         |
| Efluente                               | 196             | 2.066           | <0.1                     | 1,287                         |



**Figura 578. Variación de las concentraciones de sulfatos en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR "Desbaste"**



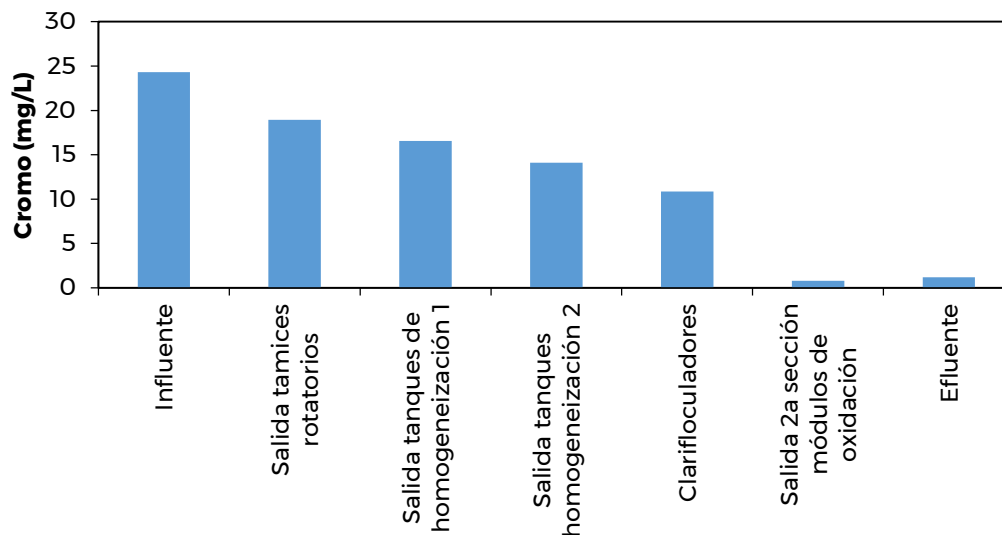
**Figura 579. Variación de las concentraciones de metales pesados en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR "Desbaste"**

El cromo que fue el metal que se encontró en una alta concentración en el influente de la PTAR con un valor de 24.31 mg/L. El cromo fue removido gradualmente en cada una de las unidades de tratamiento siendo los tamices rotatorios, el proceso de coagulación y en la segunda sección de los módulos de oxidación donde se presentaron las mayores remociones de este compuesto obteniéndose concentraciones del cromo en el efluente de 1.19 mg/L. Otros metales tales como el cobre, níquel y plomo fueron removidos del agua residual a través de las diferentes unidades de tratamiento.

**Tabla 204. Variación de las concentraciones de metales pesados en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR "Desbaste"**

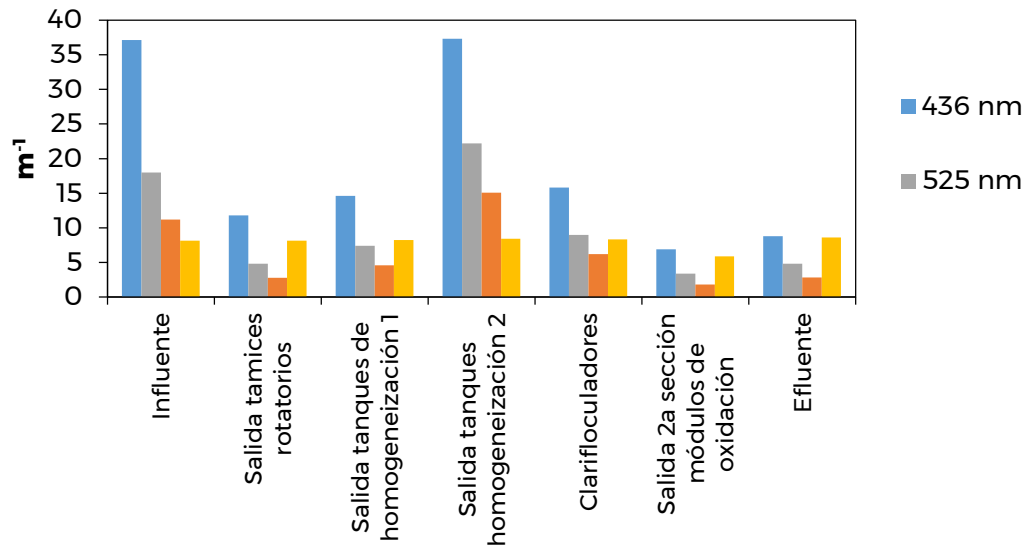
| Punto de muestreo | Arsénic<br>o<br>(mg/L) | Cadmi<br>o<br>(mg/L) | Cobre<br>(mg/L) | Crom<br>o<br>(mg/L) | Mercuri<br>o<br>(mg/L) | Níque<br>l<br>(mg/L) | Plom<br>o | Zinc<br>(mg/L<br>) |
|-------------------|------------------------|----------------------|-----------------|---------------------|------------------------|----------------------|-----------|--------------------|
|                   |                        |                      |                 |                     |                        |                      |           |                    |

|  |        |        |        |       |         |       | (mg/L) |       |
|--|--------|--------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|
| Influente                              | 0.0052 | 0.034  | 0.083  | 24.31 | <0.0005 | 0.35  | 0.26   | <0.1  |
| Salida tamices rotatorios              | 0.0056 | 0.034  | 0.056  | 18.92 | <0.0005 | 0.35  | 0.27   | 0.36  |
| Salida tanques de homogeneización 1    | 0.007  | <0.030 | 0.077  | 16.57 | <0.0005 | 0.3   | 0.2    | 0.3   |
| Salida tanques homogeneización 2       | 0.0065 | <0.031 | 0.055  | 14.1  | <0.0005 | 0.27  | 0.18   | 0.2   |
| Clarifloculadores                      | 0.0072 | <0.030 | <0.050 | 10.85 | <0.0005 | 0.2   | 0.14   | 0.16  |
| Salida 2ª sección módulos de oxidación | 0.0046 | <0.030 | <0.050 | 0.77  | <0.0005 | <0.10 | <0.10  | <0.10 |
| Efluente                               | 0.0052 | <0.03  | <0.05  | 1.19  | <0.0005 | <0.1  | <0.1   | <0.1  |



**Figura 580. Variación de las concentraciones del cromo en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR "Desbaste"**

El color verdadero fue removido principalmente en el proceso de coagulación-floculación y en la segunda sección de los módulos de oxidación con remociones por arriba del 73%.



**Figura 581. Variación del color verdadero en las diferentes unidades de tratamiento fisicoquímico de la PTAR “Desbaste”**

### 3.2.3 Influencia industrial

De acuerdo a los datos proporcionados por Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL), la Cd. De León Gto. tiene 11 giros industriales con un total de 3,410 industrias, siendo la industria de la Tenería con la mayor cantidad de industrias en la Cd. De León Gto (Tabla 205). Los datos de la calidad del agua que llegan a la PTAR “Desbaste” concuerdan con los datos proporcionados por SAPAL ya que la cantidad de contaminantes encontrados en el agua residual y sus altas concentraciones corresponden principalmente a efluentes industriales de la industria de la Tenería.

**Tabla 205. Cantidad de industrias en la Cd. De León Gto.**

| Giro industrial             | Cantidad de industrias |
|-----------------------------|------------------------|
| INDUSTRIA METAL-MECANICA    | 71                     |
| PRODUCTOS QUIMICOS          | 127                    |
| PANADERIAS                  | 142                    |
| EMBOTELLADORAS DE REFRESCOS | 228                    |
| PROCESADORA DE PLASTICO     | 232                    |
| PROCESADORA DE ALIMENTOS    | 270                    |

| <b>Giro industrial</b>      | <b>Cantidad de industrias</b> |
|-----------------------------|-------------------------------|
| TALLERES MECANICOS          | 310                           |
| CARNICERIAS                 | 317                           |
| TORTILLERIA/MOLINO NIXTAMAL | 466                           |
| FABRICA DE CALZADO          | 514                           |
| <b>TENERIA</b>              | <b>733</b>                    |

## **4 DIAGNÓSTICO DE PERSONAL**

### **4.1 Recursos Humanos**

A continuación, se presenta el resultado del análisis del personal que labora en la PTAR. Esta información corresponde a la obtenida a través del FORMATO 03. RECURSOS HUMANOS.

La plantilla de la PTAR está conformada por 20 personas quienes se encargan de la operación de la Planta. Se cuenta con un coordinador y 4 encargados, es decir, 5 personas administrativas. En cuanto a la parte operativa la PTAR cuenta con 5 supervisores y 10 técnicos de control. Sin embargo, no se presentó información sobre la experiencia laboral y la antigüedad en sus puestos.

Adicionalmente, el módulo de desbaste comparte personal con la PTAR municipal que trata las aguas residuales de la Ciudad de León. Son 35 personas que atienden tareas principalmente de mantenimiento en ambas plantas: 13 encargados, supervisores y coordinadores de mantenimiento, 5 auxiliares de mantenimiento, 9 peones, 5 operadores de maquinarias auxiliares, 2 choferes y un ayudante general.

Con la información obtenida no se puede establecer si el personal cuenta con la experiencia suficiente para operar adecuadamente los procesos dentro de la PTAR y si se ha dado una continuidad a la plantilla laboral.

### **4.2 Evaluación de conocimientos**

Para la evaluación de conocimientos de la plantilla laboral se tomó como base el FORMATO 04 EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS, que se encuentra en los anexos.

Durante la evaluación de conocimiento del personal que opera la PTAR, sólo se presentaron seis evaluaciones; dos realizadas por supervisores de operación, tres por técnicos de control y una por personal de seguridad ambiental.

Los resultados de las evaluaciones recibidas arrojaron calificaciones entre regular y muy buena.

Esta información indica que el personal que respondió las evaluaciones está capacitado para la operación de la PTAR y conoce el proceso que se lleva a cabo durante el tratamiento del agua residual. Sin embargo, la muestra no es representativa del personal que labora en la planta, ya que representa



menos del 30% del personal del módulo de desbaste y menos del 10 % del personal, incluyendo al personal compartido con la PTAR municipal.

### **4.3 Capacitación**

#### **4.3.1 Cursos de capacitación recibidos**

Los operadores evaluados refirieron haber tomado diversos cursos, entre los que destacan temas de seguridad e higiene y algunos sobre capacitación de las funciones que desempeñan dentro de la PTAR. Estos cursos incluyen:

- Manejo de sustancias químicas
- Primeros auxilios
- Trabajo en alturas
- Trabajo en espacios confinados
- Manejo de gas cloro
- Búsqueda y rescate
- Combate de incendios
- Instalaciones eléctricas
- Corte y soldadura
- Diseño de plantas de tratamiento

Se observa que los cursos que se han realizado son principalmente de seguridad e higiene, sólo pocas personas han realizado el curso de corte y soldadura e instalaciones eléctricas. Así como el curso de diseño de plantas de tratamiento, por lo que se recomienda realizar un programa de capacitación continua del personal que incluya temas relacionados al tratamiento de aguas residuales y a las actividades técnicas que desempeñan dentro de la PTAR.

#### **4.3.2 Temas de capacitación solicitados**

El personal evaluado manifestó la necesidad de recibir capacitación en temas relacionados a la seguridad e higiene, al impacto ambiental y al diseño y operación de procesos de tratamiento.

Los temas solicitados se enlistan a continuación:

- Manejo de maquinaria pesada
- Corte y soldadura
- Manejo de sustancias químicas peligrosas
- Trabajo en alturas
- Trabajo en espacios confinados
- Equipos de cloración
- Diseño y operación de PTAR
- Remoción y recuperación de metales pesados
- Aspectos técnicos de electricidad
- Manejo automatizado de equipos para PTAR
- Control de equipos eléctricos
- Dosificación de coagulantes y floculantes
- Tecnologías de oxidación avanzada

Se puede observar que los temas solicitados por el personal para recibir capacitación incluyen la operación y diseño de procesos y plantas de tratamiento, lo que refuerza la recomendación realizada en el apartado 4.3.1.

#### **4.3.3 Material didáctico entregado**

Para solventar un poco la problemática sobre material para la capacitación continua, se entregó el siguiente material didáctico en la PTAR

- s) Manuales: El contenido de cada uno de ellos se encuentra en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1m9GYeDsYFscSYAuUpRM5BV8VBSYqT-o8?usp=sharing>
- t) Infografías
- u) Manual de ejercicios prácticos

Los Manuales constan de 6 tomos cuyas temáticas son las siguientes (Figura 257).

- kk) Indicadores sensoriales
- ll) Indicadores analíticos
- mm) Arranque y estabilización de una planta de lodos activados

- nn) Calidad del agua
- oo) Control del proceso
- pp) Seguridad e higiene



**Figura 582. Portada de los manuales.**

Se elaboraron 15 infografías con la información de los manuales, las cuales se mencionan a continuación (Figura 258):

- mmmm) Arranque de una PTAR de lodos activados
- nnnn) Higiene y seguridad
- oooo) Indicadores analíticos A
- pppp) Indicadores analíticos B
- qqqq) Indicadores sensoriales A
- rrrr) Indicadores sensoriales B

- ssss) Índice volumétrico de lodos
- tttt) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-001-SEMARNAT-1996
- uuuu) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-002-SEMARNAT-1996
- vvvv) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-003-SEMARNAT-1997
- wwww) Parámetros de calidad del agua
- xxxx) Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados
- yyyy) Problemas frecuentes en un sistema de lodos activados
- zzzz) Relación alimento/microorganismos
- aaaa) Sistema mecanizado de tratamiento de aguas residuales

## ARRANQUE DE UNA PTAR DE LODOS ACTIVADOS

**Revisión del equipo electromecánico**

Realizar un listado de todos los equipos electromecánicos por unidad de proceso. Realizar una prueba de arranque y paré, verificando el giro de motores y si es posible amperaje, esto con la finalidad de que no este obstruido o pegado el motor.

**Revisión hidráulica de los tanques**

- Realizar el llenado de las unidades para verificar que no existan fugas o grietas en las paredes.
- El agua será transferida de tanque en tanque.
- Para realizar esta actividad es necesario contar con planos de cada una de las unidades de proceso, para señalar o marcar y describir en estos las fallas que se consideren pertinentes.

**No arrancar si faltan equipos y detalles de construcción**

El arranque de un proceso de lodos activados, se lleva tiempo y deben tenerse ciertos cuidados para lograr su estabilización, así como un buen funcionamiento del proceso. Se recomienda realizarlo en **verano**.

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lodos activados se puede realizar bajo dos escenarios, **con y sin inóculo**, siendo considerado este último como una situación difícil.

### ARRANQUE SIN INÓCULO

| Días | Acciones  |
|------|---|
| 1    | Introducir agua residual al reactor biológico hasta un cuarto de su capacidad y arrancar la unidad de aereación. Al no existir microorganismos en el efluente, se generará una gran cantidad de espuma.   |
| 2    | Llenar reactor biológico a un 50% y continuar con la aereación.   |
| 3    | Llenar reactor biológico a un 75% y continuar con la aereación.   |
| 4    | Llenar reactor biológico a un 100% y continuar con la aereación.  |
| 5    | Iniciar con un flujo continuo de agua residual a 25% del flujo de diseño. Iniciar operaciones en el aerómetro/secundario con recirculación al 100%. Ajustar SSTM y SSTM para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras de agua residual cruda y tratada para determinar DBO y DQO y SST, para establecer la eficiencia del proceso. |
| 11   | Aumentar el flujo de agua residual al 50%.  |
| 15   | Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.  |
| 16   | Aumentar el flujo de agua residual al 75%.  |
| 18   | Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.  |
| 20   | Aumentar el flujo de agua residual al 100%.   |
| 30   | Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.  |

### ARRANQUE CON INÓCULO

**Datos:**  
El reactor biológico tendrá 3 100 mg/L (0.6 kg/L) de SSTM y un volumen de 5.34 m<sup>3</sup> (1.41 MGAL) de agua residual.

**Calcular:**  
Masa Inóculo = 3.5 kg/m<sup>3</sup> x 3.54 m<sup>3</sup> = 12.39 kg  
Volumen requerido = 12.39 kg / 0.9 kg/m<sup>3</sup> = 13.77 MGAL  
Se inoculará con el 10% = 1.37 MGAL. En la práctica como mínimo se recomienda no menos del 5%.

**Días:**

| Días | Acciones  |
|------|---|
| 1    | Llenar el reactor biológico con agua residual, al mismo tiempo agregar el inóculo y arrancar la unidad de aereación. Iniciar con un flujo de agua residual del 20%.   |
| 1    | Las recirculaciones en el secundario/secundario deben ser del 100%. Monitorear la formación de la espuma y el desarrollo de la biomasa. Ajustar SSTM y SSTM para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras de agua residual cruda y tratada para determinar DBO y DQO y SST y establecer la eficiencia del proceso. |
| 6    | Aumentar el flujo al 50%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.   |
| 10   | Aumentar el flujo al 75%.   |
| 11   | Aumentar el flujo al 100%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.  |

**Se deberá determinar cuándo termina el arranque y cuándo inicia la operación normal.**

- Concentraciones de los parámetros de calidad del agua de diseño.
- Similares durante varios días, tal vez indican una operación normal.
- Disminuyen valores muy cercanos a los de diseño.
- Parámetros de control de operación muy cercanos a los de diseño.

## HIGIENE Y SEGURIDAD

La higiene y seguridad deben iniciar por uno mismo y mantenerse para prevenir enfermedades y accidentes en el lugar de trabajo.

### Comité de higiene y seguridad

Las actividades del comité son:

- Realizar inspecciones
- Proponer y pagar capacitación
- Desarrollar un manual de higiene y seguridad
- Conducir investigaciones de accidentes e incidentes

### Programas

Los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento:

- Programa por escrito de higiene y seguridad
- Comité de higiene y seguridad
- Capacitación en higiene y seguridad

La capacitación es importante y sirve de medida preventiva contra accidentes y enfermedades.

### Medidas de higiene

**Hepatitis A**

**Hepatitis B**

**Influenza**

**Sarampión**

**Neumonía**

**Rubéola**

**Tétanos**

**Difteria**

**Norma Oficial Mexicana NOM-071-STPS-2001**  
Equipos de protección personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

**Objetivo:** Establecer los requisitos para la selección, uso y manejo de equipos de protección personal para proteger a los trabajadores de los efectos del medio ambiente de trabajo que pueden haberlos salud.

**Alcance:** Aplica a los trabajadores expuestos a las condiciones de riesgo que conlleva el uso de EPP en los centros de trabajo. Quiénes son los usuarios de EPP en el centro de trabajo.

**Que así como a los trabajadores de las siguientes actividades:**  
Quiénes son los usuarios de EPP en los centros de trabajo de las siguientes actividades: selección, uso y manejo de EPP.

**La mejor defensa contra infecciones virales y bacterianas es la observación de prácticas de higiene personal por lo que se debe:**

| Cabeza   | Cara y ojos   | Manos   | Calzado                                   | Extremidades inferiores |
|--|---|---|---|-------------------------|
| Mantener limpios y descubiertos la cara, boca, ojos y nariz. | Usar guantes de hule cuando se brotan bombas o equipos de manejo igual resaca, vapores, o aerosol, o otros tanques que involucren contacto directo con la piel, ropa o el cuerpo. | Mantener las uñas cortas y remover los materiales sucios antes de introducirlos en las manos. Se recomienda al ser de días generales por trabajar, una para guardar ropa de calle y limpia y otra la ropa de trabajo. | Barriar al finalizar su turno de trabajo. |                         |

## INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para:

- Monitorar el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

### DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (quebrar) la materia orgánica.  
Es la materia orgánica biodegradable (biomasa) que entra y sale de la PTAR.  
Demarcador de DBO: +60% indican que la PTAR tiene los problemas en la PTAR.  
Demarcador de DBO: -60% demuestran problemas en la PTAR.  
Debe existir un balance entre la cantidad de alimento que entra y los microorganismos presentes en el reactor biológico.

### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que se requieren para oxidar la materia orgánica y los nutrientes que entran y salen de la PTAR. La relación DQO/DBO se utiliza para evaluar el rendimiento y el desarrollo de la PTAR.  
Con esta relación, y desarrollando la DQO se calcula la DBO, obteniendo cinco veces el resultado.  
DQO/DBO > 2 indica descarga industrial poco biodegradable.  
DQO/DBO < 1 indica descarga urbana biodegradable.  
Rendimiento biológico.

### FLUJO DE AGUA

El operador tiene el control de la cantidad de agua que ingresa a la PTAR.  
Se emplea para el control del proceso para calcular el costo operativo. Para DBO: TDA agua de recirculación y purga de lodo y oxidación de productos químicos con un "by pass" para cualquier emergencia de alta demanda.  
Debe de contar con un equipo medidor de flujo continuo.

### GRASAS Y ACEITES

En valores a los microorganismos, se afianza con la presencia de la materia orgánica soluble a la cual se agregan los nutrientes que se encuentran en los lodos. C/A: 100 mg/L, se preparan a los lodos a la superficie del sedimentador secundario.  
C/A: 100 mg/L, se presenta aglomeración de lodos en el reactor biológico, lo que ocasiona pérdida de DBO y una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica.

### TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO

Tiempo que permanece cierta cantidad de agua en un tanque.  
En el tanque de aeración los microorganismos necesitan tiempo de retención para alimentarse y digerir la materia orgánica soluble.

| Unidad                | Mayor  | Menor  |
|-----------------------|--|--|
| Desarrollo biológico  | Dispersión acilgenosa (alta producción de biomasa) | Baja eficiencia de retención de lodo                               |
| Desarrollo hidráulico | Resuspensión de sólidos en el afluente             | El lodo no permanece suficiente tiempo de retención en el afluente |

## INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para:

- Monitorar el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

### TEMPERATURA

Rango óptimo para la actividad bacteriana: 20 - 35°C

| Actividad de microorganismos | Alta | Baja |
|------------------------------|------|------|
| Desarrollo biológico         | Alta | Baja |
| Desarrollo hidráulico        | Baja | Alta |

El aire de un sopelador puede incrementar la temperatura del agua hasta en 2°C, debido a que puedes salir alrededor de los 100°C.

### OXÍGENO DISUELTUO (OD)

De 1 a 2 mg/L OD residual satisfacen el oxígeno de una carga orgánica alta.  
La falta de un OD residual, reduce la actividad microbiana y ocasiona la remoción de materia orgánica.  
Un OD residual mayor a 3 mg/L, puede ocasionar problemas de sedimentación secundaria, ya que la oxigenación excesiva, ocasiona un incremento de energía y difusión.

### pH

Rango óptimo para asegurar la actividad y el desarrollo de los microorganismos en la actividad de aeración: 6.0 - 8.5 unidades.  
Por arriba de 9.0 reduce la población biológica.  
En un proceso que produce un pH menor al indicado de pH 6.5 a 0.5 unidades, entre el agua de entrada y la de salida.

| Actividad de microorganismos | Alta                | Baja |
|------------------------------|---------------------|------|
| Desarrollo biológico         | Alta <td>Baja </td> | Baja |
| Desarrollo hidráulico        | Baja <td>Alta</td>  | Alta |

### CONSUMO DE OXÍGENO

Permite conocer la actividad microbiana en el reactor biológico al medir la velocidad de consumo de oxígeno.

- Actividad microbiana alta o ingreso una alta carga orgánica o biodegradable.
- Comportamiento ideal, consumo en los primeros minutos alto, pero con el tiempo se estabiliza y se llega a un valor de consumo de oxígeno estable.
- Consumo de oxígeno lento y estabilización de la curva, ocasiona presencia de pocos microorganismos, o una actividad biológica que limita su respiración.
- Si no existe consumo de oxígeno, la actividad microbiana es nula, indica que ocurre una toxicidad aguda.

### SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y VOLÁTILES

Los SST se emplean para los ajustes de recirculación y de purga de lodo.  
Los SVV indican indirectamente la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de aeración.  
Los SVV se emplean para calcular la relación alimento/microorganismos (A/M) y el tiempo de retención celular (TRNC).

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Material flotante

Indicador de altas concentraciones de grasas y aceites.  
Interfiere con la sedimentación y puede causar bajas eficiencias de remoción de DBO.

### Acumulación de sólidos

Su origen se debe a una operación ineficiente del desarenador o del sedimentador primario secundario.  
Reduce el volumen efectivo de las unidades de proceso afectando su eficiencia.  
Generan zonas a niveladas que provocan problemas de sedimentación y mal olor.

### Trayectoria de flujos

La observación de la trayectoria del flujo se utiliza para detectar cortocircuitos.  
Los cortocircuitos son visibles al observar el movimiento de la espuma, sólidos suspendidos o materia flotante.  
Problemas: reducción de tiempos de retención hidráulico, generando operación inadecuada.

### Mezcla y turbulencia

Un tanque bien mezclado presenta uniformidad de concentraciones en todo su volumen.  
Indicadores de mezcla en el reactor biológico: Formación de depósitos de lodos en los esquinas. Zonas con concentraciones de DBO de 100.  
Diferencia de concentraciones entre zonas en OD o de DBO.  
Turbulencia no uniforme o de baja turbulencia pueden ser causadas por:  
Chuzas obstruidas.  
Cilindro dañados.  
Brazo de aeración.

### Burbujeo

En el sedimentador secundario indican que el lodo tiene mucho tiempo de retención (desfloculación) se debe incrementar la recirculación de lodo.  
En canales, desarenadores y tanque de contacto de lodo con límpida deficiente se presenta acumulación de sólidos y condiciones anaerobias, que generan burbujas y arrastre de sólidos.

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Color

Lodo activado aerado en buenas condiciones: color café chocolateado.  
Es un indicativo del estado de salud del lodo.  
Las condiciones de alimento proporcionan diferentes tonos de color.  
Las condiciones ambientales le dan diferentes tonos de color café.

| Café chocolateado | Edad avanzada  |
|-------------------|----------------|
| Café claro        | Lodo joven     |
| Café oscuro       | Lodo maduro    |
| Grises-verde      | Lodo anaerobio |

### Olor

Una PTAR bien operada no genera malos olores.  
Un proceso de lodos activados saludable tiene un ligero olor a humedad (tierra mojada).  
Un lodo sepioso, cambia su color a oscuro y el olor se similar al del huevo podrido.

### Tacto

Una Temperatura o vibración excesiva en equipos electrónicos y tuberías advierten un mal funcionamiento.

### Algas

Su crecimiento en las paredes de los tanques o en las canales recolectoras indica que altos niveles de nutrientes.

### Turbiedad del efluente

Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario o en el tanque de contacto de cloro indican un mal funcionamiento de la PTAR.

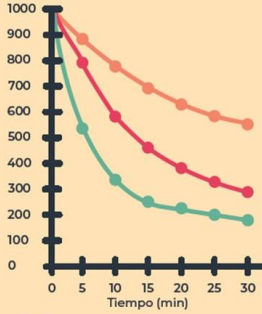
### Espuma

Color café oscuro: Se puede presentar en el reactor biológico y en el sedimentador secundario y se debe a un alto contenido de grasas y aceites que impiden a los microorganismos y al lodo.  
Color café claro: Los niveles de sólidos no son adecuados. El lodo tiene la edad suficiente, se joven.  
Color blanco: En tanques de regulación, reactor biológico y efluente alta concentración de detergentes. Es una condición específica del arranque de una planta, se presenta en los reactores por las surfactantes y con mayor intensidad en invierno, debido a que la temperatura afecta la actividad metabólica de los microorganismos y no degradan los detergentes.

| Presencia de grasas y aceites  | Presencia de microorganismos jóvenes                  | Presencia de detergentes |
|--|---|--------------------------|
| Arranque y estabilización <td>Asencia de microorganismos <td>Baja temperatura </td></td> | Asencia de microorganismos <td>Baja temperatura </td> | Baja temperatura         |

# ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)

- IVL (mL/g) = Volumen de lodos sedimentados (mL/L) / concentración de SSTLM (g/L)
- El volumen de lodos sedimentados se determina en una probeta de 1 L después de 30 minutos
- Los valores de IVL están comprendidos dentro del intervalo 150 a 35 mL/g



- Demasiado joven**
- Aumentar la recirculación
  - Eliminar la purga
- Edad adecuada**
- Demasiado viejo**
- Reducir al mínimo la recirculación
  - Aumentar la purga

- Se registra el volumen del lodo cada 5 minutos
- Los datos se graficarán para obtener una curva de sedimentabilidad, que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el reactor biológico
- Durante la prueba se podrá apreciar la forma del flóculo, su color y olor
- El aspecto final de la prueba da una idea de lo que se espera en el sedimentador secundario
- La información de esta prueba ayudará a conocer el comportamiento del sistema y a detectar problemas operacionales

# NORMATIVA MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

**NOM-001-SEMARNAT-1996**

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en los descargas de aguas residuales en aguas y bienes naturales.

• Con el objeto de proteger su calidad y permitir su uso, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS**

| PARÁMETROS  | EMBALES NATURALES Y ARTIFICIALES |                            |                            |                            | AGUAS COSTERAS  |                 |                 |                 | SUELO                      |                            |                            |                            |
|---|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|   | Uso en agropecuario urbano       | Uso en agropecuario urbano | Uso en agropecuario urbano | Uso en agropecuario urbano | Extracción (m³) | Extracción (m³) | Extracción (m³) | Extracción (m³) | Uso en agropecuario urbano | Uso en agropecuario urbano | Uso en agropecuario urbano | Uso en agropecuario urbano |
| Milligramos por litro cuando se agregan a recipientes | 100                              | 100                        | 100                        | 100                        | 100             | 100             | 100             | 100             | 100                        | 100                        | 100                        | 100                        |

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CAMBIOS**

| PARÁMETROS  | EMBALES NATURALES Y ARTIFICIALES |                            |                            |                            | AGUAS COSTERAS  |                 |                 |                 | SUELO                      |                            |                            |                            |
|---|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|   | Uso en agropecuario urbano       | Uso en agropecuario urbano | Uso en agropecuario urbano | Uso en agropecuario urbano | Extracción (m³) | Extracción (m³) | Extracción (m³) | Extracción (m³) | Uso en agropecuario urbano | Uso en agropecuario urbano | Uso en agropecuario urbano | Uso en agropecuario urbano |
| Microgramos por litro cuando se agregan a recipientes | 100                              | 100                        | 100                        | 100                        | 100             | 100             | 100             | 100             | 100                        | 100                        | 100                        | 100                        |

• Para determinar la contaminación por patógenos Coliformos Fecales, LMP para descargas vertidas a suelo (uso agropecuario):  
 \* 1000 MPN/100 mL como DQ.  
 \* 5 MPN para agua reutilizada (excepto regar y verter en el consumo humano)

# NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

**NOM-002-SEMARNAT-1996**

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal

• Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes naturales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C.

Los límites máximos permisibles para los parámetros DBO y SST, con los establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

El rango permisible de pH de 10 y 5.5 unidades.

La materia flotante debe estar ausente.

No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos considerados peligrosos, conforme a la regulación.

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES**

| Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | Promedio mensual | Promedio diario | Instantáneo |
|---|------------------|-----------------|-------------|
| Grasas y aceites  | 50               | 75              | 100         |
| Sólidos sedimentables (mililitros por litro)                          | 5                | 7.5             | 10          |
| Arsénico total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cadmio total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cianuro total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Cobre total   | 10               | 15              | 20          |
| Cromo hexavalente   | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Mercurio total  | 0.01             | 0.015           | 0.02        |
| Níquel total  | 4                | 6               | 8           |
| Plomo total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Zinc total  | 6                | 9               | 12          |

# NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

**NOM-003-SEMARNAT-1997**

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúnen en servicios al público

• Con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.

**REÚSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO**

Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. Se consideran los siguientes reusos:

- Limpieza de techos y canales verticales
- Placas en bodega
- Baño
- Cañerías
- Equil
- Fuentes de ornato
- Lavado de vehículos
- Diage de parques y jardines.
- Lagos artificiales no recreativos
- Barreras hidráulicas de seguridad
- Dianterias

**REÚSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL**

Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso sea restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. Se consideran los siguientes reusos:

- Diage de jardines y canchales en autopistas y avenidas
- Fuentes de ornato
- Campo de golf
- Abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendios

**PROMEDIO MENSUAL**

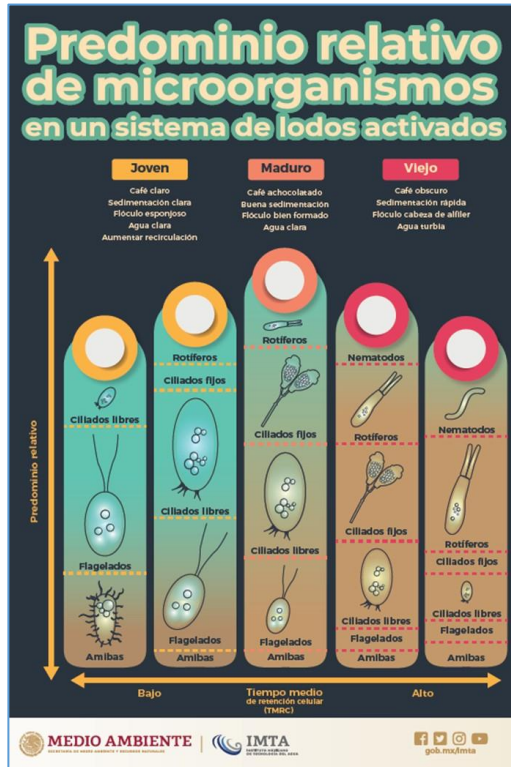
| TIPO DE REUSO   | Coliformos Fecales (MPN/100 mL) | Hechos de heces (MPN) | Grasas y aceites (mg/L) | DBO <sub>5</sub> (mg/L) | SST (mg/L) |
|---|---------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
| Servicios al público con contacto directo               | 260                             | ≤ 1                   | 15                      | 20                      | 20         |
| Servicios al público con contacto indirecto u ocasional | 1,000                           | ≤ 5                   | 15                      | 30                      | 30         |

• La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada.

• El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

### PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

| PARÁMETRO                      | ABREVIACIÓN  | IMPORTANCIA  |
|--------------------------------|--|--|
| Sólidos totales                | ST   | Para evaluar el costo potencial de un agua residual y residual tratada y determinar el posible tipo de operación y proceso para su tratamiento.  |
| Sólidos volátiles totales      | SVT  |  |
| Sólidos fijos totales          | SFT  |  |
| Sólidos suspendidos totales    | SST  |  |
| Sólidos suspendidos volátiles  | SSV  |  |
| Sólidos suspendidos fijos      | SSF  |  |
| Sólidos disueltos totales      | SDT  |  |
| Sólidos disueltos volátiles    | SDV  |  |
| Sólidos sedimentables          | SSed   |  |
| Turbiedad                      |  |  |
| Color                          |  | Para evaluar las condiciones del agua.   |
| Cloro                          |  | Para determinar si existe algún problema.  |
| Temperatura                    |  | Es importante en el diseño y operación de procesos de tratamiento biológico.   |
| Conductividad                  | CE   | Es usada para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se usará en riego agrícola.  |
| Amortiguación libre            | NHA*   | Empleados como una medida de nutrientes presentes y del grado de descomposición de agua residual. Las formas oxidadas pueden ser tomadas como una medida del grado de oxidación.   |
| Nitrógeno orgánico             | NOrg   |  |
| Nitrógeno total Kjeldahl       | NTK  |  |
| Nitratos                       | NO <sub>3</sub>  |  |
| Nitritos                       | NO <sub>2</sub>  |  |
| Nitrógeno total                | NT   |  |
| Fósforo inorgánico             | P Inorg  |  |
| Fósforo total                  | PT   |  |
| Fósforo orgánico               | P Org  |  |
| pH                             |  |  |
| Alcalinidad                    |  | Una medida de la capacidad de amortiguamiento del agua en un proceso de tratamiento.   |
| Cloruro                        | Cl   | Empleado para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se usará en riego agrícola.  |
| Sulfato                        | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>  | Para evaluar la potencialidad de generar olores y su impacto en el tratamiento de lodos residuales.  |
| Metales                        | Ag, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Hg, H <sub>2</sub> S, Zn, Mn, Ni, Se, Na, Zn | Para evaluar la posibilidad de reuso del agua residual tratada y sus efectos tóxicos en el tratamiento. Cambios de toxicidad pueden ser importantes para el desarrollo de los microorganismos en un tratamiento biológico. |
| Demanda bioquímica de oxígeno  | DBO  | Cantidad de oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica biodegradable.  |
| Demanda química de oxígeno     | DQO  | A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO. Puede ser usado junto con la DBO para determinar la materia orgánica no biodegradable.  |
| Carbono orgánico total         | COT  | A menudo empleado para sustituir la determinación de la DQO.   |
| Toxicidad                      |  | Toxicidad aguda o crónica ocasionada por presencia de metales o COV.   |
| Compuestos orgánicos volátiles | COV  | Para determinar la presencia de compuestos orgánicos volátiles y evaluar si se necesitan medidas especiales de diseño para su remoción.  |
| Organismos coliformes          | CT, CF   | Para evaluar la presencia de bacterias patógenas y la efectividad del proceso de desinfección.   |
| Microorganismos específicos    | Bacterias, protozoarios, helmintos, virus                                | Evaluación de la presencia de organismos específicos en un proceso de tratamiento biológico.   |



### PROBLEMAS FRECUENTES EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

| Problema  | Causas  | Observación  |
|---|---|--|
| Efluente turbio, ausencia de floculos sedimentables o dispersos en el medio o esponjosos  | Alta A/M, elevada temperatura de entrada, fase inicial del sistema, elevado DBO                         | Ausencia de floculos, células dispersas en el medio líquido, no ocurre biofloculación  |
| Pérdida permanente de pequeños floculos con el efluente final, IVL bajo (<100 mL/g)   | Excesiva turbulencia o tiempo de retención celular elevado, lodo mineralizado, baja F/M                 | Floculos muy pequeños, débiles, como cabeza de alfiler   |
| Estrato de lodo espeso en la superficie del sedimentador  | Surgimiento del lodo desde el fondo del sedimentador por desnitrificación, exceso de turbulencia, algas | Floculos ricos en burbujas de gas con o sin filamentos, espuma y lodo de igual aspecto   |
| Espuma sutil, blanquecina, inestable sobre la superficie del agua   | Presencia de sustancias difícilmente biodegradables, tensoactivas                                       | Ninguna influencia sobre los floculos  |
| Espuma espesa amarillada, estable principalmente en el tanque aerobio   | Presencia de bacterias filamentosas u hongos actinomicetos. Formación de espuma                         | Espuma rica de Nocardio, Microthrix parvicella o Tipo 1863   |
| Lodo de consistencia gelatinosa, IVL alto, espuma grisácea en el tanque aerobio, pérdida de floculos en el efluente final   | Agglomerado viscoso o no filamentosos, carencia de nutrientes y alto F/M                                | Floculos ricos en formas zoogeales y presencia de poliacaridos moleculares evidenciados con la prueba de tinta china. Presencia de Thauera sp.   |
| IVL alto o muy alto (>150 mL/g), dificultad para separar fase líquida de sólida, inicio con un efluente limpio de excelente calidad hasta la pérdida masiva de floculos. Lodo de recirculación poco concentrado | Presencia de bacterias filamentosas en relación al tipo de organismo presente                           | Floculos con crecimiento de filamentosos desde la periferia hacia el líquido circundante, puentes entre floculos o filamentosos creciendo en el interior y definiendo la forma de los floculos, o en tramas que dejan espacios vacíos en su estructura |





Figura 583. Infografías.

En el Manual de ejercicios prácticos (Figura 259) se presentan una serie de ejercicios prácticos que están clasificados por niveles, de tal manera que el operador podrá resolverlos inicialmente por él mismo. Posteriormente, la complejidad de los ejercicios le requerirá hacer uso de materiales de apoyo, o recurrir a sus colegas para dar una solución adecuada, y finalmente en un nivel superior, para poder resolver el ejercicio tendrá que recurrir a la ayuda del instructor.

Para la ejecución de estos ejercicios se hará uso de:

- Preguntas de opción múltiple
- Preguntas directas
- Presentación de problemas operacionales
- Preguntas de reflexión, con problemas que desde un punto de vista pueden presentar múltiples interacciones entre los procesos.

Estos ejercicios están relacionados a su vez con conocimientos generales, teóricos y prácticos de la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por lo anterior, lo que pretende este manual es que el operador al final cuente con los conocimientos que le permita discernir los niveles de problemas operacionales que se pueden presentar en una PTAR y, a su vez,



tener una herramienta que le permita jerarquizarlos para obtener la mejor y correcta solución.

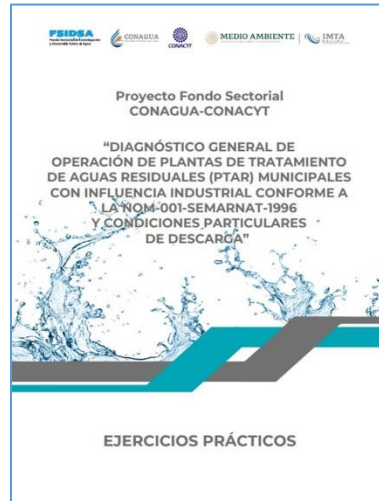
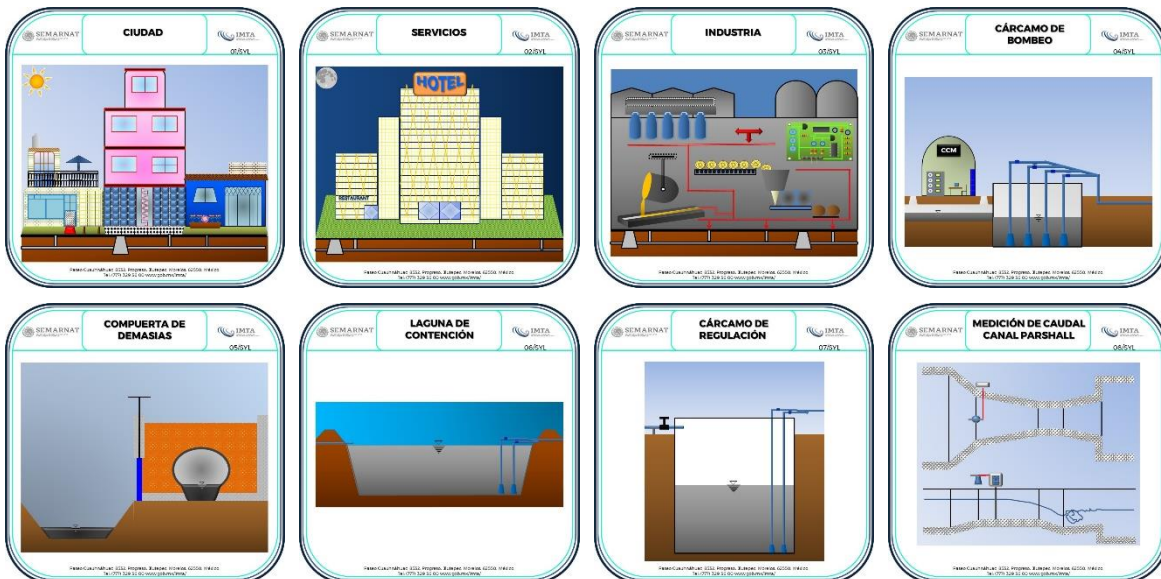
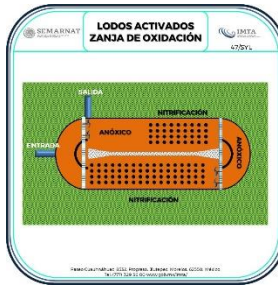
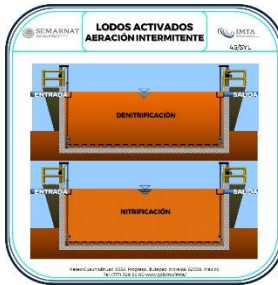
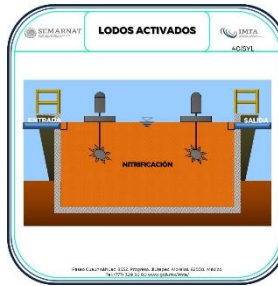
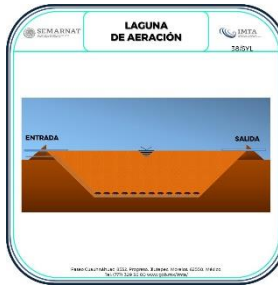
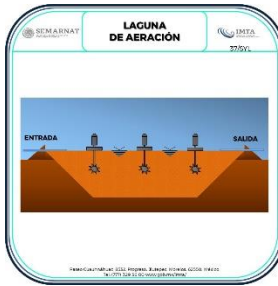
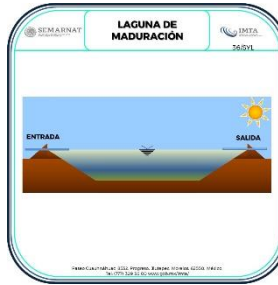
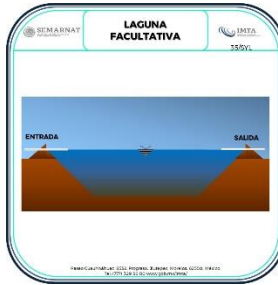
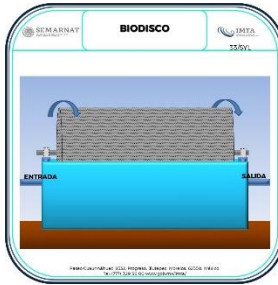
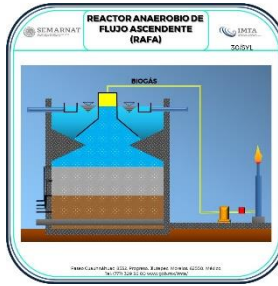
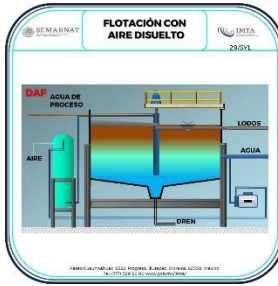


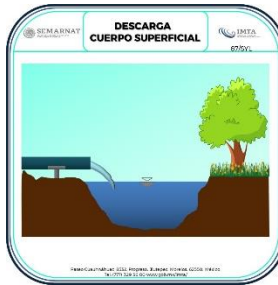
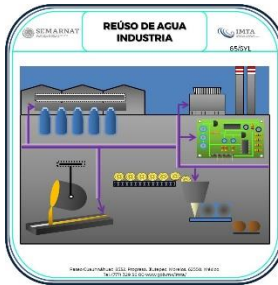
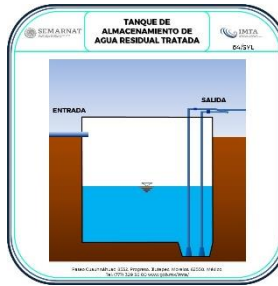
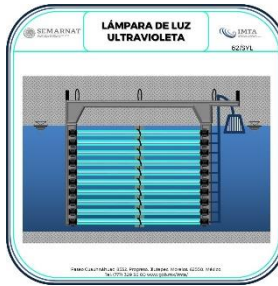
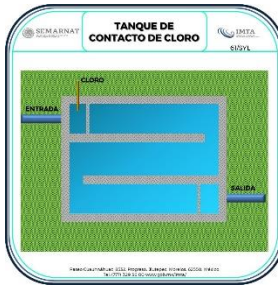
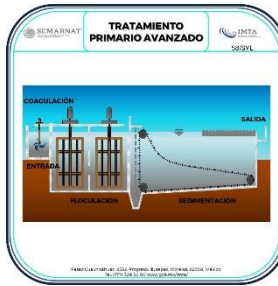
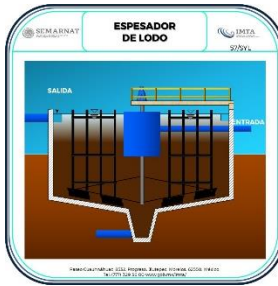
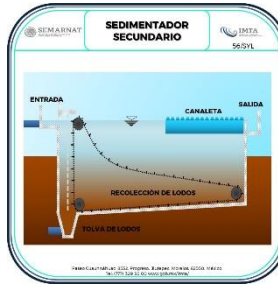
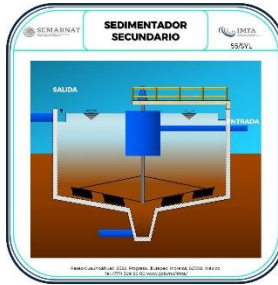
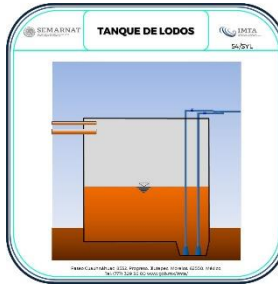
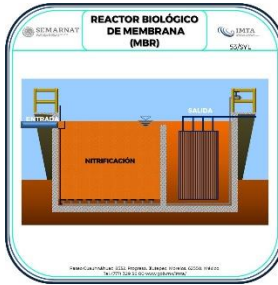
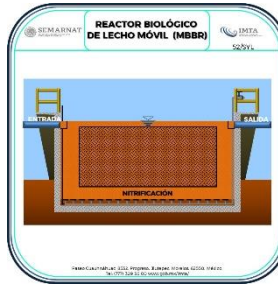
Figura 584. Manual de ejercicios prácticos.

Este manual va acompañado de un kit de imágenes (Figura 260) que representan todos los posibles procesos que pueden estar presentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.









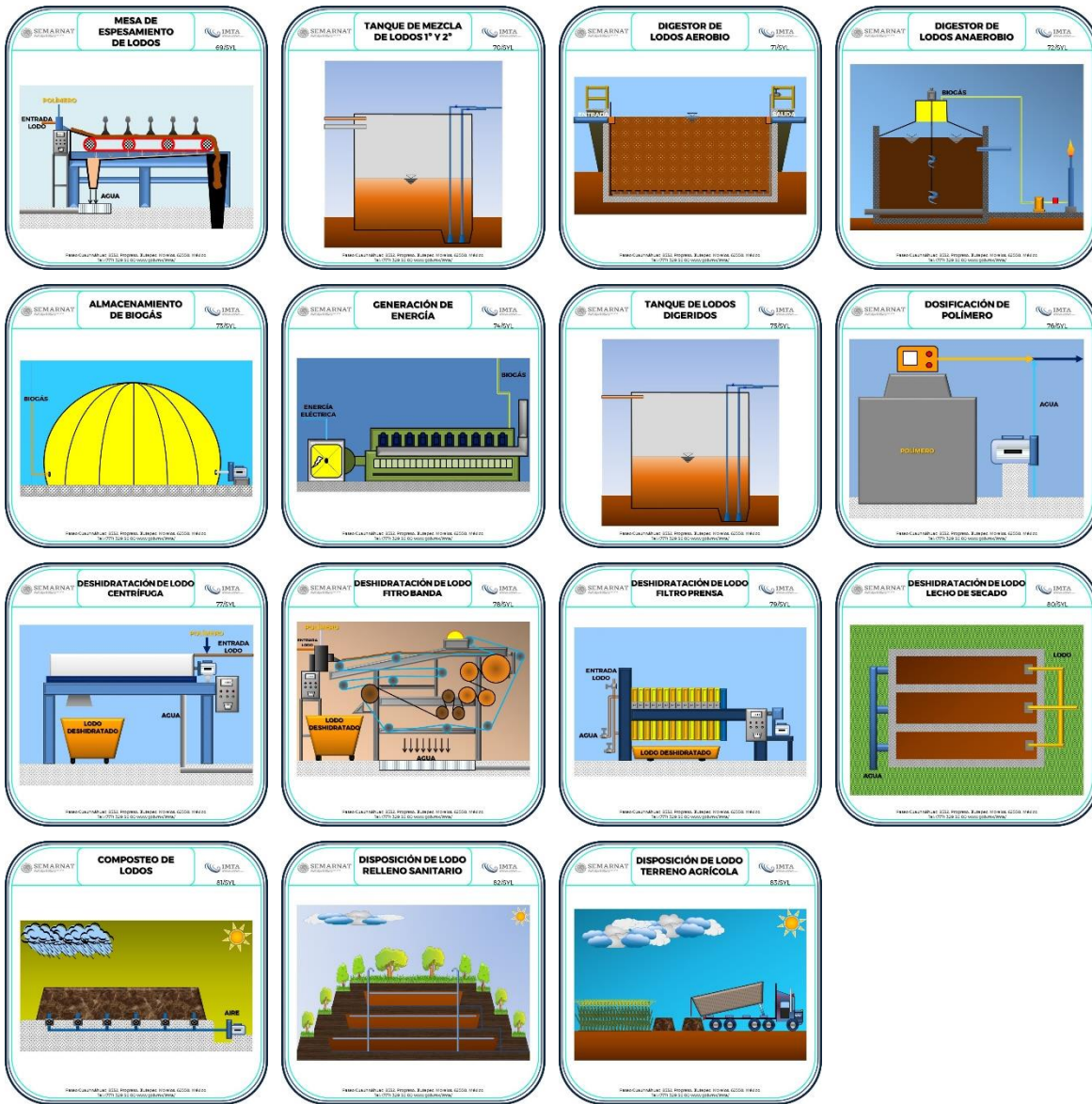


Figura 585. Kit de figuras.

En la Figura 81 se muestra el oficio de entrega.

## CARTA DE ENTREGA Y RECEPCIÓN

### MATERIAL DE APOYO TÉCNICO IMPRESO

El que suscribe Edgar Armando Correa Rojas en representación de la **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Desbaste"**, ubicada en Monterrey, Nuevo León, manifiesta recibir de conformidad el material de apoyo técnico impreso en perfecto estado, consiste en:

1. Infografía
2. Manual:
  - a. Seguridad e higiene
  - b. Control de proceso
  - c. Calidad del agua
  - d. Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
  - e. Indicadores sensoriales
  - f. Indicadores analíticos
  - g. Ejercicios prácticos
3. Kit de imágenes de proceso

Dicho material impreso está relacionado con las actividades del proyecto Fondo Sectorial CONAGUA-CONACYT "DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA"

Se firma la presente carta de entrega y recepción del material de apoyo técnico impreso a los 25 días del mes de Mayo de 2022.

**Recibe de conformidad**



Edgar A. Correa R.

**Figura 586. Entrega y recepción de materiales de apoyo técnico impreso**

## 5 SEGURIDAD E HIGIENE

El responsable de la seguridad e higiene en la PTAR es Harold López Cisneros, quien colaboró en el llenado del FORMATO 15. SEGURIDAD E HIGIENE.

Se pudo corroborar que se tienen identificadas las zonas de riesgo dentro de la PTAR, las cuales se han identificado mediante letreros y advertencias de seguridad. Asimismo, se tienen señalizadas las rutas de evacuación, el equipo de protección personal que se debe utilizar en cada área de trabajo, así como el lugar en el que se encuentra el equipo de protección personal y combate a emergencias.



**Figura 587. Señalización de seguridad en la PTAR.**

También, se verificó la existencia de brigadas de evacuación, primeros auxilios, prevención y combate de incendio, búsqueda y rescate, así como una brigada multifuncional y de atención de derrames químicos.

Adicionalmente, se cuenta con planes de contingencia para atención de incendios, derrames de combustibles, sismos, tormentas eléctricas, explosión, contingencias técnicas y atención de emergencias médicas del personal. Asimismo, se realizan simulacros para mejorar la capacitación.

En lo que respecta a los servicios médicos, la Planta cuenta con enfermería, médico en las instalaciones, paramédico y un plan de movilización de personal al centro de atención hospitalaria más cercano, que se encuentra a menos de 4 km.

## 6 LABORATORIO

La PTAR cuenta con un laboratorio de análisis acreditado, que pertenece al SAPAL, por lo que presta servicios de análisis de agua residual y potable a todas las instalaciones que dependen de este sistema de administración de agua (Figura 540).



**Figura 588. Laboratorio de análisis**

Como se hace constar en el FORMATO 16. BUENAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO, el laboratorio se encuentra limpio y ordenado, cuenta con instalaciones, equipos, cristalería y materiales adecuados para su operación. Asimismo, se constató que se cuenta con manual de procedimientos, manual de análisis, manuales de equipos y manual de buenas prácticas de laboratorio.

Respecto a la seguridad en el laboratorio, se tienen señalizaciones y ruta de evacuación identificada. Asimismo, se cuenta con el equipo de protección personal necesario, extintor y botiquín de primeros auxilios.

En resumen, el laboratorio acreditado cuenta con las instalaciones, los equipos y el personal requerido para desempeñar las actividades de manera adecuada.



## 7 CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR

### 7.1 Causas

Para poder ponderar las causas que influyen de manera negativa en el desempeño de la PTAR, se hace uso de una clasificación que consta de tres niveles de impacto, a saber:

#### Nivel I

Son los que presentan un mayor efecto y con problemas físicos difíciles de resolver de las unidades de proceso más importantes.

#### Nivel II

Son los que contribuyen rutinariamente al bajo desempeño o producen mayores efectos en una base periódica o estacional.

#### Nivel III

Son los que presentan mínimos efectos, fáciles y económicos de resolver, Normalmente de operación y administración.

Así, tomando como base la información obtenida de los capítulos anteriores, y la clasificación de las causas que influyen en el desempeño de la PTAR, se elabora la Tabla 206.

**Tabla 206. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR**

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño                                       | Atención      |
|-----|-------|---|---------------|
| 1   | I     | Pre-desbaste en malas condiciones de operación y mantenimiento.     | Corto plazo   |
| 2   |       | Microtamizadores en malas condiciones de operación y mantenimiento. | Corto plazo   |
| 3   |       | Desarenadores-desgrasadores fuera de operación.                     | Mediano plazo |
| 4   |       | Tanques de homogeneización 1 y 2 fuera de operación.                | Mediano plazo |

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño   | Atención      |
|-----|-------|---|---------------|
| 5   |       | Clarifloculadores en malas condiciones de operación y mantenimiento.          | Mediano plazo |
| 6   |       | Módulos de oxidación biológica fuera de operación (primera etapa).            | Largo plazo   |
| 7   |       | Módulos de oxidación biológica (segunda etapa) operando solo con aireación.   | Largo plazo   |
| 8   |       | Sedimentadores secundarios en malas condiciones de operación y mantenimiento. | Mediano plazo |
| 1   | II    | Capacitación al personal de operación   | Corto plazo   |

## 7.2 Descripción de la causa y recomendaciones

### 7.2.1 Nivel I

| Causa  | Recomendación   |
|--|---|
| <p><b>1. Pre-desbaste en malas condiciones de operación y mantenimiento.</b></p> <p>Existe una alta acumulación de pelambre y sólidos en los canales y el cárcamo de bombeo. Rejillas y equipos en avanzado estado de corrosión.</p> | <p>Se recomienda realizar una reingeniería de toda la PTAR de Desbaste considerando primeramente un sistema de pretratamiento tales como rejillas gruesas y finas seguida por microtamizadores de tambor rotatorios con un tamaño de malla entre 100 y 300 <math>\mu\text{m}</math>.</p> <p>Una vez que se elimina el pelambre se recomienda un proceso combinado de tratamiento fisicoquímico por ejemplo flotación por aire disuelto acoplado a un proceso de oxidación avanzada tales como UV/Ozono, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Ozono/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Fenton y fotofenton seguido de un proceso biológico no</p> |
| <p><b>2. Microtamizadores en malas condiciones de operación y mantenimiento.</b></p> <p>Estos equipos por el ambiente corrosivo, su sistema mecánico se encuentra atascado y en malas condiciones de operación.</p>                  |   |
| <p><b>3. Desarenadores-desgrasadores fuera de operación.</b></p>   |   |

| Causa  | Recomendación  |
|--|--|
| <p>Los desarenadores-desgrasadores solo funcionan como tanques de paso. Se encuentran saturados de sólidos.</p>  | <p>convencional con microorganismos adaptados al agua residual por ejemplo con bacterias</p>   |
| <p><b>4. Tanques de homogeneización 1 y 2 fuera de operación.</b></p> <p>Solo funcionan como tanques de paso. Las propelas fuera de operación y en mal estado. Difusores de burbuja fina con daños permanentes.</p>  | <p>halotolerantes. o la aplicación de reactores aerobios de lecho móvil. Como etapa final o de post-tratamiento se recomienda un proceso de adsorción con carbón activado.</p> |
| <p><b>5. Clarifloculadores en malas condiciones de operación y mantenimiento.</b></p> <p>Rastras y vertederos desnivelados. Los materiales con los que están contruidos se encuentran en avanzado estado de corrosión. Alta acumulación de sólidos químicos en la superficie y en el fondo de los tanques.</p> |  |
| <p><b>6. Módulos de oxidación biológica fuera de operación (primera etapa).</b></p> <p>Solo funcionan como tanques de paso. Debido a la toxicidad del agua residual no hay presencia de microorganismos aerobios.</p>  |  |
| <p><b>7. Módulos de oxidación biológica (segunda etapa) operando solo con aireación.</b></p> <p>Debido a la toxicidad del agua no hay presencia de microorganismos. Solo se inyecta aire para la desorción de los sulfuros.</p>  |  |
| <p><b>8. Sedimentadores secundarios en malas condiciones de operación y mantenimiento.</b></p> <p>Vertederos desnivelados en avanzado estado de corrosión.</p>   |  |

## 7.2.2 Nivel II

| <b>Causa</b>                                     | <b>Recomendación</b>   |
|--|--|
| <b>1.</b> Capacitación al personal de operación. | Aunque el personal de SAPAL se capacita constante es necesario capacitarse en temas de tratamiento fisicoquímicos, procesos biológicos, procesos de oxidación avanzada, operación de procesos fisicoquímicos, procesos biológicos, características de las aguas residuales industriales. |

## 7.3 RESUMEN

### 14) Título de concesión de descarga

- d) No se cuenta con un título de descarga ya que el efluente se envía a la PTAR Municipal donde se mezcla con agua residual municipal.

### 15) Memoria de cálculo

- a) No se proporcionó memoria de cálculo de la PTAR, por lo que no se conocen los parámetros utilizados para el diseño de la PTAR. Las dimensiones, geometrías y profundidades de las unidades de proceso se midieron en campo y corresponden con las dimensiones de los planos entregados.

### 16) Información histórica de calidad del agua

- a) Se proporcionó información que se reportó a la Comisión Nacional del Agua entre los años 2018 y 2021.
- b) La PTAR en este periodo ha operado a un 50% del caudal de diseño, que es de 150 L/s.
- c) El efluente de la planta municipal, de acuerdo con los datos históricos, no cumple con los límites máximos permisibles de descarga de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996 en los siguientes parámetros: sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno y nitrógeno total.
- d) La planta municipal tampoco cumple con los límites permisibles de DQO, DBO, SST y NT de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021. También la concentración de cromo y mercurio presentan valores máximos muy cercanos y/o superiores a los límites de descarga de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y 2021.

### 17) Información del Proceso

- a) Los análisis rutinarios del influente y efluente de la PTAR de Desbaste se realizan en el laboratorio acreditado de SAPAL con el que cuenta SAPAL, por lo que se realizan análisis de todos los parámetros requeridos en las condiciones particulares de descarga de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 y de la NOM-001-SEMARNAT-2021 excepto COT, toxicidad, color verdadero, *E. coli* y Enterococos fecales.
- b) El programa de operación y mantenimiento incluye los procesos de tratamiento, equipo electromecánico, sistemas de control, telemetría e instrumentación, subestación eléctrica etc.
- c) Se cuenta con la documentación del historial de mantenimientos preventivos y correctivos realizados durante el último año de operación en la PTAR.

- d) Se cuenta con las bitácoras de operación y mantenimiento.
- e) Se cuenta con un manual de operación y mantenimiento.

### **18) Funcionamiento de la PTAR**

- a) El estado de la obra civil del pre-desbaste se encuentra en malas condiciones con corrosión en sus estructuras civiles y metálicas
- b) Las rejillas gruesas y finas se encuentran con un estado de corrosión avanzada
- c) Los canales y el cárcamo de bombeo se encuentran saturados de sólidos y pelambre.
- d) El equipo de bombeo se encuentra en malas condiciones de operación
- e) Los microtamizadores se encuentran funcionando parcialmente. Los motoredutores se encuentra deteriorados.
- f) Los desarenadores-desgrasadores se encuentran fuera de operación.
- g) La conducción del agua residual entre los microtamizadores a los tanques de homogeneización 1 se realiza a través de una tubería externa provisional.
- h) Las estructuras metálicas de los tanques de homogeneización 1 se encuentran con un estado de corrosión avanzada.
- i) Existe una alta acumulación de sólidos en los tanques de homogeneización 1.
- j) Las propelas que se encuentran en los tanques de homogeneización 1 se encuentra fuera de operación.
- k) No hay inyección de aire en los tanques de homogeneización y los difusores de burbuja fina se encuentran cristalizados.
- l) Los microtamizadores de menor tamaño de malla se encuentra fuera de operación.
- m) Los tanques de homogeneización 2 así como sus equipos electromecánicos se encuentran fuera de operación.
- n) Los tanques de coagulación y floculación se encuentran operando de manera eficiente.
- o) Los tres clarifloculadores no trabajan de manera eficiente. Las rastras y vertederos se encuentran desnivelados. Los materiales de construcción de las rastras y vertederos se encuentran muy deteriorados con un avanzado estado de corrosión.
- p) Hay presencia de lodos químicos flotantes y lodos químicos acumulados en el fondo de los clarifloculadores.
- q) El cárcamo de bombeo de encuentra saturado de lodos químicos.
- r) Todos los módulos de oxidación biológica de la primera etapa se encuentran fuera de operación. No hay inyección de aire

- s) La conducción del agua residual hacia los segundos módulos de oxidación biológica (segunda etapa) se realiza de manera provisional con tuberías flexibles.
- t) Los módulos de oxidación biológica de la segunda etapa dos se encuentran en operación y uno se encuentra fuera de operación.
- u) No hay microorganismos en los módulos de oxidación biológica de la segunda etapa.
- v) Los sedimentadores secundarios se encuentran en buen estado, sin embargo, las rastras se encuentran desniveladas.
- w) La remoción de los contaminantes DBO<sub>5</sub>, DQO, COT, SST, GyA, N-NH<sub>3</sub>, N-NT, NTK, sulfatos, cloruros totales, color verdadero, la toxicidad se disminuyen gradualmente a través de las diferentes unidades de tratamiento obteniéndose remociones entre 73.1 y 95.5% siendo, los tanques de homogeneización, coagulación-floculación y los módulos de oxidación biológica en donde se consiguen las mayores remociones de los contaminantes.
- x) La PTAR no es capaz de remover los sulfuros, PT y los Enterococos fecales.
- y) El cromo uno de los principales contaminantes se remueve un 95.1%, sin embargo, sus concentraciones en el efluente de la PTAR no cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- z) Los metales pesados tales como el Cd, Cu, Ni y Pb se remueven por arriba del 11.7%

## **19) Muestreo**

- a) Se realizó un muestreo compuesto de 24 h al influente y efluente general de la PTAR, considerando los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y de la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- b) Otros parámetros tales como cloruros totales, conductividad eléctrica, cromo hexavalente, sulfatos, sulfuros, N-NH<sub>3</sub>, NTK, fueron analizados en el muestreo compuesto y muestreo simple.
- c) El caudal de operación de la PTAR se encuentra entre 73 a 87 L/s con un promedio de 82.3 L/s.
- d) Para la NOM-001-SEMARNAT-1996, los parámetros que no cumplieron fueron los sólidos sedimentables, GyA, SST, DBO, NT y cromo.
- e) Para la NOM-001-SEMARNAT-2021, los parámetros que no cumplieron fueron GyA, SST, NT, cromo, COT, Enterococos fecales, color verdadero a una longitud de onda de 436 nm y toxicidad.

## **20) Influencia industrial**

- a) Se tiene un total de 3,410 industrias en la Cd. De León Gto. de las cuales 733 son industrias de Tenerías.
- b) La relación DQO/DBO del influente de la PTAR fue de 2.18 indicando que es biodegradable, sin embargo, como la concentración de cloruros es muy alta, la técnica para el análisis de la DQO se interfiere, por lo tanto, en este caso la relación DQO/DBO no se aplica para determinar la biodegradabilidad del agua residual que entra a la PTAR. Se pudo determinar que existe una influencia industrial muy alta ya que las concentraciones de los diferentes contaminantes fueron altas en el influente. Asimismo, las unidades de toxicidad en el influente en las seis muestras simples fueron entre 363.6 y 595.2, los cuales son valores muy altos que demuestran la influencia industrial en el agua residual que llega a la PTAR “Desbaste”.

## **21) Evaluación de conocimientos**

- a) El personal directivo de la PTAR presenta buenas bases en conocimiento básico y generales, sin embargo, los conocimientos técnicos son deficientes en algunos temas.
- b) Los operadores conocen bien la PTAR y en general tienen conocimientos técnicos sobre el proceso de tratamiento.
- c) Se entregó material didáctico para solventar un poco la problemática.

## **22) Seguridad**

- a) La PTAR cuenta con todas las medidas de seguridad incluyendo la de espacios confinados.
- b) Existe dentro de la PTAR disposiciones de seguridad tales como, el uso de equipo de protección personal, elementos de protección respiratoria, así como para contingencia COVID-19.
- c) Se cuenta con brigadas de evacuación, de primeros auxilios y prevención, así como de combate a incendios, búsqueda y rescate, así como una brigada multifuncional y de atención de derrames químicos.
- d) La PTAR cuenta con enfermería, médico en las instalaciones, paramédico y un plan de movilización de personal al centro de atención hospitalaria más cercano, que se encuentra a menos de 4 km.

## **23) Laboratorio**

- a) La PTAR cuenta con un laboratorio de análisis acreditado (pertenece al SAPAL) que realiza todos los análisis para los



parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021 excepto para el COT, toxicidad, color verdadero, *E. coli* y Enterococos fecales por lo que presta servicios de análisis de agua residual y potable a todas las instalaciones que dependen de este sistema de administración de agua

**24) Causas que limitan el desempeño de la PTAR**

- a) Pre-desbaste en malas condiciones de operación y mantenimiento.
- b) Microtamizadores en malas condiciones de operación y mantenimiento.
- c) Desarenadores-desgrasadores fuera de operación.
- d) Tanques de homogeneización 1 y 2 fuera de operación.
- e) Clarifloculadores en malas condiciones de operación y mantenimiento.
- f) Módulos de oxidación biológica fuera de operación (primera y segunda etapa).
- g) Sedimentadores secundarios en malas condiciones de operación y mantenimiento.

## 8 CONCLUSIONES

Actualmente, la PTAR “Desbaste” se encuentra en un proceso de reconfiguración en la cual solo se conoce que se va a sustituir el proceso de coagulación-floculación por un proceso de flotación por aire disuelto. No se pudo obtener información a detalle sobre la reingeniería de la PTAR.

De acuerdo a los muestreos realizados en la PTAR, los parámetros que no cumplieron con los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996, fueron los sólidos sedimentables, GyA, SST, DBO, NT y cromo. Para la NOM-001-SEMARNAT-2021, los parámetros que no cumplieron fueron GyA, SST, NT, cromo, COT, Enterococos fecales, color verdadero a una longitud de onda de 436 nm y toxicidad.

Se demostró que el agua residual que llega a la PTAR presenta un gran aporte industrial principalmente por industrias de Curtiembres y Tenerías. Una alta concentración de diferentes contaminantes tales como DQO, DBO, COT, SST, GyA, cromo, metales pesados, cloruros, conductividad eléctrica, sulfatos, N-NT, NTK, N-NH<sub>3</sub>, y Enterococos fecales fueron encontrados en el influente de la PTAR generando altas toxicidades en el agua residual.

En las condiciones actuales, la PTAR remueve considerablemente la mayoría de los contaminantes (incluyendo el cromo), sin embargo, las concentraciones de estos contaminantes en el efluente siguen siendo altas generándose altas toxicidades las cuales pueden afectar a los cuerpos receptores y/o a los procesos biológicos posteriores.

Con el objetivo de dar cumplimiento con la NOM-001-SEMARNAT-2021 y/o disminuir la carga de contaminantes y toxicidades y tomando en cuenta de que ya se tiene con un proyecto de reingeniería (y que está en construcción) se recomienda que en el proyecto de reingeniería actual se contemple con un sistema de pretratamiento eficaz que contemple rejillas gruesas y finas con materiales resistentes a la corrosión seguida por microtamizadores de tambor rotatorios con un tamaño de malla entre 100 y 300 µm. Una vez que se eliminan los sólidos y el pelambre, se recomienda un proceso combinado de tratamiento fisicoquímico por ejemplo flotación por aire disuelto acoplado a un proceso de oxidación avanzada que pudiera ser UV/Ozono, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Ozono/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Fenton y fotoFenton seguido de un proceso biológico no convencional con microorganismos adaptados al agua residual por ejemplo con bacterias halotolerantes y/o la aplicación de reactores aerobios de lecho móvil. Como etapa final o de post-tratamiento se recomienda un proceso de adsorción con carbón activado. Es importante hacer la selección de los mejores agentes coagulantes y floculantes en el proceso



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



fisicoquímico que garantice una mayor eliminación de los contaminantes. Tomado en cuenta estas recomendaciones se puede garantizar un efluente con mayor calidad de agua disminuyéndose los efectos tóxicos hacia los cuerpos receptores o disminución de la carga de contaminantes para los procesos de tratamiento posteriores.

## **PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

### **PROYECTO NO.309621**

**“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA”**

**DIAGNÓSTICO DE LA PTAR**

**“EL AHOGADO”**

**TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA, JALISCO**

## ÍNDICE

|        |  |      |
|--------|--|------|
| 1      | INFORMACIÓN DE LA PTAR .....   | 1164 |
| 1.1    | Datos generales.....   | 1164 |
| 1.2    | Ubicación.....   | 1165 |
| 1.3    | Descripción del proceso .....  | 1166 |
| 2      | REVISIÓN DOCUMENTAL .....  | 1168 |
| 2.1    | Planos.....  | 1168 |
| 2.2    | Permiso de descarga .....  | 1168 |
| 2.3    | Análisis de la memoria de cálculo.....                               | 1171 |
| 2.4    | Análisis de la información histórica de calidad del agua .....       | 1171 |
| 2.4.1  | Caudal.....  | 1172 |
| 2.4.2  | Características del Influyente .....                                 | 1173 |
| 2.4.3  | Temperatura.....   | 1174 |
| 2.4.4  | pH.....  | 1175 |
| 2.4.5  | Coliformes fecales y huevos de helminto.....                         | 1176 |
| 2.4.6  | Grasas y Aceites .....   | 1177 |
| 2.4.7  | Materia flotante .....   | 1177 |
| 2.4.8  | Sólidos sedimentables.....   | 1177 |
| 2.4.9  | Sólidos suspendidos totales.....                                     | 1177 |
| 2.4.10 | Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) .....              | 1178 |
| 2.4.11 | Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....                               | 1179 |
| 2.4.12 | Nitrógeno total (NT) .....   | 1180 |
| 2.4.13 | Fósforo total (PT) .....   | 1182 |
| 2.4.14 | Metales pesados y cianuros.....                                      | 1182 |
| 2.4.15 | Resumen de calidad del agua del PTAR de El Ahogado (2018-2021). 1183 |      |
| 2.5    | Análisis de la información del Proceso.....                          | 1188 |
| 2.5.1  | Análisis rutinarios .....  | 1188 |

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 2.5.2 | Manual de operación.....   | 1188 |
| 2.5.3 | Reportes de operación (bitácoras) .....                              | 1189 |
| 2.5.4 | Mantenimiento.....   | 1190 |
| 3     | ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR.....                     | 1191 |
| 3.1   | Descripción de las unidades de proceso .....                         | 1191 |
| 3.1.1 | PRETRATAMIENTO.....  | 1191 |
| 3.1.2 | SEDIMENTACIÓN PRIMARIA.....  | 1196 |
| 3.1.3 | SISTEMA DE TRES ETAPAS PARA LA REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NUTRIENTES..... | 1197 |
| 3.1.4 | SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA.....  | 1200 |
| 3.1.5 | DESINFECCIÓN CON LUZ ULTRAVIOLETA.....                               | 1201 |
| 3.1.6 | AGUA DE SERVICIOS .....  | 1202 |
| 3.1.7 | SISTEMA DE CONTROL DE OLORES.....                                    | 1205 |
| 3.2   | Estado de las unidades de proceso .....                              | 1207 |
| 3.2.1 | Pretratamiento.....  | 1207 |
| 3.2.2 | Sedimentadores primarios.....  | 1211 |
| 3.2.3 | Sistema de tres etapas para la remoción biológica de nutrientes      | 1213 |
| 3.2.4 | Sedimentadores secundarios .....                                     | 1217 |
| 3.2.5 | Desinfección con Luz UV .....  | 1219 |
| 3.3   | Muestreo y calidad del agua residual.....                            | 1240 |
| 3.3.1 | Resultados del muestreo compuesto .....                              | 1241 |
| 3.3.2 | Resultados de muestreo simple .....                                  | 1247 |
| 3.3.3 | Influencia industrial.....   | 1253 |
| 4     | DIAGNÓSTICO DE PERSONAL.....   | 1254 |
| 4.1   | Recursos Humanos.....  | 1254 |
| 4.2   | Evaluación de conocimientos .....                                    | 1254 |
| 4.3   | Capacitación .....   | 1255 |
| 4.3.1 | Cursos de capacitación recibidos.....                                | 1255 |
| 4.3.2 | Temas de capacitación solicitados .....                              | 1255 |

|       |   |      |
|-------|---|------|
| 4.3.3 | Material didáctico entregado .....              | 1255 |
| 5     | SEGURIDAD E HIGIENE .....                       | 1270 |
| 6     | LABORATORIO.....                                | 1271 |
| 7     | CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR..... | 1272 |
| 7.1   | Causas.....                                     | 1272 |
| 7.2   | Descripción de la causa y recomendaciones.....  | 1273 |
| 7.2.1 | Nivel I .....                                   | 1273 |
| 7.2.2 | Nivel 2.....                                    | 1274 |
| 7.2.3 | Nivel 3.....                                    | 1274 |
| 7.3   | RESUMEN.....                                    | 1274 |
| 8     | CONCLUSIONES.....                               | 1278 |

## TABLAS

|   |      |
|---|------|
| Tabla 1. Datos generales .....  | 1164 |
| Tabla 2. Ubicación y contacto .....   | 1165 |
| Tabla 3. Condiciones particulares y Norma 001-Semarnat-2021 para la descarga de aguas residuales .....              | 1170 |
| Tabla 4. Características promedio del influente a la PTAR .....   | 1174 |
| Tabla 5. Comportamiento de los metales pesados durante 2018-2021.....   | 1182 |
| Tabla 6. Resumen de la calidad del efluente de la PTAR de El Ahogado.   | 1186 |
| Tabla 7. Carga hidráulica superficial actual en los sedimentadores primarios .....                                  | 1212 |
| Tabla 8. TRH de operación de los reactores biológicos .....   | 1216 |
| Tabla 9. Carga hidráulica superficial actual en los sedimentadores primarios .....                                  | 1219 |
| Tabla 10. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua .....                                   | 1240 |
| Tabla 11. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT 1996 y 2021. .... | 1242 |
| Tabla 12. Eficiencia de remoción de los principales contaminantes en la PTAR de Zaragoza.....                       | 1244 |
| Tabla 13. Resultados del muestreo simple en los puntos seleccionados  | 1247 |
| Tabla 14. Toxicidad aguda en el efluente del clarificador secundario .....  | 1253 |
| Tabla 15. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR .....                                      | 1272 |



## FIGURAS

|   |      |
|---|------|
| Figura 1. Tren de tratamiento de la PTAR EL AHOGADO (Elaboración propia)                        | 1167 |
| Figura 2. Sitio de descarga del Efluente de la PTAR   | 1169 |
| Figura 3. Datos históricos de caudal en la PTAR (2018 - 2021)                                   | 1173 |
| Figura 4. Caudal promedio, máximo y mínimo PTAR (2018-2021)                                     | 1173 |
| Figura 5. Datos históricos de temperatura en el efluente de la PTAR (2019-2021)                 | 1175 |
| Figura 6. Datos de pH del efluente de la PTAR (2020-2021)                                       | 1176 |
| Figura 7. Datos históricos de sólidos suspendidos totales en el efluente de la PTAR (2018-2021) | 1178 |
| Figura 8. Datos históricos de DBO en el efluente de la PTAR (2019-2021)                         | 1179 |
| Figura 9. Datos históricos de DQO en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)                       | 1180 |
| Figura 10. Datos históricos de nitrógeno total en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)          | 1181 |
| Figura 11. Datos históricos de NTK en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)                      | 1182 |
| Figura 12. Datos históricos de fósforo total en el efluente de la PTAR (2019 - 2021)            | 1182 |
| Figura 13. Pre-desbate  | 1191 |
| Figura 14. Bombeo de agua cruda   | 1192 |
| Figura 15. Cribado grueso   | 1193 |
| Figura 16. Cribas finas   | 1194 |
| Figura 17. Diagrama general rejillas gruesas y finas  | 1194 |
| Figura 18. Diagrama de flujo del sistema de desarenado  | 1195 |
| Figura 19. Sistema de desarenado-desengrasado   | 1196 |
| Figura 20. Sistema de tratamiento primario  | 1197 |
| Figura 21. Sistema de remoción biológica de nutrientes  | 1199 |
| Figura 22. Sistema de remoción biológica de nutrientes  | 1199 |
| Figura 23. Sedimentadores secundarios   | 1201 |

|   |      |
|---|------|
| Figura 24. Sistema de desinfección con luz ultravioleta.....  | 1202 |
| Figura 25. Agua de servicios .....  | 1204 |
| Figura 26. Tren de tratamiento de lodos residuales (elaboración propia)<br>.....                            | 1205 |
| Figura 27. Pre-desbaste en condiciones actuales.....  | 1208 |
| Figura 28. Rejillas gruesas .....   | 1208 |
| Figura 29. Rejillas finas .....   | 1209 |
| Figura 30. Canal Parshall .....   | 1209 |
| Figura 31. Desarenadores-Desgrasadores.....   | 1210 |
| Figura 32. Clasificador de arenas fuera de operación. ....  | 1210 |
| Figura 33. Tanque de grasas y aceites fuera de operación .....  | 1211 |
| Figura 34. Sedimentadores primarios .....   | 1212 |
| Figura 35. Sedimentadores primarios .....   | 1212 |
| Figura 36. Caja de amortiguamiento .....  | 1213 |
| Figura 37. Reactores anaerobios con exceso de turbulencia.....  | 1214 |
| Figura 38. Presencia de zonas muertas en los reactores anaerobios .....                                     | 1214 |
| Figura 39. Reactores anóxicos.....  | 1215 |
| Figura 40. Reactores aerobios.....  | 1216 |
| Figura 41. Sensores colocados en los reactores aerobios.....  | 1216 |
| Figura 42. Desnivelación y falta de vertederos en los sedimentadores<br>secundarios.....                    | 1219 |
| Figura 43. Sistema de desinfección UV.....  | 1220 |
| Figura 44. Descarga final del agua residual tratada de la PTAR El Ahogado.<br>.....                         | 1221 |
| Figura 45. Sensores colocados en la descarga final de la PTAR El Ahogado<br>.....                           | 1221 |
| Figura 46. Puntos de muestreo seleccionados en la PTAR El Ahogado...1240                                    |      |
| Figura 47. Concentración de GyA en el influente y efluente de la PTAR de El<br>Ahogado .....                | 1244 |
| Figura 48. Variación de los CF y E. coli en el influente y descarga final de la<br>PTAR de El Ahogado ..... | 1245 |

|   |      |
|---|------|
| Figura 49. Toxicidad en el influente y efluente de la PTAR El Ahogado ..    | 1247 |
| Figura 50. Comportamiento de parámetros en el módulo A .....                | 1249 |
| Figura 51. Comportamiento de parámetros en el módulo B.....                 | 1250 |
| Figura 52. Comportamiento de parámetros en el módulo C .....                | 1251 |
| Figura 53. Comportamiento de parámetros en el módulo D.....                 | 1252 |
| Figura 54. Portada de los manuales.....                                     | 1257 |
| Figura 55. Infografías.....   | 1262 |
| Figura 56. Manual de ejercicios prácticos.....                              | 1263 |
| Figura 57. Kit de figuras.....  | 1268 |
| Figura 58. Entrega de material didáctico.....                               | 1268 |
| Figura 59. Entrega y recepción de materiales de apoyo técnico impreso ..... | 1269 |
| Figura 60. Equipo de protección personal y atención de emergencias ..       | 1270 |
| Figura 61. Laboratorio de análisis .....                                    | 1271 |

## 27 INFORMACIÓN DE LA PTAR

### 27.1 Datos generales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de El Ahogado está ubicada en La Alameda en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. Fue construida en los años de 2009-2012. La PTAR recibe parte de las aguas residuales que se generan en la zona metropolitana de Guadalajara y que comprende los municipios de Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, el Salto y Tlajomulco de Zúñiga, dando servicio de tratamiento de aguas residuales al 18.6% de la población de la ZMG (840,000 habitantes)

La PTAR tiene una capacidad para tratar 2.25 m<sup>3</sup>/s y está diseñada para tratar un gasto máximo de 4.0 m<sup>3</sup>/s. La calidad del efluente permite descargar el agua a un cuerpo receptor tipo “B”. El agua tratada se envía ya sea a la presa El Ahogado y/o al cárcamo de bombeo de la CEA.

Los lodos generados se tratan por digestión anaerobia y generan el 80% de la electricidad que requiere la planta para su operación. Se producen 178 toneladas de biosólidos secos por día. Una parte se utiliza como mejorador de suelo y otra parte se deposita en un mono relleno. En la Tabla 193 se presentan algunos datos generales de la PTAR (tomados del Anexo I, el cual contiene los formatos con la información obtenida en campo, procesada y corregida).

**Tabla 207. Datos generales**

| <b>Datos generales</b>                           |  |                            |  |
|--|--|----------------------------|--|
| <b>Año de construcción</b>                       | <b>2009-2012</b>   | <b>Inicio de operación</b> | <b>2012</b>  |
| <b>Municipios de los cuales recibe descargas</b> | <b>Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, El Salto y Tlajomulco de Zúñiga.</b>                            | <b>Población servida</b>   | <b>Aprox. 840,000 hab.</b>   |
| <b>Actualización más reciente</b>                | <b>Se realizaron modificaciones al canal de llegada y distribución del influente a la planta</b> | <b>Tipo de tratamiento</b> | <b>Biológico con remoción de nutrientes, digestión anaerobia de lodos y sistema de cogeneración de energía</b> |

| <b>Datos generales</b> |  |                    |  |
|------------------------|--|--------------------|--|
| Gasto de diseño        | <b>Flujo promedio: 2,250 L/s</b><br><b>Flujo máximo instantáneo: 4,050 L/s</b> | Gasto de operación | <b>2,149 L/s</b><br><b>(promedio 2021)</b> |

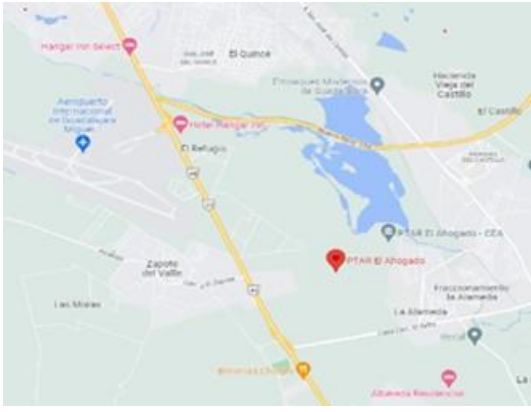
Fuente:

[http://info.ceajalisco.gob.mx/notas/documentos/presentacion\\_ejecutiva\\_ptar\\_ahogado.pdf](http://info.ceajalisco.gob.mx/notas/documentos/presentacion_ejecutiva_ptar_ahogado.pdf)

## 27.2 Ubicación

La PTAR “EL AHOGADO” se encuentra ubicada en Camino Viejo a los Laureles 184, La Alameda, en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. La PTAR es operada por la empresa Atlatec y se encuentra a cargo de Ing. Roberto Villanueva Camacho. En la Tabla 2 se presentan los datos de ubicación y de contactos de la PTAR.

**Tabla 208. Ubicación y contacto**

| <b>Ubicación</b>   |   |  |                             |
|--------------------|---|--|-----------------------------|
| Nombre de la PTAR  | <b>EL ahogado</b>                                   |  |                             |
| Calle y número     | <b>Camino Viejo a los Laureles 184, La Alameda.</b> |  |                             |
| Colonia y C.P.     | <b>C.P. 45679</b>                                   |  |                             |
| Municipio y estado | <b>Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco</b>                |  |                             |
| Coordenadas        | <b>20.51097, -103.25591</b>                         |  |                             |
| <b>Contacto</b>    |   |  |                             |
| Nombre             | <b>Ing. Roberto Villanueva Camacho</b>              | Puesto   | <b>Encargado de la PTAR</b> |
| Correo electrónico | <b>Roberto.villanueva@mitinfra.com</b>              | Teléfono   |                             |

### 27.3 Descripción del proceso

La PTAR EL AHOGADO trata aproximadamente el 18% del agua residual generada en la zona metropolitana de Guadalajara. Tiene una capacidad promedio para tratar 2,250 L/s y una capacidad máxima de 4,000 L/s. Es una planta de tratamiento secundario para aguas residuales municipales. Tiene un proceso de lodos activados diseñada para remover nutrientes (nitrógeno y fósforo). El lodo que se genera durante el proceso de tratamiento cuenta con un sistema completo para la generación de biogás. Este se produce por digestión anaerobia mesofílica. El biogás obtenido pasa por un sistema de limpieza para remover humedad y sulfuros y siloxanos. Después por medio de una unidad de cogeneración produce energía eléctrica que se utiliza para calentar el reactor y suministrar energía algunos equipos de la planta. El agua tratada se envía a la presa el Ahogado y posteriormente descarga en el río Santiago.

El proceso de tratamiento del agua residual está formado por las siguientes etapas:

- Pre-desbaste
- Bombeo de agua cruda
- Cribado grueso.
- Cribado fino.
- Equipos combinados de desarenado - desengrasado.
- Sedimentación primaria.
- Reactor anaerobio para remoción biológica de fósforo
- Reactor anóxico para remoción de nitrógeno
- Reactor aeróbico.
- Sedimentación secundaria.
- Desinfección con luz ultravioleta
- Servicios auxiliares: Filtros multimedia para agua de dilución de polímero y biofiltro para control de olores.

En la Figura 541 se presenta un diagrama de flujo general del proceso de tratamiento del agua residual. Tiene como característica principal la remoción de nutrientes, la cual se realiza por medio de un proceso biológico con fases anaerobias, anóxicas y aerobias que permiten la remoción de fósforo, nitrógeno y materia orgánica.

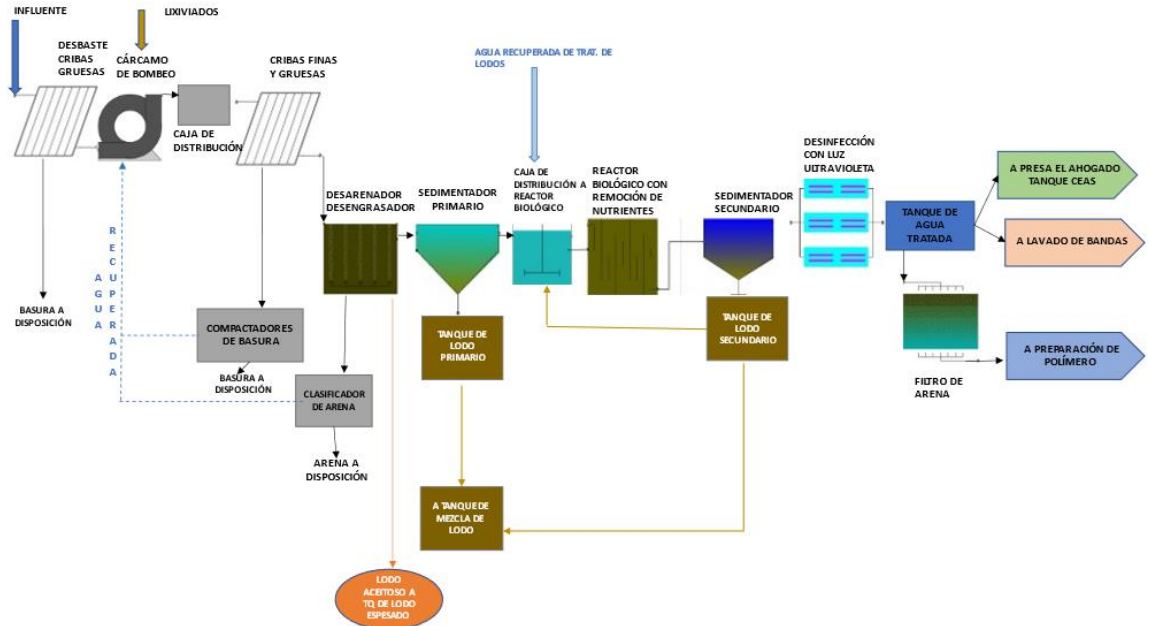


Figura 589. Tren de tratamiento de la PTAR EL AHOGADO (Elaboración propia)

## **28 REVISIÓN DOCUMENTAL**

Se recopilaron 169 archivos de información relacionados a la PTAR El Ahogado

29. Planos
30. Memoria de cálculo
31. Manual de operación
32. Manual de mantenimiento
33. Manuales y garantías de equipos
34. Bitácoras de operación
35. Bitácoras de mantenimiento
36. Programa de mantenimiento
37. Datos históricos de calidad del agua
38. Análisis de calidad del agua de cumplimiento ante Conagua
39. Permiso de descarga

### **28.1 Planos**

Se entregaron archivos con los siguientes planos:

Plano general (1), planos funcionales (32), planos arquitectónicos (3), planos hidráulicos (1).

### **28.2 Permiso de descarga**

El permiso de descarga para las PTARM de Jalisco se encuentra en el mismo documento expedido por la Comisión Nacional del Agua, para el Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico.

Número de expediente: JAL-O-0347-03-03-16

Número de Resolución: JAL125681/18

Título de Concesión número: 08JAL125681/12HSOC10, que autoriza la explotación, usar o aprovechar aguas nacionales superficiales y descargar aguas residuales de tipo municipal. Este Título se actualizó mediante una prórroga de 10 años a partir del 3 de septiembre de 2016 hasta el 4 de septiembre de 2026. Dicha prórroga aparece en:

Número de expediente: JAL-O-0347-03-03-16

Número de Resolución: JAL125681/18

En el anexo 4.1 con título Número: 08JAL125681/12HSDA18 se encuentran las condiciones específicas y particulares para el permiso de tres descargas



de aguas residuales. Identificándose por el caudal de descarga a la PTAR el ahogado, la cual aparece como DESCARGA DOS DE TRES

TÍTULO NÚMERO: 08JAL125681/12HSDA18 para tres descargas

EL AHOGADO (NÚMERO DE DESCARGA DOS DE TRES)

MUNICIPIO: ZAPOPAN

Volumen de descarga 194,400 m<sup>3</sup>/d, 8,100 m<sup>3</sup>/h, 2,250 L/s

Cuerpo receptor. Río Santiago

Coordenadas

Latitud norte: 20°47'5.0"

Latitud Oeste: 103°19'29.0"



**Figura 590. Sitio de descarga del Efluente de la PTAR**

Las condiciones particulares de descarga a la que deberán sujetarse las aguas residuales tratadas procedentes de la PTAR DEL AHOGADO, Jalisco, aparecen en la Tabla 195

**Tabla 209. Condiciones particulares y Norma 001-Semarnat-2021 para la descarga de aguas residuales**

| Parámetro   | Condiciones Particulares de Descarga (NOM-001-SEMARNAT-1996) C.R. Tipo B |               | Carga (kg/d) | NOM-001-Semarnat-2021 (Ríos, arroyos, canales, drenes) |               |                          | Unidades             |
|---|--|---------------|--------------|--|---------------|--------------------------|----------------------|
|   | Concentración promedio   |               |              | Concentración promedio                                 |               |                          |                      |
|   | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) |              | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) | Valor Instantáneo (V.I.) |                      |
| Temperatura                                       | 40   | 40            | N.A.         | 35   | 35            | 35                       | °C                   |
| Grasas y Aceites (GyA)                            | 15   | 25            | 18,360       | 15   | 18            | 21                       | mg/L                 |
| Materia flotante                                  | Ausente  | Ausente       | NA           | NA   | NA            | NA                       | Ausencia / presencia |
| Sólidos sedimentables                             | 1  | 2             | NA           | NA   | NA            | NA                       | ml/l                 |
| Sólidos suspendidos totales (SST)                 | 75.00  | 125           | 91,800       | 60   | 72            | 84                       | mg/L                 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | 75.00  | 150           | 91,800       | NA   | NA            | NA                       | mg/L                 |
| Demanda Química de Oxígeno(DQO)                   | NA   | NA            | NA           | 150  | 180           | 210                      | mg/L                 |
| Carbón Orgánico Total(COT)                        | NA   | NA            | NA           | 38   | 45            | 53                       | mg/L                 |
| Nitrógeno Total (NT)                              | 40   | 60            | NA           | 25   | 30            | 35                       | mg/L                 |
| Fósforo Total (PT)                                | 20   | 30            | NA           | 15   | 18            | 21                       | mg/L                 |
| Huevos de Helmintos                               | <5   | <5            | NA           | NA   | NA            | NA                       | huevos/litro         |
| Coliformes fecales                                | 1,000  | 2,000         | NA           | NA   | NA            | NA                       | NMP/100 ml           |
| <i>Escherichia Coli</i>                           | NA   | N.A           | NA           | 250  | 500           | 600                      | NMP/100 ml           |
| <i>Enterecocos fecales</i>                        | NA   | NA            | NA           | 250  | 400           | 500                      | NMP/100 ml           |
| pH  | 5-10   | 5-10          | NA           | 6-9  | 6-9           | 6-9                      | UpH                  |
| Arsénico Total (As)                               | 0.1  | 0.2           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4                      | mg/L                 |
| Cadmio Total (Cd )                                | 0.1  | 0.2           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4                      | mg/L                 |
| Cianuro Total (CN )                               | 1  | 2             | NA           | 1  | 2             | 3                        | mg/L                 |
| Cobre Total (Cu)                                  | 4  | 6             | NA           | 4  | 5             | 6                        | mg/L                 |
| Cromo Total (Cr)                                  | 0.5  | 1             | NA           | 1  | 1.25          | 1.5                      | mg/L                 |

|  |       |      |    |                                  |       |  |                      |
|--|-------|------|----|----------------------------------|-------|--|----------------------|
| Mercurio Total (Hg)  | 0.005 | 0.01 | NA | 0.01                             | 0.015 | 0.02                                       | mg/L                 |
| Níquel Total (Ni)  | 2     | 4    | NA | 2                                | 3     | 4  | mg/L                 |
| Plomo Total (Pb)   | 0.2   | 0.4  | NA | 0.2                              | 0.3   | 0.4  | mg/L                 |
| Zinc Total (Zn)  | 10    | 20   | NA | 10                               | 15    | 20   | mg/L                 |
| Color Verdadero  | NA    | NA   | NA | Longitud de onda                 |       | Coefficiente de absorción espectral máximo | NA                   |
|  | NA    | NA   | NA | 436 nm                           |       | 7,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup> |
|  | NA    | NA   | NA | 525 nm                           |       | 5,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup> |
|  | NA    | NA   | NA | 620 nm                           |       | 3,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup> |
| Toxicidad Aguda  | NA    | NA   | NA | 2 a los 15 minutos de exposición |       | UT   |                      |
| C.R. Cuerpo receptor, N.A: No Aplica, P.M: Promedio Mensual, P.D: Promedio Diario, V.I: Valor Instantáneo, NMP: Número más probable, UpH: Unidades de pH, UT: Unidades de Toxicidad  |       |      |    |                                  |       |  |                      |
| * Si Cloruros es menor a 1000 mg/L se analiza y reporta DQO. * Si Cloruros es mayor o igual a 1000 mg/L se analiza y reporta COT. * Si la conductividad eléctrica menor a 3500 µS/cm se analiza y reporta E. coli. * Si la conductividad eléctrica es mayor o igual a 3500 µS/cm se analiza y reporta Enterococos fecales. Las determinaciones de Conductividad eléctrica y de Cloruros no requieren la acreditación y aprobación de la entidad correspondiente. |       |      |    |                                  |       |  |                      |

### 28.3 Análisis de la memoria de cálculo

La PTAR suministró las memorias de cálculo de los clarificadores secundarios, espesamiento, deshidratación y del tratamiento biológico.

### 28.4 Análisis de la información histórica de calidad del agua

A continuación, se presenta un análisis de los parámetros que fueron reportados a la Comisión Nacional del Agua para demostrar el cumplimiento de la CPDs. Estos datos abarcan desde enero de 2019 hasta julio de 2021 y se pueden consultar en la liga [https://drive.google.com/drive/folders/1DMAe\\_0oxv1qD8497kJSQcILluoDYRbXy?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1DMAe_0oxv1qD8497kJSQcILluoDYRbXy?usp=sharing), la cual corresponde a la información documental entregada por la PTAR. Dicha información se entregará en memoria extraíble al finalizar el proyecto.

Los parámetros que se presentan en dicho anexo son los solicitados en la NOM-001-SEMARNAT-1996, que son algunos de los incluidos en el título de concesión para descarga de agua residual tratada y contiene parámetros adicionales: NTK, nitritos y nitratos, así como la Demanda Química de Oxígeno.

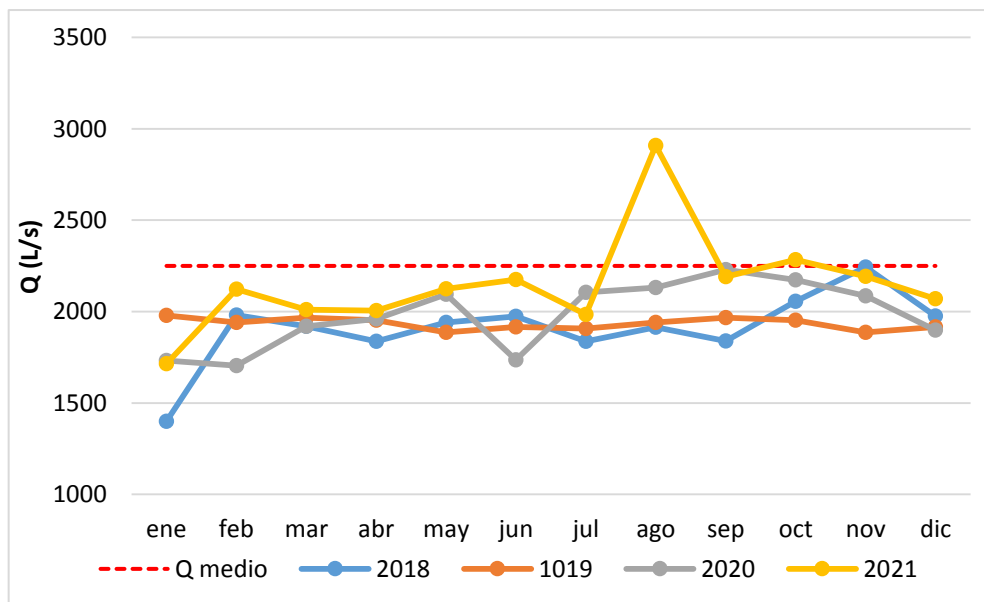
Los datos de los análisis utilizados para hacer la evaluación del efluente de la PTAR son los realizados por el laboratorio acreditado “Agua, Asesoría, Gestión y Análisis Ambientales S.A. de C.V” quien realiza la caracterización del efluente de la planta dos veces al mes y de los análisis diarios realizados en el laboratorio de la PTAR.

### 28.4.1 Caudal

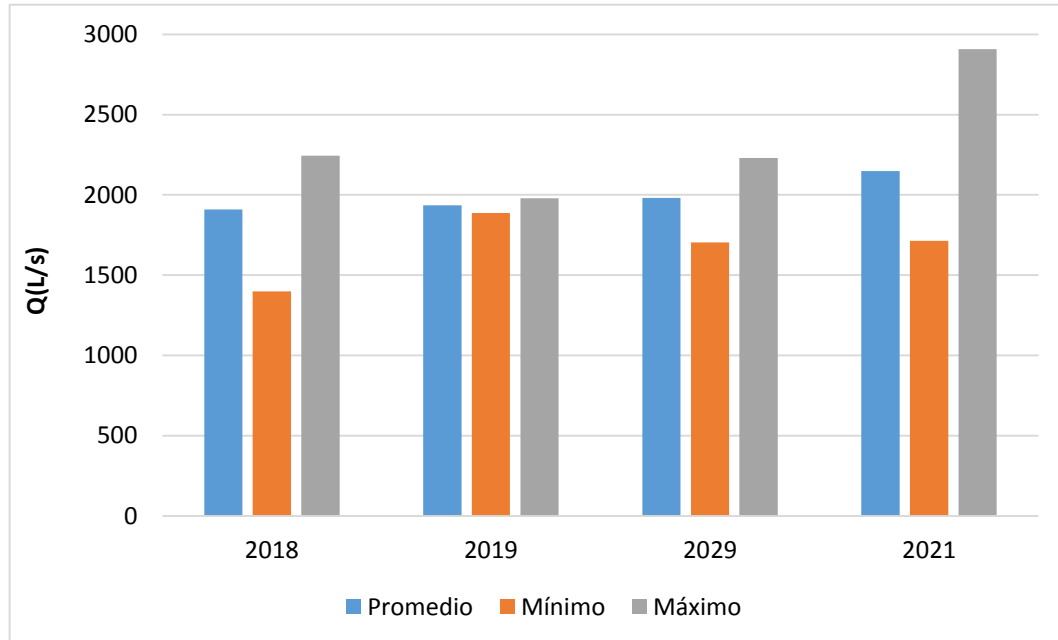
La PTAR EL AHOGADO de acuerdo con el título de concesión puede descargar hasta 194,400 m<sup>3</sup>/d, (2,250 L/s).

La PTAR EL AHOGADO puede tratar un caudal promedio de 2,250 L/s y un caudal máximo instantáneo de 4,050 L/s. En la Figura 591, se presentan los datos obtenidos de la medición del caudal en el efluente de la PTAR entre los años 2018 y 2021. La planta ha operado con un caudal promedio mensual de 1,993.5 L/s y una desviación estándar (DS de ± 172.7 L/s) y un coeficiente de variación (CV de 8.5%). El caudal máximo tratado en la planta fue de 2,908.5 L/s en 2021 y un caudal mínimo de 1,399.8 L/s en el año 2018. De acuerdo con estos datos la planta tiene un caudal de operación con poca variación y trata en promedio el 91.1% de la capacidad media de operación de la planta (2,250 L/s).

En la Figura 592 se observa el caudal promedio, máximo y mínimo con que ha operado la planta en los años 2018 -2021. El caudal de operación de la planta está de acuerdo con el de diseño y la planta puede operar y obtener un desempeño adecuado para cumplir con la calidad de la descarga.



**Figura 591. Datos históricos de caudal en la PTAR (2018 - 2021)**



**Figura 592. Caudal promedio, máximo y mínimo PTAR (2018-2021)**

#### 28.4.2 Características del Influyente

Es importante conocer las características del influente a la planta de tratamiento que fueron proporcionadas con el personal de la planta desde enero de 2020 a julio de 2021 se muestran en la Tabla 210.

Durante los meses de enero-julio del 2021 las características promedio del influente fueron las siguientes: temperatura promedio de 23.7°C y un pH promedio de 7.4 con variación de 8.6% y 2.2% respectivamente. La concentración de materia orgánica medida como DBO<sub>5</sub> fue de 251.0 mg/l, y los SST de 221.5 mg/L con coeficientes de variación de 21.8% Y 25.7%. La concentración de nitrógeno total (NT) fue de 51.6 mg/L con un coeficiente de variación del 21.8%. El fósforo total (PT) tiene una concentración de 3.7 mg/L con coeficiente de variación de 25.7%. La concentración promedio de sólidos sedimentables fue de 2.3 ml/L con variación del 19.9%. Las grasas aceites presentaron mayor variación, 33.7% y un valor promedio de 36.3 mg/L. La concentración de coliformes fecales se reporta durante todo el año como > 2,400 NMP/100 ml.

Durante el año 2020 características promedio del influente fueron las siguientes: Temperatura promedio de 25.1 °C con variación de 10.6%. El pH promedio fue 7.6 unidades con una variación de 3.11%. La DBO<sub>5</sub> con una concentración promedio de 253.3 mg/L y los SST presentaron una concentración de 280.6 mg/L con variaciones del 24.4 y 28.7 respectivamente. El nitrógeno total (NT) con 47.2 mg/L y una variación de 24.1%. El fósforo total (PT) con 3.2 mg/L y una variación de 41.0%. Sólidos sedimentables con un promedio de 3.0 ml/L y las grasas y aceites con promedio de 47.2 mg/L y variación de 50.5%.

Comparando las características del influente de los dos años, se puede observar durante el año 2021, aumentó la concentración de los siguientes parámetros: SST, sólidos sedimentables y grasas y aceites. Un ligero incremento en la temperatura y el pH. Los nutrientes, se observan con concentraciones similares, así como la DBO<sub>5</sub>.

De acuerdo con la clasificación del agua residual (Metcalf and Eddy, 2003), el influente se puede considerar de concentración media con respecto a la concentración de DBO<sub>5</sub>, SST y nitrógeno total. De concentración baja en los parámetros de fósforo total, grasas y aceites y sólidos sedimentables.

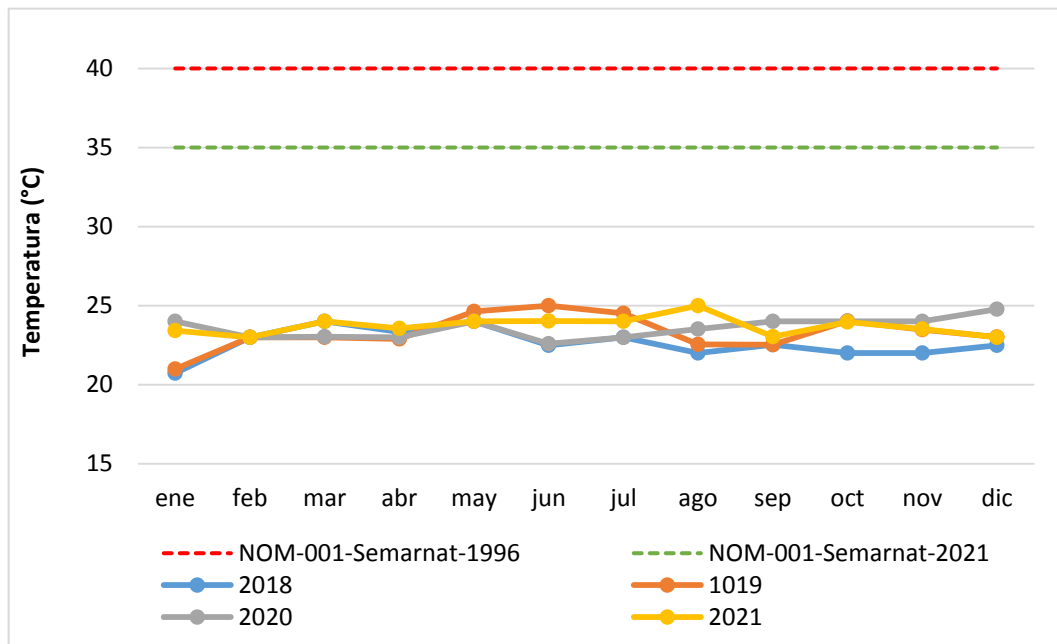
**Tabla 210. Características promedio del influente a la PTAR**

| <b>Características</b>  | <b>T (C°)</b> | <b>pH</b> | <b>DBO (mg/L)</b> | <b>SST (mg/L)</b> | <b>NT (mg/L)</b> | <b>PT (mg/L)</b> | <b>S Sed (ml/L)</b> | <b>GyA (mg/L)</b> |
|-------------------------|---------------|-----------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|
| Promedio mensual (2021) | 25.1          | 7.6       | 253.3             | 280.6             | 47.2             | 3.2              | 3.0                 | 47.2              |
| D.S.                    | ±2.7          | ±0.2      | ±61.8             | ±80.5             | ±11.4            | ±1.3             | ±0.7                | ±23.8             |
| C.V(%)                  | 10.6          | 3.1       | 24.4              | 28.7              | 24.1             | 41.0             | 21.7                | 50.5              |
| Promedio mensual (2020) | 23.7          | 7.4       | 251.0             | 221.7             | 51.6             | 3.7              | 2.3                 | 36.3              |
| D.S.                    | ±2.0          | ±0.2      | ±54.7             | ±56.9             | ±10.2            | ±1.0             | ±0.5                | ±12.3             |
| C.V(%)                  | 8.6           | 2.2       | 21.8              | 25.7              | 19.8             | 25.7             | 19.9                | 33.7              |

### 28.4.3 Temperatura

La temperatura en el efluente de la Planta también es un parámetro que está normado y que tiene un límite máximo de 35 °C (NOM-001-SEMARNAR-2021) y de 40°C (En NOM-001-SEMARNAR-2021).

La temperatura media mensual del agua residual en los cuatro años revisados fue de 23.3°C. El valor máximo de 25°C que se presentó en el año 2021 y el valor mínimo de 20.73°C en el año 2018. Se observa que este parámetro tiene poca de variación entre 2 y 5% y como se aprecia en la Figura 593, cumple satisfactoriamente con la normatividad.



**Figura 593. Datos históricos de temperatura en el efluente de la PTAR (2019-2021)**

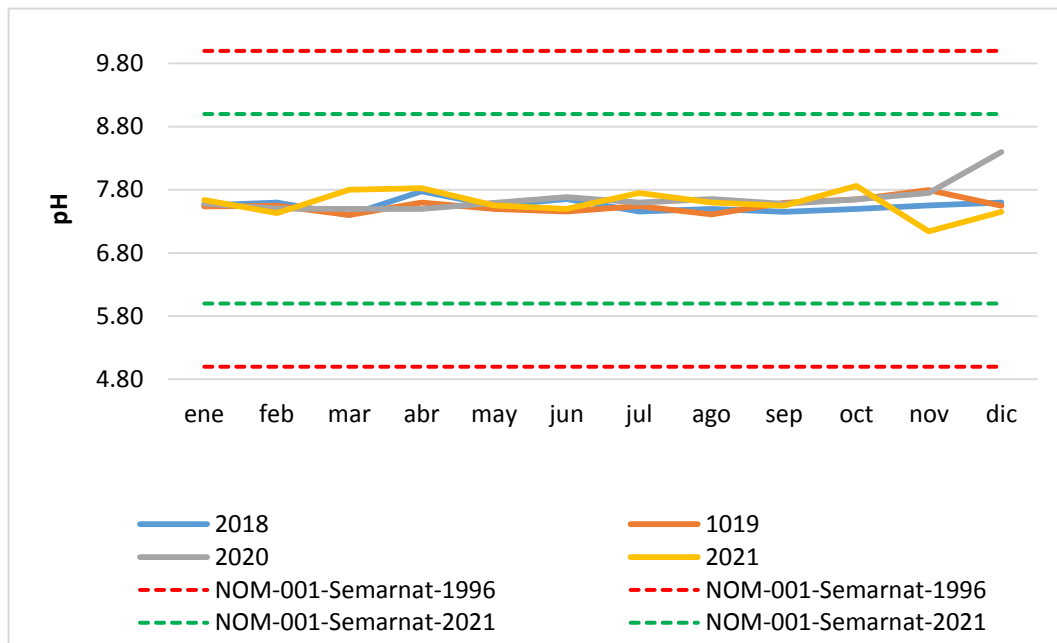
#### 28.4.4 pH

Este parámetro resulta importante no solo para el cumplimiento de lo establecido en la normatividad oficial mexicana y lo solicitado en el título de concesión, sino que también resulta indispensable para el proceso de depuración de aguas residuales, ya que la PTAR cuenta con un proceso biológico, cuyos microorganismos dependen de condiciones óptimas de pH para sobrevivir y realizar la degradación de contaminantes de manera adecuada.

Para realizar un adecuado tratamiento y que los microorganismos tengan un ambiente propicio se deben tener valores de pH entre 6.5 y 8.0 unidades de acuerdo con el tipo de proceso. Mientras que la NOM-001-SEMARNAT-1996 permite efluentes con valores entre 5.0 y 10.0 unidades de pH, la

modificación de la NOM-001-SEMARNAT-2021 exige el pH en un rango de 6-9

En la Figura 594, se presentan los valores obtenidos de pH en el influente y efluente de la planta PTAR en los años 2018 y 2021. Se observa que el pH del efluente tiene valores promedio de 7.58 unidades con una desviación estándar de  $\pm 0.3$  unidades y una variación de solo 3%. La variación del pH en el período seleccionado está entre 8.4-7.14 unidades de pH, el 70% de los datos se encuentra en el intervalo de 7.4-7.55. Por lo tanto, este efluente cumple con las condiciones de descarga exigidas por la normatividad. Además, se observa que el intervalo de pH presente es adecuado para que se desarrollen adecuadamente los procesos biológicos que conforman el sistema de tratamiento.



**Figura 594. Datos de pH del efluente de la PTAR (2020-2021)**

#### 28.4.5 Coliformes fecales y huevos de helminto

En el efluente de la planta de tratamiento se encontraron concentraciones de coliformes fecales  $< 3$  NMP/100 ml y huevos de helminto  $< 1$ . Estos valores cumplen satisfactoriamente la norma 001-Semarnat-1996 que establece como LMP 1000 NMP/100 ml de C.F. y 5 huevos de helminto. La NOM-001-Semarnat-2021 no considera estos parámetros para evaluar la contaminación por patógenos.



Los resultados del efluente indican que el sistema de desinfección con luz ultravioleta tiene un óptimo desempeño en la remoción de microorganismos patógenos.

#### **28.4.6 Grasas y Aceites**

El valor máximo permitido de grasas y aceites en la descarga de aguas residuales tratadas a un cuerpo receptor tipo B es de 25 mg/L promedio diario y de 15 mg/L promedio mensual (NOM-001-Semarnat-1996) y 18 mg/L promedio diario y de 15 mg/L promedio mensual (NOM-001-Semarnat-2021). Los datos de los análisis realizados por el laboratorio certificado y los análisis realizados por la planta de tratamiento muestran que este parámetro siempre cumple con los LMP establecidos por la normatividad. Se encontró que en el 98% de los casos el valor de grasa y aceites en la descarga de la planta es <8 mg/L. El valor máximo reportado durante los años 2018-2021 es de 8.6 mg/L.

#### **28.4.7 Materia flotante**

Los resultados de los análisis de materia flotante reportados en los informes mensuales de la planta de tratamiento y los resultados diarios proporcionados por el laboratorio de la PTAR, indican que el efluente está libre de materia flotante, por lo que se cumple con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

#### **28.4.8 Sólidos sedimentables**

Los sólidos sedimentables en el efluente de una Planta de tratamiento que descarga a un cuerpo receptor tipo B no deben sobrepasar el límite máximo establecido en la normatividad oficial vigente, que establece un máximo de 2.0 mg/L promedio diario y 1.0 mg/L promedio mensual. Los sólidos sedimentables en el efluente se reportan  $\leq 0.1$  mg/L en un 99%. Lo que indica cumplimiento total de la Normatividad. La NOM-001-Semarnat-2021 no los considera entre los parámetros básicos de control.

#### **28.4.9 Sólidos suspendidos totales**

Como se observa en la [Figura 595](#), la concentración de sólidos suspendidos totales es inferior en todos los datos reportados durante los años 2018-2021. Por lo tanto, cumple satisfactoriamente con los límites permisibles de la NOM-001-Semarnat- 1996 y 2021.

El promedio mensual fue de 10 mg/L, presentó un valor máximo de 29.24 mg/L y un valor mínimo de 2 mg/L. El 82% de los datos se encuentra en un rango de 5 a 13.0 mg/L.

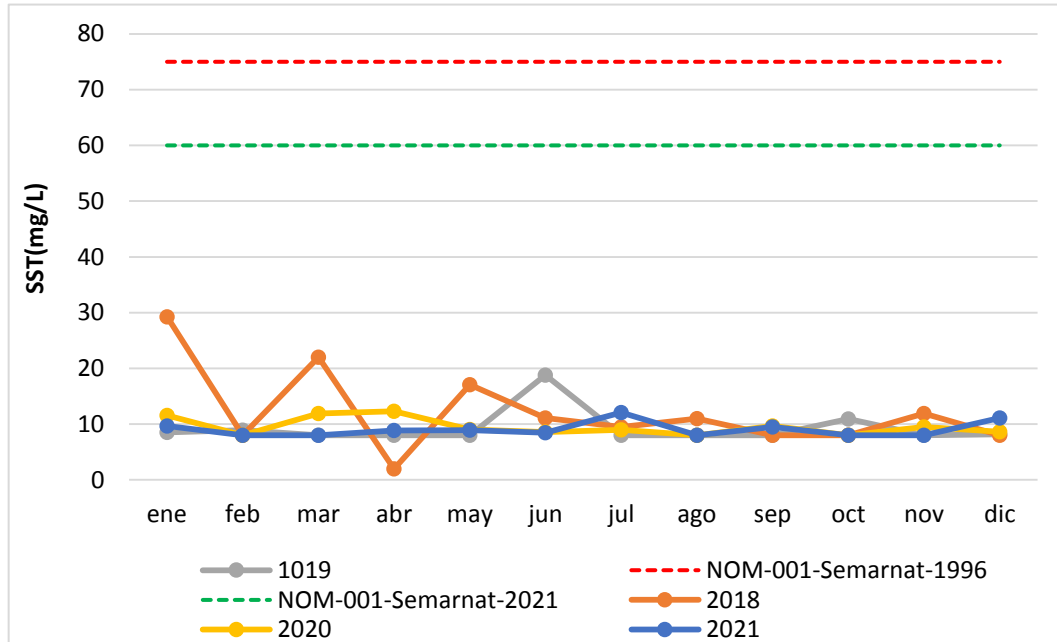


Figura 595. Datos históricos de sólidos suspendidos totales en el efluente de la PTAR (2018-2021)

#### 28.4.10 Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

La remoción de materia orgánica es uno de los parámetros más importantes dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo que determinar la concentración de materia orgánica que se libera en el efluente de la Planta, en forma de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es indispensable para evaluar el desempeño y cumplimiento de la PTAR.

En la Figura 596, se presentan los promedios mensuales de la DBO<sub>5</sub> del efluente. Se observa un valor promedio de 9.89 mg/L para los años 2018-2021. Si se considera que el influente tiene un valor promedio de DQO de aproximadamente 250 mg/L, la remoción es de 96%. Lo que indica el gran desempeño de la planta para remover este parámetro. Los valores de la DBO varían en un rango entre <5 y 24.6 mg/L. Todos los valores cumplen con el LMP (75 mg/L como promedio mensual que indica la Normatividad).

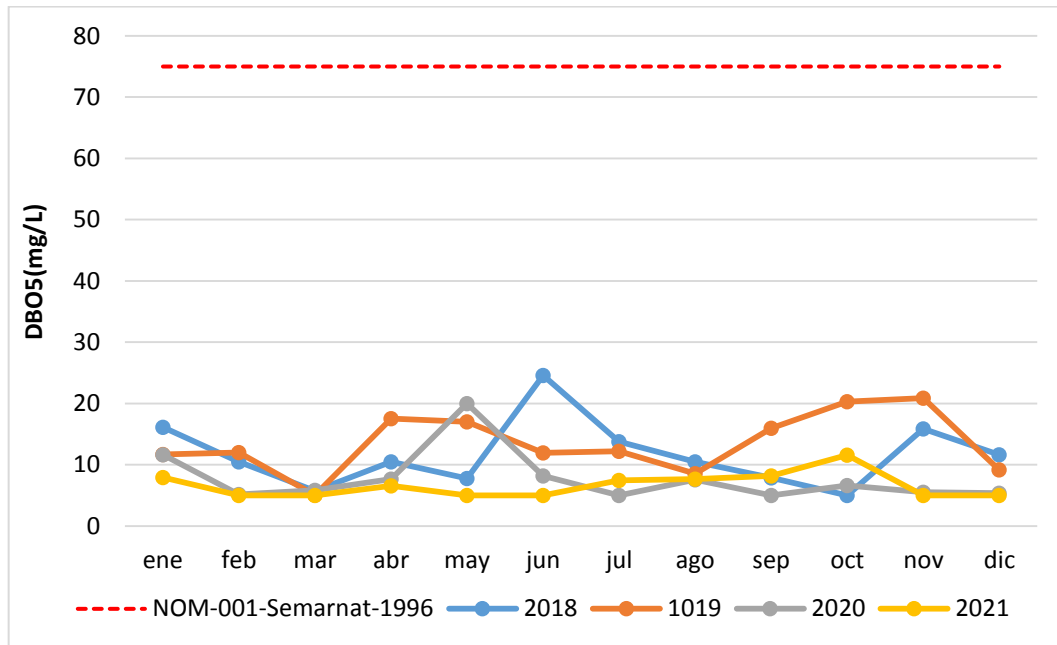
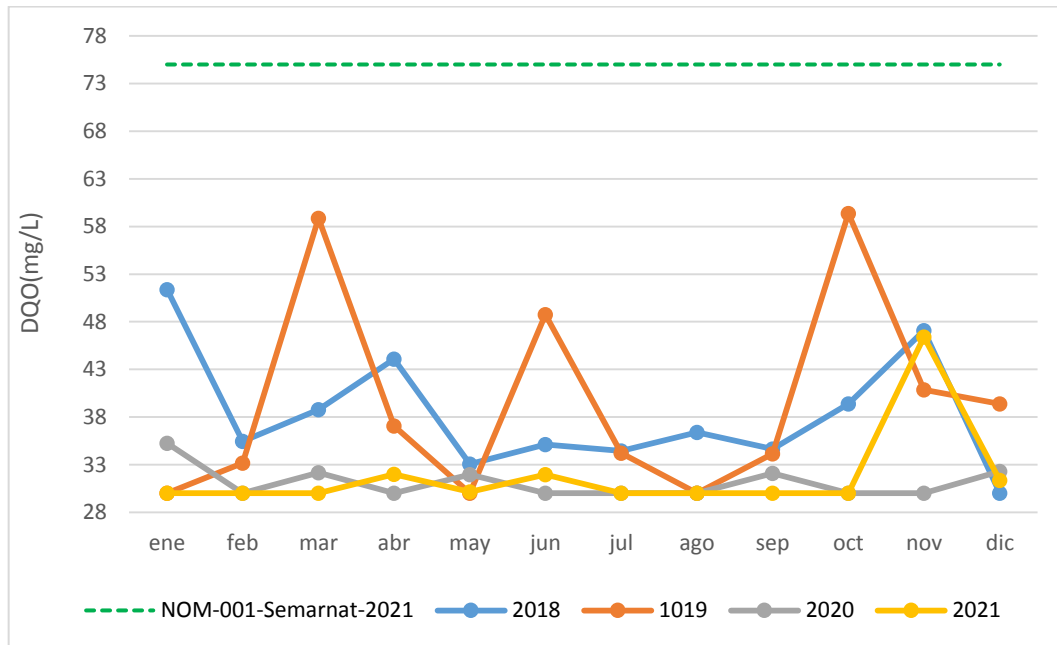


Figura 596. Datos históricos de DBO en el efluente de la PTAR (2019-2021)

#### 28.4.11 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro que se considera en la NOM-001-Semarnat-2021 que entra en vigor en 2023. Por tal resulta importante analizar si cumple los LMP para ríos, arroyos, canales y drenes un promedio mensual (PM de 150 mg/L) y un promedio diario (PD de 180 mg/L). Este parámetro es muy importante para el control de la remoción de la materia orgánica ya que incluye la materia orgánica biodegradable y la mayor parte de la no biodegradable.

Con los datos obtenidos en el periodo comprendido entre 2018 y 2021, en la Figura 597, se observa el comportamiento de este parámetro con un promedio mensual de 35.2 mg/L. Presenta un valor máximo de 59.4 mg/L y un valor mínimo de <30 mg/L. Se observa que 85% de las concentraciones están entre 40 y <30 mg/L y por lo tanto cumple satisfactoriamente con la norma. Así mismo se confirma el excelente desempeño de la planta en la remoción de materia orgánica medida con los parámetros DBO y DQO.



**Figura 597. Datos históricos de DCO en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**

#### 28.4.12 Nitrógeno total (NT)

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales que involucran procesos biológicos del tipo de lodos activados permiten la remoción del nitrógeno bajo condiciones de diseño especial. El proceso de la planta de tratamiento es un sistema de lodos activados diseñado especialmente para la remoción de nutrientes al contar con fases aerobias, anóxicas y anaerobias. La remoción de nitrógeno total que presenta esta planta se debe a la toma de nutrientes por los microorganismos para realizar sus procesos metabólicos, crecimiento y reproducción y especialmente por los procesos de nitrificación y desnitrificación que ocurren durante el proceso de tratamiento.

De acuerdo con la NOM-001-Semarnat-1996 y 2021 con límites permisibles de 40 y 25 mg/L como promedio mensual y los valores reportados durante los años 2018-2021, se aprecia en la El nitrógeno total (NT) a la entrada del módulo de desbaste presentó una concentración media mensual de 322.45 mg/L, un valor máximo de 377 mg/L y valor mínimo de 256 mg/L.

En el efluente del módulo se presentó una concentración 163.4 mg/L y una concentración máxima de 283 mg/L y una mínima de 21 mg/L. La remoción de nitrógeno total en el módulo de desbaste es de 49% (Figura 548)

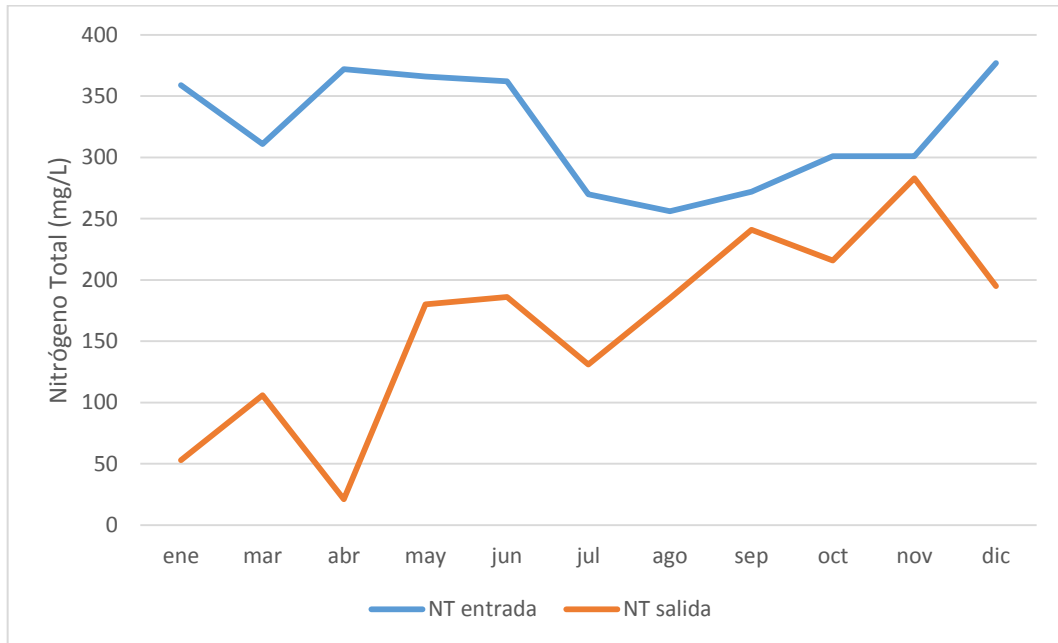
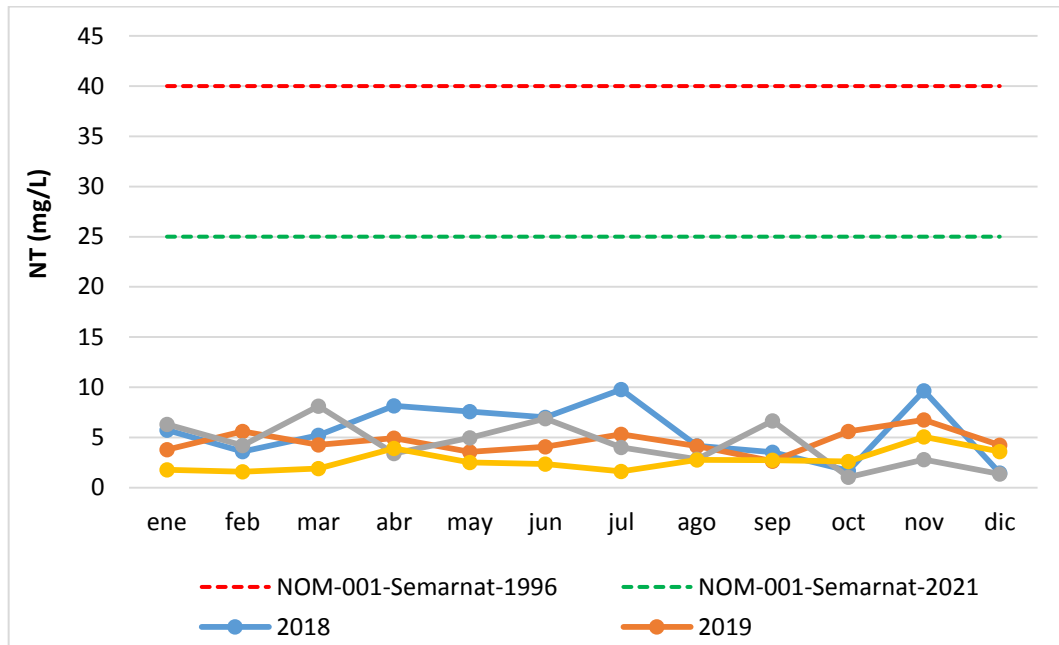
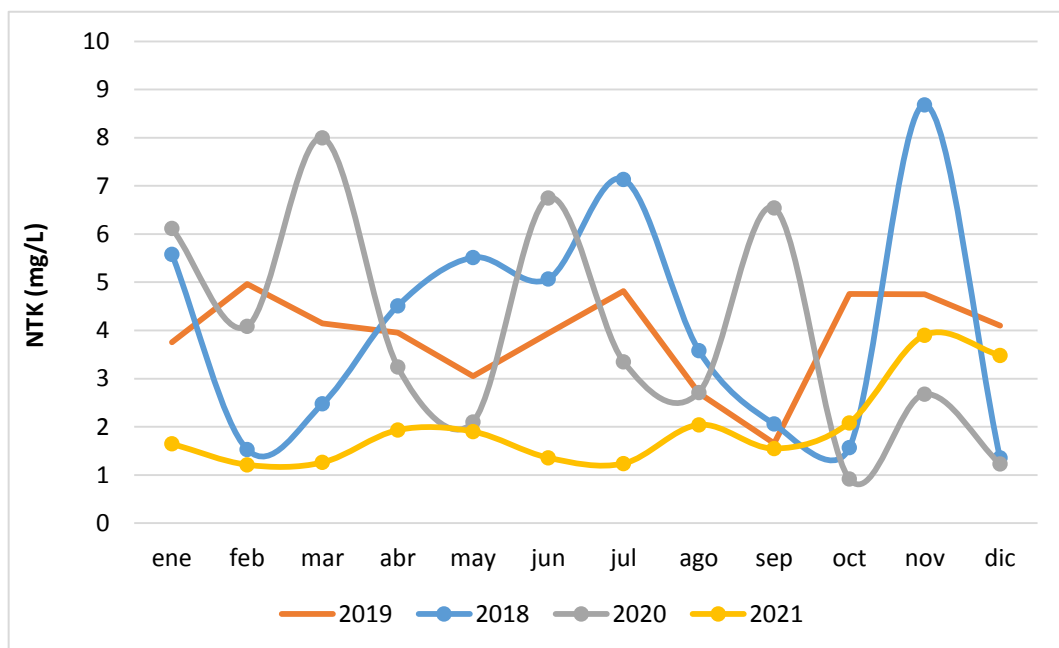


Figura 548, que todos se están por debajo de estos límites. El valor promedio mensual para los años 2018-2021 fue de 4.32 mg/L. El valor máximo reportado fue de 9.79 mg/L y el mínimo 1.48 mg/L. Si el influente presenta valores promedio de 50 mg/L de nitrógeno total, se puede considerar una remoción del 90% de este compuesto. Con estos resultados se puede concluir que los procesos de la planta están efectuando la nitrificación y desnitrificación adecuadamente.



**Figura 598. Datos históricos de nitrógeno total en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**

Más del 80% de la concentración del nitrógeno total en el efluente corresponde al NTK (nitrógeno orgánico más amoniacal). La concentración de NTK de 3.48 mg/L con un valor máximo de 8.69 mg/L y un mínimo de 1.36 mg/L. El 20% restante corresponde a las formas oxidadas de nitratos y nitritos. En la Figura 599, se observa la concentración de NTK en el efluente de la PTAR.

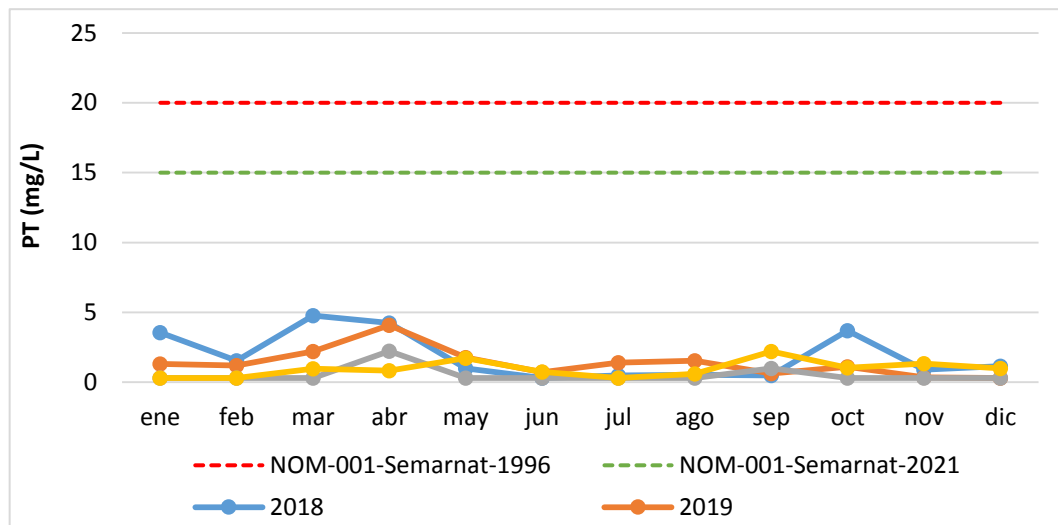


**Figura 599. Datos históricos de NTK en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**

### 28.4.13 Fósforo total (PT)

El fósforo es otro nutriente requerido por los microorganismos encargados del tratamiento como fuente de energía, pero también altas concentraciones en el efluente causan problemas de eutroficación en los cuerpos receptores. Por tal motivo la NOM-001-Semarnat - 2016 y 2021 los consideran entre los parámetros básicos de control y fijan un límite permisible de descarga de 20 y 15 mg/L como promedio mensual, respectivamente.

En la Figura 600, aparece la concentración promedio mensual de este parámetro durante los años 2018-2022. La concentración promedio mensual fue de 1.19 mg/L, un valor máximo de 4.77 y un valor mínimo de <0.3 mg/L. Este parámetro cumple ampliamente los límites permisibles de descarga. El influente a la planta tiene baja concentración de fósforo de 3.5 - 3.7 mg/L y está removiendo más del 60% del fósforo total.



**Figura 600. Datos históricos de fósforo total en el efluente de la PTAR (2019 - 2021)**

### 28.4.14 Metales pesados y cianuros

En la Tabla 211, se observan los valores promedio, mínimo y máximo de los metales y cianuros durante el período en estudio.

**Tabla 211. Comportamiento de los metales pesados durante 2018-2021**

| Parámetro | LMP | LP | Promedio | Mínimo | Máximo |
|-----------|-----|----|----------|--------|--------|
|-----------|-----|----|----------|--------|--------|

| (mg/L)   | NOM-001-SEMARNAT-1996 | NOM-001-SEMARNAT-2021 |       |        |       |
|----------|-----------------------|-----------------------|-------|--------|-------|
|          | PM                    | PM                    |       |        |       |
| Arsénico | 0.1                   | 0.2                   | 0.003 | <0.001 | 0.019 |
| Cadmio   | 0.1                   | 0.2                   | 0.01  | <0.01  | 0.014 |
| Cianuro  | 1                     | 1                     | 0.02  | <0.02  | 0.022 |
| Cobre    | 4                     | 4                     | 0.051 | <0.05  | 0.067 |
| Cromo    | 0.5                   | 1                     | 0.05  | <0.01  | 0.054 |
| Mercurio | 0.005                 | 0.01                  | 0.001 | <0.001 | 0.002 |
| Níquel   | 2                     | 2                     | 0.052 | <0.05  | 0.163 |
| Plomo    | 0.2                   | 0.2                   | 0.1   | <0.01  | 0.108 |
| Zinc     | 10                    | 10                    | 0.062 | <0.05  | 0.228 |

Como se puede observar el efluente de la planta de tratamiento no contiene metales pesados en concentraciones mayores a los límites permisibles y por lo tanto cumple satisfactoriamente con la normatividad.

#### **28.4.15 Resumen de calidad del agua del PTAR de El Ahogado (2018-2021).**

La Tabla 212 presenta el resumen las características del efluente de la PTAR de Agua durante el período en estudio. En esta tabla se muestra los LMP que debe cumplir de acuerdo con la NOM-001-Semarnat- 1996 y 2021 y los promedios anuales, el máximo y el mínimo reportados durante los años 2019-2021.

Los principales resultados describen a continuación:

La PTAR Agua Prieta de acuerdo con el título de concesión puede descargar hasta 734,400.00 m<sup>3</sup>/d (8,500 L/s).

**Caudal.** Durante los años analizados 2018-2021 la PTAR operó con un caudal promedio mensual 1993.5 L/s, un caudal mínimo de 1,376 L/s y máximo de 2,908.5, que corresponde aproximadamente al 91.1% de la capacidad de la planta.

**Temperatura.** El promedio mensual es de 23.3 °C, la temperatura es adecuada para la operación del proceso y cumplir con la normatividad.

**pH.** Este parámetro tiene un valor promedio mensual de 7.58 unidades. Valor adecuado para la operación del sistema de tratamiento biológico y cumplir satisfactoriamente con la normatividad.



**Coliformes fecales y huevos de helminto.** En el efluente de la planta de tratamiento se encontraron concentraciones de coliformes fecales < 3 NMP/100 ml y huevos de helminto <1. Estos valores cumplen satisfactoriamente la norma 001-Semarnat-1996 e indican una excelente desinfección de efluente de la planta.

**Grasas y Aceites.** Este parámetro presente en el efluente un promedio mensual 8.0 mg/L. El 99% de los datos se reporta con valores de <8 mg/L. Cumple satisfactoriamente los LMP de la normatividad.

**Materia flotante y sólidos sedimentables.** Cumplen satisfactoriamente con la NOM-001-Semarnat-1996. Estos parámetros no se consideran en la modificación de la norma.

**Sólidos Suspendidos Totales (SST).** Presentaron una concentración promedio mensual de 8 mg/L. Cumplen con los límites permisibles de la norma y su actualización.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).** Presenta un promedio de 9.89 mg/L y cumple satisfactoriamente con la NOM-001-Semarnat-1996. La actualización de la norma no considera este parámetro. La planta tiene capacidad de remover la DBO al 96%.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).** El promedio mensual para los cuatro años fue de 35.2 mg/L. El 85% de las concentraciones están entre 40 y <30 mg/L y por lo tanto cumple satisfactoriamente con la norma. Así mismo se confirma el excelente desempeño de la planta en la remoción de materia orgánica medida con los parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO.

**Nitrógeno Total (NT).** El valor promedio mensual para los años 2018-2021 fue de 4.32 mg/L. El valor máximo reportado fue de 9.79 mg/L y el mínimo 1.48 mg/L. Con estos resultados se puede concluir que los procesos de la planta están efectuando la nitrificación y desnitrificación adecuadamente.

**Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK).** Arriba del 80% del nitrógeno presente dentro de la concentración de nitrógeno total en el efluente corresponde al NTK (nitrógeno orgánico más amoniacal). La concentración de NTK de 3.48 mg/L con un valor máximo de 8.69 mg/L y un mínimo de 1.36 mg/L. El 20% restante corresponde a las formas oxidadas de nitratos (NO<sub>3</sub>) y nitritos (NO<sub>2</sub>).

**Fósforo Total (PT).** La concentración de fósforo en el efluente de la descarga es de 1.19 mg/L como promedio mensual y todas las concentraciones se reportaron inferiores a 4.77 mg/L. Con estas características el efluente cumple satisfactoriamente con la NOM.



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**Metales pesados y cianuros.** El efluente de la planta no presenta concentraciones mayores a los límites permisibles que marca la NOM-001-Semarnat- 1996 y 2021. Generalmente las concentraciones son próximas o inferiores a los límites de detección de la prueba para estos parámetros.

De acuerdo con los resultados obtenidos al analizar los datos históricos del efluente de la PTAR de agua Prieta se concluye que la planta cumple con todos los LMP de la NOM-001-Semarnat-1996 y la NOM-001-Semarnat-2021.

**Tabla 212. Resumen de la calidad del efluente de la PTAR de El Ahogado**

| Parámetro                             | Unidades | LMP                   |      | LP                    |       | 2018    |        |       | 2019   |       |       | 2020   |        |        | 2021   |        |        |
|---------------------------------------|----------|-----------------------|------|-----------------------|-------|---------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                       |          | NOM-001-SEMARNAT-1996 |      | NOM-001-SEMARNAT-2021 |       | PM      |        |       | PM     |       |       | PM     |        |        | PM     |        |        |
|                                       |          | PM                    | PM   | Media                 | Mín.  | Máx.    | Media  | Mín.  | Máx.   | Media | Mín.  | Máx.   | Media  | Mín.   | Máx.   |        |        |
| Flujo (promedio)                      | L/s      | 2250                  |      | 1908.9                | 1399  | 2243.2  | 1934.4 | 1887  | 1979   | 1981  | 1705  | 2229.5 | 2148.8 | 1714.2 | 2908.5 |        |        |
| Temperatura (promedio)                | °C       | 40                    | 35   | 22.6                  | 20.7  | 24      | 23.3   | 21    | 25     | 23.58 | 22.58 | 24.77  | 23.7   | 23     | 25     |        |        |
| Grasas y aceites (promedio ponderado) | mg/L     | 15                    | 15   | 8.5                   | <8    | 10      | 8      | <8    | 12     | 8.2   | <8    | 10     | 8.1    | <8     | 8.2    |        |        |
| Materia flotante                      |          | Ausente               |      | Ausente               |       | Ausente |        |       |        |       |       |        |        |        |        |        |        |
| Sólidos sedimentables                 | ml/L     | 1                     | N.E. | 0.1                   | <0.1  | 0.1     | 0.1    | <0.1  | 0.1    | 0.1   | <0.1  | 0.2    | 0.1    | <0.1   | 0.2    |        |        |
| Sólidos suspendidos totales           | mg/L     | 75                    | 60   | 12.15                 | 2     | 29.24   | 9.28   | 8     | 18.82  | 9.52  | 8     | 12.32  | 9.05   | 8      | 12.05  |        |        |
| Demanda bioquímica de oxígeno         | mg/L     | 75                    | N.E. | 11.65                 | 5     | 24.6    | 13.53  | 5.05  | 20.88  | 7.78  | 5     | 19.97  | 6.61   | 5      | 11.6   |        |        |
| Demanda química de oxígeno            | mg/L     | 75                    | 150  | 38.32                 | 30    | 51.38   | 39.65  | 30    | 59.36  | 31.15 | 30    | 35.25  | 31.82  | 30     | 46.41  |        |        |
| Nitrógeno total                       | mg/L     | 40                    | 25   | 5.64                  | 1.48  | 9.79    | 4.48   | 2.65  | 6.75   | 4.38  | 1.04  | 8.12   | 2.7    | 1.6    | 5.06   |        |        |
| Nitrógeno total Kjeldahl              | mg/L     | N.E.                  | N.E. | 4.09                  | 1.36  | 8.69    | 3.88   | 1.66  | 4.96   | 3.98  | 0.92  | 8      | 1.97   | 1.21   | 3.9    |        |        |
| Nitritos                              | mg/L     | N.E.                  | N.E. | 0.039                 | <0.02 | 0.167   | 0.02   | <0.02 | 0.026  | 0.044 | <0.02 | 0.294  | 0.12   | <0.02  | 0.734  |        |        |
| Nitratos                              | mg/L     | N.E.                  | N.E. | 1.59                  | <0.1  | 2.73    | 0.68   | <0.1  | 1.98   | 0.131 | <0.1  | 0.438  | 0.68   | <0.1   | 1.97   |        |        |
| Fósforo total                         | mg/L     | 20                    | 15   | 5.64                  | 1.48  | 9.79    | 4.58   | 2.65  | 6.75   | 4.38  | 1.04  | 8.12   | 2.7    | 1.6    | 5.06   |        |        |
| Huevos de Helmintos                   | H/L      | N.E.                  | N.E. | <1                    | <1    | <1      | <1     | <1    | <1     | <1    | <1    | <1     | <1     | <1     | <1     |        |        |
| Coliformes fecales (media geométrica) | NMP /    | 1000                  |      | N.E.                  |       | 3       | <3     | 14    | 3      | <3    | 112   | 3      | <3     | 9      | 3      | <3     | 11     |
|                                       | 100 ml   |                       |      |                       |       |         |        |       |        |       |       |        |        |        |        |        |        |
| pH                                    |          | 5                     | 10   | 6                     | 9     | 7.55    | 7.4    | 7.77  | 7.55   | 7.4   | 7.8   | 7.67   | 7.5    | 8.4    | 7.59   | 7.14   | 7.06   |
| Arsénico                              | mg/L     | 0.1                   |      | 0.2                   |       | 0.001   | <0.001 | 0.001 | 0.0028 | 0.001 | 0.205 | 0.03   | <0.01  | 0.019  | 0.037  | <0.001 | 0.0115 |

| Parámetro | Unidades | LMP                   | LP                    | 2018  |        |       | 2019  |        |       | 2020  |        |       | 2021   |        |        |
|-----------|----------|-----------------------|-----------------------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
|           |          | NOM-001-SEMARNAT-1996 | NOM-001-SEMARNAT-2021 | PM    |        |       | PM    |        |       | PM    |        |       | PM     |        |        |
|           |          | PM                    | PM                    | Media | Mín.   | Máx.  | Media | Mín.   | Máx.  | Media | Mín.   | Máx.  | Media  | Mín.   | Máx.   |
| Cadmio    | mg/L     | 0.1                   | 0.2                   | 0.01  | <0.01  | 0.01  | 0.01  | <0.01  | 0.01  | 0.01  | <0.01  | 0.011 | 0.0103 | <0.01  | 0.0142 |
| Cianuros  | mg/L     | 1                     | 1                     | 0.02  | <0.02  | 0.02  | 0.02  | <0.02  | 0.02  | 0.02  | <0.02  | 0.022 | 0.02   | <0.02  | 0.02   |
| Cobre     | mg/L     | 4                     | 4                     | 0.05  | <0.05  | 0.05  | 0.054 | <0.05  | 0.067 | 0.05  | <0.05  | 0.054 | 0.05   | <0.05  | 0.05   |
| Cromo     | mg/L     | 0.5                   | 1                     | 0.05  | <0.05  | 0.05  | 0.05  | <0.05  | 0.05  | 0.05  | <0.05  | 0.055 | 0.05   | <0.05  | 0.05   |
| Mercurio  | mg/L     | 0.005                 | 0.01                  | 0.001 | <0.001 | 0.001 | 0.001 | <0.001 | 0.001 | 0.001 | <0.001 | 0.001 | 0.0012 | <0.001 | 0.0021 |
| Níquel    | mg/L     | 2                     | 2                     | 0.05  | <0.05  | 0.05  | 0.05  | <0.05  | 0.05  | 0.05  | <0.05  | 0.054 | 0.0565 | <0.05  | 0.1245 |
| Plomo     | mg/L     | 0.2                   | 0.2                   | 0.1   | <0.1   | 0.1   | 0.1   | <0.1   | 0.1   | 0.1   | <0.1   | 0.108 | 0.1    | <0.1   | 0.1    |
| Zinc      | mg/L     | 10                    | 10                    | 0.068 | <0.05  | 0.228 | 0.186 | 0.05   | 0.228 | 0.05  | <0.05  | 0.054 | 0.065  | <0.05  | 0.1744 |

## **28.5 Análisis de la información del Proceso**

### **28.5.1 Análisis rutinarios**

La PTAR cuenta con su propio laboratorio de análisis, por lo que adicionalmente a los muestreos y análisis que se realizan mensualmente, por un laboratorio tercero acreditado, para comprobar el cumplimiento de lo estipulado en las condiciones particulares de descarga, el personal del laboratorio realiza diariamente análisis de calidad del agua, que incluye los siguientes parámetros:

- Temperatura
- pH
- DBO<sub>5</sub>
- SST
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Sólidos sedimentables
- Grasas y aceites
- Coliformes fecales

Se realizan adicionalmente las pruebas de sedimentabilidad e IVL en el licor mezclado del reactor, medición de OD y pH en los reactores biológicos, así como la medición de mantos de lodos en los sedimentadores.

El personal de la PTAR proporcionó los resultados mensuales de estas pruebas en el periodo comprendido entre enero de 2020 y julio de 2021.

### **28.5.2 Manual de operación**

El personal de la PTAR proporcionó el manual de operación y la documentación que describe el proceso de tratamiento que se lleva a cabo en la planta.

El manual de operación fue elaborado y revisado en el año 2010 y no se ha realizado una actualización o revisión posterior. Este documento comprende 5 capítulos: introducción, especificaciones del proceso, condiciones de operación, problemas de operación y aspectos de seguridad.

El primer capítulo, introducción, contiene un listado de las unidades que comprenden el proceso y la explicación del contenido del manual. Sin embargo, dentro de la información se describe que el manual de operación cuenta con siete secciones, faltando dentro de la documentación dos capítulos: mantenimiento y, control operativo y analítico del proceso. Actualmente, se desconoce si la PTAR cuenta con dicha información y si el

personal operativo de la planta tiene acceso a esos documentos para su consulta durante la capacitación y operación.

El capítulo dos describe las especificaciones del proceso, el cual contiene un subcapítulo sobre la filosofía del control y un subcapítulo dedicado a los balances de materia y energía del proceso.

El tercer capítulo describe las condiciones de operación previo al arranque de la planta, la secuencia general de arranque y paro, el procedimiento de operación normal, así como el procedimiento de operación de emergencia. En cada sección se describe la información detallada para cada unidad de tratamiento, agrupada por el tipo de tratamiento que tiene por objetivo dicha sección.

El cuarto capítulo contiene el listado de problemas más comunes que se pueden presentar, tanto en el desempeño de los equipos, como en la estabilización y operación del proceso, así como las causas probables de cada condición y las acciones correctivas que se deben realizar.

Por último, se presentan los aspectos generales de seguridad que deberán respetarse durante la operación de la PTAR con el objetivo de llevar a cabo una operación segura. En este capítulo se incluyen aspectos generales de seguridad en la planta, las hojas de seguridad de los productos químicos que se utilizan durante la operación, así como el plan de actuación en caso de contingencia y emergencia.

### **28.5.3 Reportes de operación (bitácoras)**

La PTAR presentó la bitácora diaria de operación que comprende los meses de julio de 2020 a junio de 2021, estos reportes mensuales contienen:

- Fecha.
- Volúmenes tratados del influente y del efluente, al inicio y fin del día de operación.
- Los MW generados y los Mw entregados por la Comisión General de Electricidad (CFE).
- Descripción de las actividades de mantenimiento que se realizaron.
- Firma del jefe de turno y del jefe de operación.

Cabe mencionar que las bitácoras no incluyen información sobre las actividades de operación realizadas por cada turno, los resultados de las pruebas rutinarias de laboratorio y de análisis de campo. Tampoco se describen las anomalías detectadas o las observaciones de los eventos que se presentaron durante el turno ni las acciones correctivas que se realizaron,

por lo que es necesario mejorar estas bitácoras y enriquecer las actividades que se registran en ellas.

#### **28.5.4 Mantenimiento**

##### **28.5.4.1 Programa**

La planta tratadora proporcionó el programa anual de Mantenimiento preventivo. El programa anual es una bitácora de 40 hojas donde aparecen todos los equipos de la planta.

En cada hoja aparece:

- Número de área.
- La identificación del equipo (TAG N°)
- El nombre del equipo
- La frecuencia de mantenimiento, con el siguiente código de colores:

Azul: 28-31 días

Verde: 60 días

Gris: 90 días

Amarillo: 180 días

Rojo: 365 días

- Calendario para realizar el mantenimiento, desde enero hasta diciembre.

##### **28.5.4.2 Reportes**

Se presentó información sobre los reportes de mantenimiento, en los cuales se presenta el número de orden, la fecha, los datos de la persona que lo solicitó, la prioridad y el área de mantenimiento a la que pertenece. Así como el nombre, localización y clave del equipo que requiere el mantenimiento.

## 29 ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

### 29.1 Descripción de las unidades de proceso

#### 29.1.1 PRETRATAMIENTO

##### Pre-desbaste

La corriente de agua residual es recibida en las instalaciones de la PTAR en la caja de control (TQ-101). Esta caja de control y el cárcamo de agua cruda (TQ-106) están comunicados por una pared compartida, en la cual se encuentran instaladas cuatro ventanas de pre-desbaste (EPD-102 A... D). La función principal de los equipos de pre-desbaste es impedir el paso de sólidos mayores con el objetivo de proteger el equipo de bombeo contra basuras o sólidos con tamaño mayor a los 100 mm. Las basuras se remueven por medio de una cuchara electrohidráulica y con ayuda de un polipasto descargará la basura a un contenedor TQ-105 A/B.

La caja de control cuenta con una cubierta plástica abatible como parte del sistema de control de olores.



**Figura 601. Pre-desbaste**

##### Bombeo de agua cruda

El agua residual entra al cárcamo de agua cruda (TQ-106). El sistema de bombeo de agua cruda y demasías está conformado por doce bombas (BC-107 A hasta K/L), con capacidad de operar un flujo promedio de 2,250 L/s (4 bombas operando), un caudal máximo instantáneo de 4,050 L/s (6 bombas operando) y una caudal extraordinario de 8,050 L





**Figura 602. Bombeo de agua cruda**

### **Rejillas gruesas**

El agua residual bombeada se recibe en la caja de distribución, va a rejillas gruesas (CA-101), el cual alimenta al sistema de cribado grueso automático.

El sistema de cribado grueso está conformado por cuatro (4) rejillas gruesas automáticas (RA-111 A hasta C/D) de tipo vertical (inclinado) de barras paralelas con una separación entre barras de 38 mm y fabricadas en acero inoxidable 304L. El sistema de cribado grueso cuenta con la flexibilidad necesaria para manejar el caudal nominal extraordinario (8,050 L/s) con una unidad de cribado fuera de servicio o en reserva.

Los sólidos producto del cribado se descargan en la banda transportadora (BT-112) para ser conducidos hacia el compactador de basura (CB-113) y posteriormente a la banda transportadora a contenedores (BT-112), para ser finalmente enviados a los contenedores con tapa móvil (TQ-114). A caudal promedio, la generación de sólidos del cribado grueso es de aproximadamente 1,236 litros por día.



**Figura 603. Cribado grueso**

### **Cribado fino**

El agua proveniente del desbaste grueso fluye por gravedad hacia la etapa de desbaste fino.

El sistema de cribado fino está conformado por (6) rejillas automáticas (RA-116 A hasta E/F) con una separación entre elementos de 6 mm y fabricadas en acero inoxidable 304L. El sistema de cribado fino cuenta con la flexibilidad necesaria para manejar el caudal máximo (8,050 L/s) con una unidad de cribado fuera de servicio o en reserva.

Los sólidos colectados se descargan en la banda transportadora (BT-117) para ser conducidos hacia el compactador (CB-118) y posteriormente al contenedor con tapa móvil (TQ-119). La captación estimada de sólidos provenientes de los equipos de cribado fino a caudal nominal promedio, antes de compactar, es de aproximadamente 16,576.9 L/d.

Los canales donde se encuentran instaladas tanto las rejillas gruesas como las rejillas finas están cubiertos con una tapa plástica como parte del sistema integral de control de olores de la PTAR.



Figura 604. Cribas finas

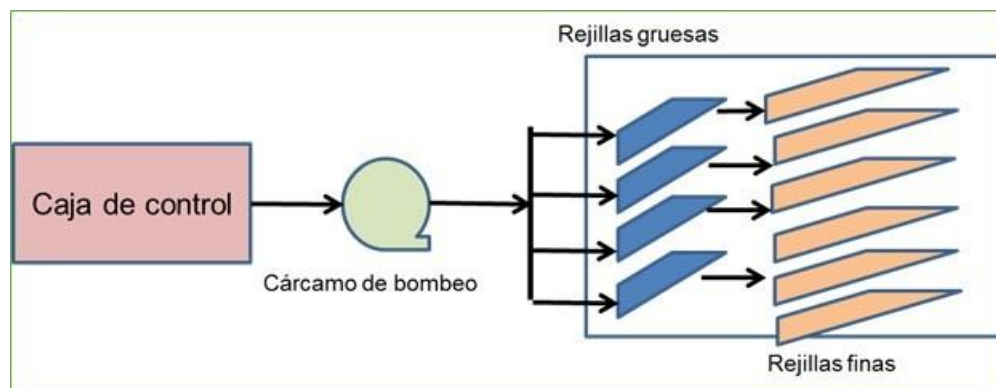


Figura 605. Diagrama general rejillas gruesas y finas

### Desarenado y desengrasado.

El objetivo principal de esta etapa de tratamiento consiste en lograr la remoción de arena, grasas y aceites contenidos en la corriente de agua residual alimentada a la PTAR.

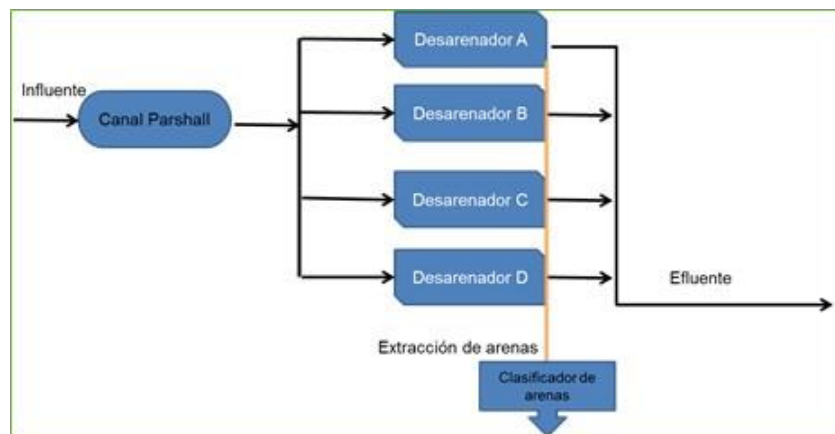
El agua residual proveniente de la etapa de desbaste fino se conduce mediante canal a gravedad hacia el canal Parshall (MP-120), donde se mide el caudal por medio de un medidor de flujo ultrasónico-112. En este punto también se encuentran instalados los medidores en línea para monitoreo de pH, temperatura, conductividad, SST, DQO y alcalinidad los cuales se encuentran fuera de servicio.

Después de su paso a través del canal Parshall, el agua residual se distribuye hacia los cuatro (4) equipos combinados de desarenado-desengrasado (DA-

121 A, B, C/D) de tipo cámara aireada. El sistema de desarenado - desengrasado cuenta con la flexibilidad necesaria para manejar el caudal máximo extraordinario (8,050 L/s) con una unidad de desarenado fuera de servicio o en reserva. Los desarenadores cuentan con cubierta de lámina plástica con extracción de aire, como parte del sistema integral de control de olores de la PTAR. Por otra parte, la inyección de aire en este tipo de desarenadores contribuye en forma significativa a la disminución de olores por H<sub>2</sub>S en la siguiente etapa de tratamiento gracias a la oxidación de este compuesto.

La arena acumulada en el fondo de las cámaras es extraída por medio del mecanismo de "Air-lift" con que cuenta este sistema, el cual se encuentra sujeto al puente viajero, facilitando así la extracción de las arenas a todo lo largo del tanque y enviándolas al clasificador de arenas (CL-125 A/B). El aire para este equipo lo suministran los sopladores tipo centrífugo (SO-122 A hasta D). Las arenas se descargan en una canaleta lateral y se conduce a los clasificadores de arenas (CL-125 A/B) donde se lavan con del mismo proceso, para reducir su contenido de orgánicos. La generación de arenas tiene un factor de (75 litros/1,000 m<sup>3</sup> de agua residual). Posteriormente las arenas pasan a los contenedores de arena con tapa móvil (TQ-126 A-B) y posteriormente se llevan para su disposición al monorrelleno.

Las grasas, aceites y material flotante separado de los equipos de desarenado-desengrasado se descargan al tanque de grasas y aceites (TQ-127), a partir de donde son bombeadas hacia el tanque de lodo espesado (TQ-801) para su posterior incorporación al tratamiento de digestión anaeróbica. El efluente desarenado y desengrasado de la corriente principal descarga por gravedad hacia la caja de distribución (CD-124) para ser posteriormente distribuido hacia la etapa de sedimentación primaria.



**Figura 606. Diagrama de flujo del sistema de desarenado.**



**Figura 607. Sistema de desarenado-desengrasado**

### 29.1.2 SEDIMENTACIÓN PRIMARIA

El propósito de la etapa de sedimentación primaria consiste en la remoción de una fracción significativa de los sólidos suspendidos totales contenidos en el agua residual, así como la  $DBO_5$  asociada a la materia suspendida.

El sistema está conformado por cuatro clarificadores primarios (CP-200 A hasta D) los cuales han sido diseñados para manejar en conjunto el flujo promedio de 2,250 L/s y un flujo máximo instantáneo de 4,050 L/s.

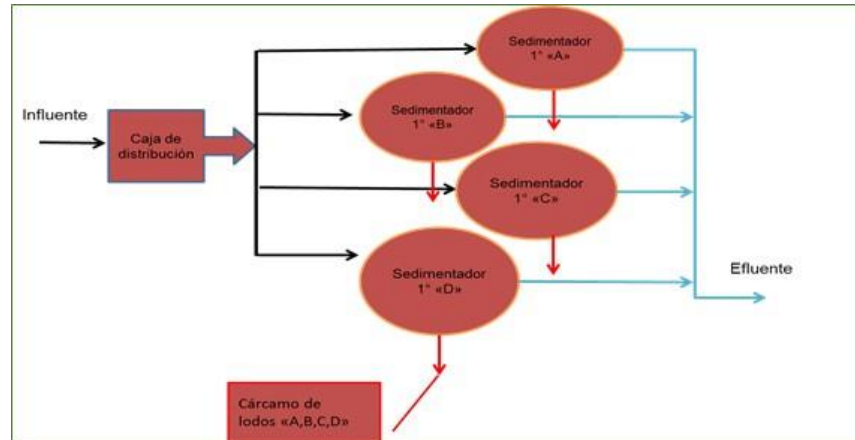
Los sedimentadores primarios son circulares del tipo convencional, de 40 m de diámetro con un tirante de agua de 4 m, con rastras radiales de tracción central. Cada uno de los clarificadores primarios cuenta con una línea de desfogue para que, en caso de mantenimiento, el agua contenida en el tanque pueda ser conducida hacia la caja de control (TQ-101). La carga hidráulica superficial en los sedimentadores primarios no excederá el valor límite de  $1.88 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$  bajo condiciones de flujo promedio de 2,250 L/s, con las cuatro unidades en operación. Cada sedimentador tiene una capacidad de  $5,026.56 \text{ m}^3$ . Los equipos de clarificación primaria contarán con cubiertas y extracción de aire para control de los olores potenciales generados evitando el desprendimiento de  $\text{H}_2\text{S}$ , y eliminando la posible generación de olores en dicha zona.

El lodo primario colectado es enviado por las bombas de lodo primario (BC-203 A/B), hacia el tanque de mezcla de lodos a espesamiento (TQ-701).

Cada sedimentador cuenta con un desnatador que recolecta las natas y las conduce al tanque de natas (TQ-205), posteriormente al tanque de grasas y aceites (TQ-117) y finalmente hacia los digestores anaerobios.

El efluente clarificado proveniente de los sedimentadores primarios es colectado en la caja de distribución (CD-300), en donde esta corriente

principal se mezcla con el agua recuperada proveniente de los espesadores y filtros banda, así como con el agua de retrolavado del filtro multimedia de servicios, siendo esta última contribución esporádica.



**Figura 608. Sistema de tratamiento primario**

### 29.1.3 SISTEMA DE TRES ETAPAS PARA LA REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NUTRIENTES

El agua residual proveniente de la caja de distribución (CD-300) es conducida hacia las cuatro zonas de amortiguamiento (TPA-300 A hasta D) y posteriormente al proceso de remoción biológica de nutrientes. La zona de amortiguamiento tiene como finalidad favorecer la incorporación de las corrientes mezcladas en la caja de distribución (CD-300) y mejorar la sedimentación de los lodos generados con el fin de evitar la formación de organismos filamentosos.

El sistema de tratamiento secundario consiste en la remoción biológica de nutrientes en tres etapas. El flujo del agua residual se divide en cuatro secciones con un flujo promedio de 562.5 L/s. Las etapas que componen

este proceso son: reactor anaerobio (TAN-301 A hasta D), reactor anóxico (TAX-302 A hasta D) y reactor aerobio (RB-305 A hasta D). Cada uno de estos reactores cuenta con una mampara vertical o baffle (BF-309 A hasta D, BF-310 A hasta D, BF-311 A hasta D) para ser dividido en dos secciones iguales en serie, con lo cual se incrementará la eficiencia en el desempeño del sistema.

Con el objeto de mejorar el desempeño del reactor anóxico para remoción de nitrógeno, la concentración de oxígeno disuelto en la segunda sección de los reactores aerobios se controla en un valor bajo, alrededor de 1 mg/L, mientras que la concentración de oxígeno disuelto en la primera sección se mantendrá en valores cercanos a los 2 mg/L. De esta manera se minimiza el impacto negativo que se tendría en caso de que el caudal de licor mezclado recirculado de la zona aerobia a la anóxica contuviera una alta concentración de oxígeno disuelto.

Con el sistema de tratamiento secundario propuesto se alcanzará el objetivo de remoción de fósforo, nitrógeno total, DBO<sub>5</sub> y SST entre otros. El sistema biológico tendrá la flexibilidad de manejar hidráulicamente un flujo máximo instantáneo de 4,050 L/s.

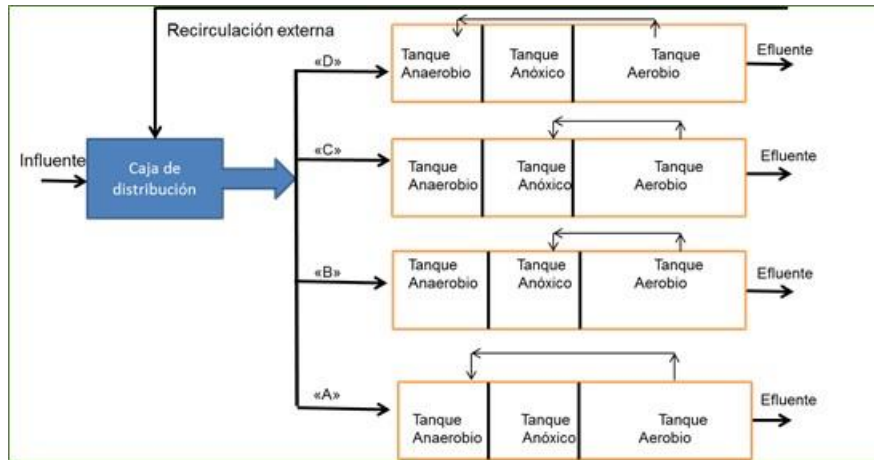
La corriente de recirculación interna es tomada de la segunda sección de la zona aerobia (donde habrá una menor concentración de oxígeno), y se retorna hacia la entrada de la primera sección de la zona anóxica, donde se mezcla con la corriente principal de agua residual esto para sección B y C. Para la sección A y D la recirculación interna es tomada de la segunda sección de la zona aerobia y se retorna al reactor anaerobio. Para lo anterior se utilizan las bombas de recirculación de licor mezclado (BS-307 A1-A2 hasta D1-D2).

Los reactores anaerobios tienen 43.6 m de largo, 13.5 de ancho y una profundidad del agua de 6.0 m y una capacidad de operación de 3,531.6 m<sup>3</sup>. Cada reactor anaerobio cuenta con dos agitadores sumergibles, marca Flygt, modelo SR4650.410 con un diámetro de propela de 580 mm, velocidad de 600 RPM y una potencia nominal de 8.2 kW. Los reactores anóxicos tienen 46.6 m de largo, 13.5 m de ancho y una profundidad de agua de 6.0 m y una capacidad de operación de 3,774.6 m<sup>3</sup>. Cada reactor anóxico cuenta con dos agitadores sumergibles, marca Flygt, modelo SR4650.410 un diámetro de propela de 580 mm, velocidad de 600 RPM y una potencia nominal de 6 kW. Los reactores aerobios tienen 23.3 m de largo y 46.95 m de ancho, con una profundidad del agua de 6.0 m y una capacidad de operación de 6,563.6 m<sup>3</sup>.

El sistema para el suministro de aire para los reactores aerobio está conformado por el sistema de difusores de burbuja fina (SD-306 A hasta D)

y por los sopladores centrífugos multietapa (SO-308 A hasta D/E). Cada reactor aerobio cuenta con dos sistemas de difusión tipo burbuja fina-disco, marca EDIFLEXAIR, con un diámetro efectivo de 9 in.

La descarga proveniente de cada uno de los reactores aeróbicos es vertida en una caja de colección para después ser direccionada hacia los clarificadores secundarios correspondientes.



**Figura 609. Sistema de remoción biológica de nutrientes**



**Figura 610. Sistema de remoción biológica de nutrientes**



### **29.1.4 SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA**

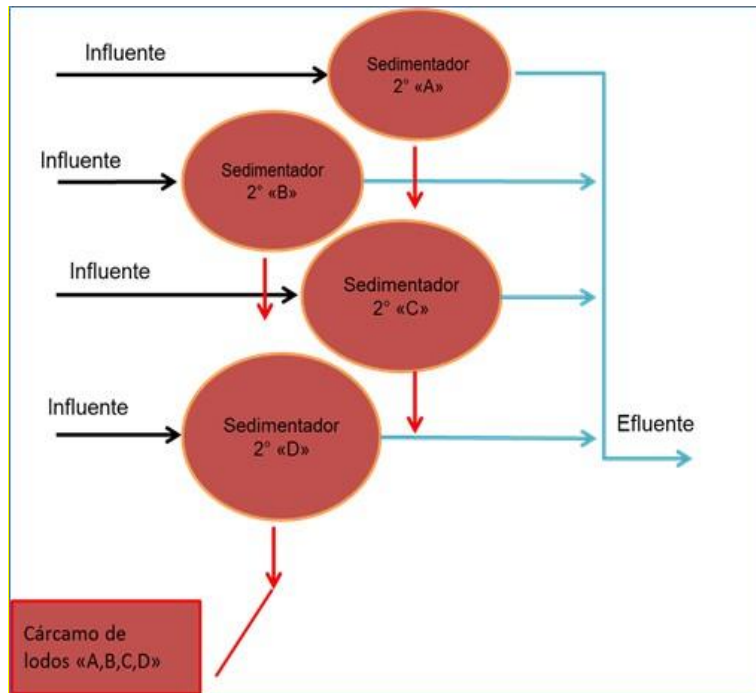
El flujo proveniente de la segunda sección de cada reactor aerobio es conducido hacia el clarificador secundario correspondiente.

La planta cuenta con cuatro sedimentadores secundarios (CS-400 A hasta D), los cuales han sido diseñados para manejar en conjunto el flujo promedio de 2,250 L/s un flujo por unidad de 562.5 L/s. Estos sedimentadores son circulares con 54 m de diámetro y una profundidad del agua de 4.5 m, con rastras diametrales de tracción periférica. La capacidad de cada sedimentador secundario es de 3,280.5 m<sup>3</sup>. La carga de sólidos en los clarificadores secundarios incluyendo el caudal de recirculación no excede el valor límite de 5.25 kg/m<sup>2</sup>/h considerando un flujo promedio de 2,250 L/s.

La descarga de cada reactor aerobio ingresa hacia cada sedimentador secundario por la parte inferior central del mismo, ascendiendo por la columna central hacia el cuerpo del clarificador mediante el anillo de distribución.

Los lodos secundarios sedimentados por el efecto de la gravedad son arrastrados por un brazo con rastras mecánicas y dirigidos hacia la parte central del fondo del clarificador. Por medio de la carga hidráulica disponible en el clarificador, dichos lodos son conducidos hacia el cárcamo de lodos secundarios (TQ-401).

La concentración de SST esperada en el lodo secundario extraído del sistema es de aproximadamente 1%. La recirculación de lodos es una operación continua, mientras que la purga de lodos se realiza de manera intermitente. Cada clarificador secundario cuenta con un mecanismo desnatador para la recolección de las natas acumuladas en la superficie de este. Estas natas son descargadas en una pequeña tolva para ser después conducidos por gravedad hacia el TQ-701.



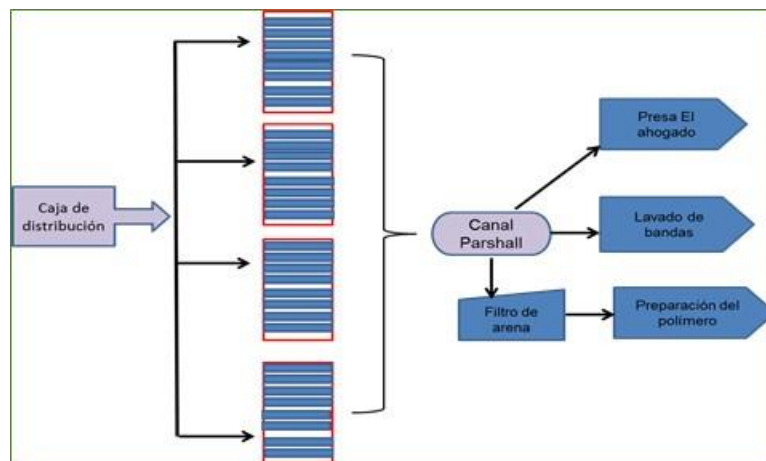
**Figura 611. Sedimentadores secundarios**

### 29.1.5 DESINFECCIÓN CON LUZ ULTRAVIOLETA

El efluente de los clarificadores secundarios es conducido a la caja de distribución (CD-501) para después ser llevado hacia los cuatro bancos (canales) de desinfección (LUV-502 A hasta D). Cada canal de desinfección está conformado por 21 módulos de lámparas y cada módulo de lámparas contiene 8 lámparas de baja presión-alta intensidad, para dar un total de lámparas instaladas de 672, el valor de transmitancia utilizado para el diseño del sistema de desinfección ha sido de 60% a 254 nm y 1 cm, estas lámparas tienen una potencia de 250 kW cada una marca Trojan, modelo

UV3000plus. El ancho de cada canal es de 2.34 m de ancho, 7.3 m de largo y 1.47 m de altura total.

El sistema ha sido diseñado para cumplir con el requerimiento de coliformes fecales en el efluente desinfectado aún bajo condiciones de flujo máximo instantáneo de 4,050 L/s, y con un módulo fuera de operación. A la salida del proceso de desinfección, el agua tratada y desinfectada es conducida al tanque de distribución de agua tratada (TQ-505), posteriormente el efluente es descargado través del medidor Parshall (MP-504) para conocer su caudal con ayuda de un medidor de flujo ultrasónico, para después descargar al tanque (TQ-506), y finalmente ser enviado ya sea a la presa El Ahogado y/o al cárcamo de bombeo de la CEA.



**Figura 612. Sistema de desinfección con luz ultravioleta**

### 29.1.6 AGUA DE SERVICIOS

El agua de servicios internos de la PTAR se toma del cárcamo de agua tratada para servicios (TQ-505), y se utiliza en los siguientes servicios:

- Limpieza en área del cárcamo de agua cruda
- Limpieza en área de rejillas gruesas automáticas.
- Limpieza de compactadores de sólidos de rejillas gruesas.
- Limpieza en área de rejillas finas automáticas.
- Limpieza de compactadores de sólidos de rejillas finas.
- Limpieza de desarenador-desengrasador.
- Lavado de arenas en clasificadores de arenas.
- Flush de líneas de lodos primarios.
- Limpieza de desnatadores en clarificadores primarios.
- Flush de líneas de lodos secundarios.
- Reposición de agua para biofiltro de sistema de control de olores.
- Lavado de bandas de espesadores y filtros banda.
- Flush de bombas de lodos.
- Flush de intercambiadores de calor.
- Riego de áreas verdes.

Para el suministro de agua sin filtrar a los servicios antes mencionados se contará con dos bombas de servicios (BC-507 A/B), una (1) en operación y una (1) en reserva, del tipo centrífuga horizontal.

Los sistemas de preparación de polímero y su respectiva post-dilución requerirán agua filtrada y para este servicio se contará con dos bombas (BC-605 A/B), una (1) en operación y una (1) en reserva, del tipo centrífuga horizontal, que tomarán el agua del tanque de agua tratada (TQ-505) y enviarán el agua al filtro multimedia (FA-606) de 2.2 m de diámetro, antes de ser enviada a los sistemas de preparación de polímero y para la post-dilución de la solución de polímero. El agua para el retrolavado del filtro multimedia será suministrada por bombas (BC-614 A/B). El agua de retrolavado será enviada después al tanque de agua recuperada (TQ-706). Tanto el inicio del proceso de retrolavado, como la secuencia y duración de este, se llevará a cabo en forma automática.



**Figura 613. Agua de servicios**

## 2.2 TRATAMIENTO DE LODOS

El tren para el tratamiento de lodos se divide en las siguientes etapas:

- ❖ Espesamiento de lodos con espesadores tipo banda.
- ❖ Digestión anaeróbica mesofílica.
- ❖ Deshidratación de lodos con filtros de banda.
- ❖ Preparación y dosificación automática de polímero.
- ❖ Sistema de cogeneración de energía eléctrica.
- ❖ Colección y disposición de lodos deshidratados (monorrelleno)

Un diagrama de flujo del proceso de lodos residuales se muestra en la Figura 614.

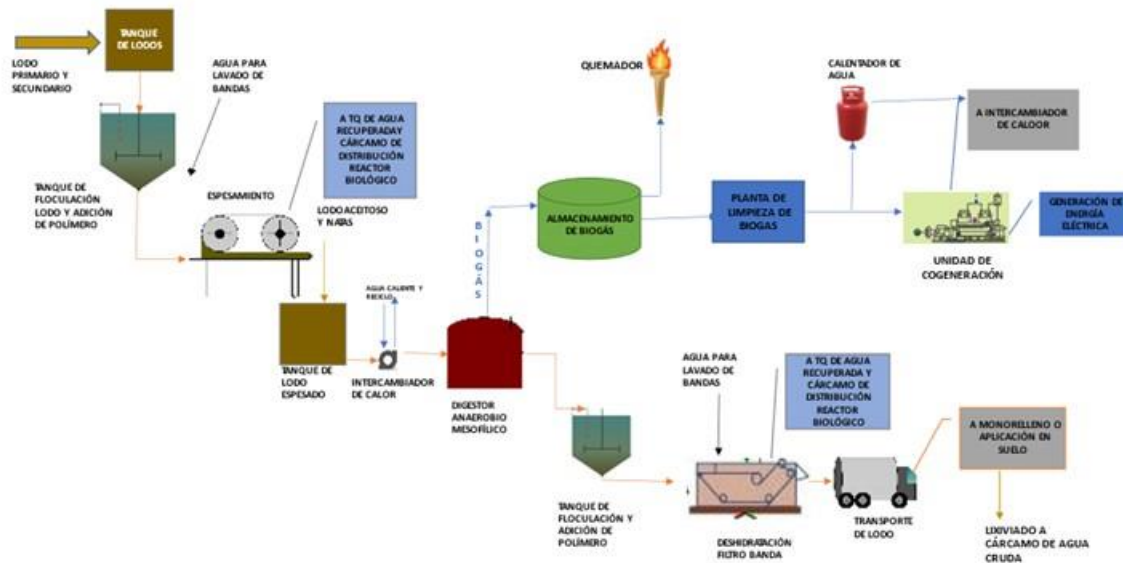


Figura 614. Tren de tratamiento de lodos residuales (elaboración propia)

### 29.1.7 SISTEMA DE CONTROL DE OLORES

El diseño incluye un sistema de control y tratamiento de olores para las etapas de pretratamiento, manejo de residuos del cribado, cárcamo de bombeo de agua cruda, sedimentación primaria, espesamiento de lodos, tanque de mezclado y almacenamiento de lodos espesados, así como en el sistema de deshidratación de lodos.

Para cumplir con este requerimiento, se seleccionó el uso de un biofiltro modular cerrado con medio filtrante sintético. En este sistema los compuestos orgánicos son biológicamente oxidados a  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y sales orgánicas, mientras que el  $\text{H}_2\text{S}$  lo será a compuestos oxidados del azufre como  $\text{SO}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{-2}$ . El aire limpio será descargado a la atmósfera mediante un soplador (SO-612 A/B, uno en operación y otro como relevo) donde se podrá monitorear la calidad del aire. La eficiencia de remoción de  $\text{H}_2\text{S}$  en el biofiltro será del 99%.

Se consideraron cubiertas de lámina plástica en los puntos de generación de olores para su contención y extractores de aire para el envío del aire oloroso a su tratamiento en un biofiltro modular con medio filtrante sintético. Los puntos considerados para la extracción de olores son:

#### Pretratamiento:

- Caja de control (TQ-101)

- Caja de distribución a rejillas (CD-109)
- Canal de rejillas gruesas (CA-110 A-B-C-D)
- Canal de rejillas finas (CA-115 A-B-C-D-E-F)
- Desarenador (DA-121 A-B-C-D) (la ventilación se efectuará en la caja CD-124)
- Caja de distribución a clarificadores primarios (CD-124)
- Tanque de grasas y aceites (TQ-127)

**Tratamiento Primario:**

- Clarificadores Primarios (CP-200 A-B-C-D)
- Tanque de natas (TQ-205)
- Cárcamo de lodos primarios (TQ-201)

**Tratamiento de lodos:**

- Tanque de mezcla de lodos (TQ-701)
- Tanque de lodos espesados (TQ-801)
- Tanque de lodos digeridos (TQ-810 A-B)
- Espesadores de banda (ES-704 A-B-C)
- Filtros Banda (FB-901 A-B-C-D-E-F)

## **29.2 Estado de las unidades de proceso**

La PTAR tiene una capacidad de procesar un flujo promedio de 2.25 m<sup>3</sup>/s, actualmente el caudal que se está tratando es de 2.25 m<sup>3</sup>/s es decir se encuentra actualmente a su máxima capacidad de tratamiento. La PTAR recibe las aguas residuales generadas por los municipios de Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, el Salto y Tlajomulco de Zúñiga lo que representa el 18% del agua residual generada en la zona metropolitana de Guadalajara.

Durante la evaluación se encontró que la PTAR se encuentra en buenas condiciones de operación y de mantenimiento lo que genera una buena calidad de agua residual tratada.

### **29.2.1 Pretratamiento**

Durante la evaluación la caja donde se encuentran los equipos de pre-desbaste se encontró completamente saturada de sólidos de gran tamaño (Figura 615). No se logró percibir algún olor, esto se debe a que la caja de control cuenta con una cubierta plástica abatible como parte del sistema de control de olores Después es agua residual es enviada a un cárcamo de bombeo que contiene 12 bombas centrifugas sumergibles, marca Grundfos, modelo 53.1508.12.611, con una potencia de 150 kW cada bomba y con una capacidad de operar con un flujo promedio de 2,250 L/s. Durante el recorrido se encontraron en funcionamiento cuatro bombas.

El agua residual que es bombeada por estas bombas se envía a una caja de distribución. El agua residual se reparte hacia cuatro canales en donde se encuentran cuatro rejillas gruesas automáticas tipo vertical inclinado marca Headworks, modelo MAHR MS2 con una potencia de 2.24 kW. El ancho de las rejillas gruesas es de 1.45 m y una altura de 5.15 m. El espesor de las barras es de 8 mm con una separación entre rejillas de 38 mm. Seguido a ello se encuentran las rejillas finas, conformados por seis rejillas automáticas de 1.37 m ancho, 4.5 m de altura total, marca Ecomacchine, modelo EM31G100, potencia de 1.5 kW, tipo vertical inclinado y con una separación entre rejillas de 6 mm. Los sólidos colectados a través del cribado fino y grueso se descargan en una banda transportadora para su posterior compactación y disposición final. Las rejillas finas y gruesas se encontraron en buenas condiciones de operación y funcionamiento.

Después de las rejillas finas el agua residual pasa a través de una canal Parshall en donde se encontró cubierto y en buen estado. El medidor de flujo se encontró en funcionamiento y calibrado.





**Figura 615. Pre-desbaste en condiciones actuales**



**Figura 616. Rejillas gruesas**



**Figura 617. Rejillas finas**



**Figura 618. Canal Parshall**

El sistema desarenado-desengrasado se encontró en buenas condiciones de operación y mantenimiento. Se encontró que el desarenador “D” estaba fuera de operación dado que se encontraba en mantenimiento, mientras que los desarenadores “A”, “B” y “C” si se encontraban operando correctamente. Todos los desarenadores cuentan con una cubierta de lámina plástica como parte del sistema integral de control.



**Figura 619. Desarenadores-Desgrasadores**

Las arenas extraídas son enviadas a un clasificador de arenas el cual se encontró fuera de operación, las grasas y aceites se recolectan a un tanque de grasas y aceites. De acuerdo al operador es muy poca la cantidad de grasas y aceites que se recolecta por lo que el tanque de grasas y aceites se encontró fuera de operación.



**Figura 620. Clasificador de arenas fuera de operación.**



**Figura 621. Tanque de grasas y aceites fuera de operación**

### 29.2.2 Sedimentadores primarios

El flujo del agua proveniente de los cuatro tanques desarenado-desengrasado es llevado a una caja de distribución de 10.7 m de largo y 2.9 m de ancho, para dispensar el agua hacia los cuatro sedimentadores primarios de 40 m de diámetro. Cada sedimentador cuenta con un desnatador que recolecta las natas conduciéndolas al tanque de natas, donde son retiradas por bombas sumergibles, marca Flygt, modelo OP3045.181MT con capacidad de 5 L/s y una potencia de 1.34 kW hacia el tanque de grasas y aceites. El lodo primario es enviado a través de bombas centrífugas in atascables, marca Cornell, modelo SR4620.410 y una potencia de 3.73 kW hacia el tanque de mezcla de lodos a espesamiento. Los sedimentadores primarios cuentan con cubiertas de lámina plástica con extracción de olores, de esta manera se evita el desprendimiento de H<sub>2</sub>S (ácido sulfhídrico), y eliminando la posible generación de olores en dicha zona. Actualmente cada sedimentador está operando con una carga hidráulica superficial de 38.67 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d y un TRH de 2.5 h (Tabla 213). No se pudieron visualizar la nivelación de los vertederos. Se pudieron observar una cierta cantidad de sólidos flotantes en los cuatro sedimentadores primarios



Figura 622. Sedimentadores primarios

Tabla 213. Carga hidráulica superficial actual en los sedimentadores primarios

| Sedimentador primario | Flujo diseño (m <sup>3</sup> /s) | Flujo actual (m <sup>3</sup> /s) | Carga hidráulica superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d) | TRH (h) |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|---------|
| A                     | 0.5625                           | 0.5625                           | 38.67  | 2.8     |
| B                     |                                  |                                  | 38.67  | 2.8     |
| C                     |                                  |                                  | 38.67  | 2.8     |
| D                     |                                  |                                  | 38.67  | 2.8     |



Figura 623. Sedimentadores primarios

### 29.2.3 Sistema de tres etapas para la remoción biológica de nutrientes

El sobrenadante de los sedimentadores primarios es llevado a una caja de distribución donde se mezcla con el licor mezclado proveniente de la recirculación del sedimentador secundario, una vez mezclado se distribuye a las zonas de amortiguamiento.



**Figura 624. Caja de amortiguamiento**

Durante el recorrido se pudo observar que en los reactores “A” y “D” anaerobios presentaban una agitación excesiva de las aspas, debido a que las turbinas que se utilizan para homogenizar el agua estaban operando con una potencia lo que puede generar oxígeno en el proceso inhibiendo a los metanógenos y afectando su eficiencia de tratamiento para la remoción de nutrientes.





**Figura 625. Reactores anaerobios con exceso de turbulencia**

También se pudieron observar varias zonas muertas dentro de los reactores anaerobios, generándose la formación de tortas de lodo deshidratadas sobre la superficie de los reactores lo que pudiera generar una menor capacidad de transferencia de masa para llevar a cabo la remoción de los contaminantes. Cabe mencionar que los reactores anaerobios se encuentran expuestos al aire libre. No se percibió olor séptico en los reactores anaerobios. El color de los lodos fue de café claro. Las estructuras civiles y equipos se encontraron en buen estado. No se observó corrosión en las estructuras metálicas y en los equipos. El tiempo de residencia hidráulica (TRH) actual en el reactor es de 1.74 h.



**Figura 626. Presencia de zonas muertas en los reactores anaerobios**

En los cuatro reactores anóxicos se observaron pequeñas burbujas en toda la superficie de los reactores indicando que posiblemente se estén llevando a cabo el proceso de desnitrificación. Se observó un lodo café claro con olor a tierra mojada. En el reactor anóxico D se encontró con algunas zonas muertas. Los reactores anóxicos se encontraron en buen funcionamiento. Tanto las obras civiles como las estructuras metálicas y equipos se encontraron en buen estado. El TRH actual de los reactores anóxicos es de 1.86 h.



**Figura 627. Reactores anóxicos**

En los cuatro reactores aerobios como se muestra en la Figura 628 se observaron espumas de color café claro, lo cual es un indicativo de que el lodo presente es joven. Además, se encontraron espumas blancas indicando la presencia de detergentes en el agua residual o a una alta concentración de sólidos suspendidos totales (SST). Se percibió un olor a tierra mojada en los cuatro módulos aerobios. Cada reactor aerobio cuenta con sensores para determinar la concentración de oxígeno disuelto (OD), nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y SST. Las lecturas tomadas in situ de OD,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  y SST fue variada y no es confiable posiblemente a que los electrodos se encuentran en mal estado o no han sido calibrados. Actualmente el TRH de los reactores aerobios es de 3.24 h. Las estructuras civiles y metálicas se encuentran en buen estado.





**Figura 628. Reactores aerobios**



**Figura 629. Sensores colocados en los reactores aerobios**

En la Tabla 214 se muestra las condiciones actuales de operación del sistema biológico con remoción de nutrientes.

**Tabla 214. TRH de operación de los reactores biológicos**

| Reactor        | Flujo de diseño (m <sup>3</sup> /s) | Flujo actual (m <sup>3</sup> /s) | TRH operación (h) |          |          |          |
|----------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|
|                |                                     |                                  | Modulo A          | Módulo B | Módulo C | Módulo D |
| Anaerobio      | 0.5625                              | 0.5625                           | 1.74              | 1.74     | 1.74     | 1.74     |
| Anóxico        |                                     |                                  | 1.86              | 1.86     | 1.86     | 1.86     |
| Aerobio        |                                     |                                  | 3.24              | 3.24     | 3.24     | 3.24     |
| TRH global (h) |                                     |                                  | 6.84              | 6.84     | 6.84     | 6.84     |

#### 29.2.4 Sedimentadores secundarios

Cada tanque del sistema de biológico cuenta con un sedimentador secundario, los cuatro sedimentadores secundarios que se muestran en la Figura 630 han sido diseñados para manejar en conjunto un flujo promedio de 2,250 L/s y un flujo por unidad de 562.5 L/s, Actualmente la carga hidráulica superficial de cada sedimentador secundario es de 21.22 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d con un TRH de 1.62 h. La obra civil de los cuatro sedimentadores secundarios se encontraba en un buen estado, no presentaba fugas o grietas de ningún tipo mostrado. Se observó la presencia de lodos flotantes en la superficie del agua de cuatro sedimentadores secundarios esto probablemente a la edad del lodo el cual es joven y puede presentar una baja sedimentabilidad. Los cuatro sedimentadores presentaban un notable desnivel en los vertederos, asimismo en algunas zonas de ya no contaban con vertederos ocasionando de esta manera el escape de los sólidos flotantes hacia el efluente de los sedimentadores secundarios y una mala distribución del agua en la circunferencia de los sedimentadores incrementándose la velocidad del agua a través de los vertederos. Esto presenta problemas grandes en la siguiente etapa del proceso el cual es la desinfección con lámparas de luz UV.

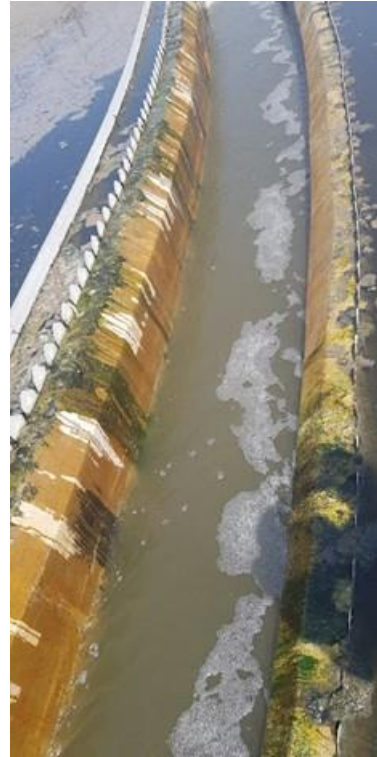




Figura 630. Desnivelación y falta de vertederos en los sedimentadores secundarios

Tabla 215. Carga hidráulica superficial actual en los sedimentadores primarios

| Sedimentador primario | Flujo diseño (m <sup>3</sup> /s) | Flujo actual (m <sup>3</sup> /s) | Carga hidráulica superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d) | TRH (h) |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|---------|
| A                     | 0.5625                           | 0.5625                           | 21.22  | 1.62    |
| B                     |                                  |                                  | 21.22  | 1.62    |
| C                     |                                  |                                  | 21.22  | 1.62    |
| D                     |                                  |                                  | 21.22  | 1.62    |

### 29.2.5 Desinfección con Luz UV

El sobrenadante de los sedimentadores secundarios es conducido a una caja de distribución de 3 m de longitud, 10.408 m de largo, una altura total de 5.614 m y una capacidad de operación de 151 m<sup>3</sup>, el cual donde se encuentra el sistema de lámparas de luz UV. En la Figura 631 se puede observar el posicionamiento del sistema de desinfección con lámparas de luz UV. Las lámparas se encontraron en funcionamiento. Para la limpieza de las lámparas de luz UV se utiliza un biocida el cual se dosifica in situ de manera automática cuatro veces al día durante 5 minutos. Debido a la gran cantidad de sólidos que se escapan de los sedimentadores secundarios las lámparas se encontraron sucias.



**Figura 631. Sistema de desinfección UV**

Una vez concluido el proceso de desinfección, el agua tratada y desinfectada es conducida a través de un canal Parshall donde se mide el caudal con ayuda de un medidor de flujo ultrasónico. Finalmente, el agua residual tratada enviada, ya sea a la presa “El Ahogado” y/o al cárcamo de bombeo de la CEA. La descarga final cuenta con sensores para medir en línea el OD, pH  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  y SST, sin embargo, estos no se encuentran en funcionamiento debido a la falta de mantenimiento.





**Figura 632. Descarga final del agua residual tratada de la PTAR El Ahogado.**



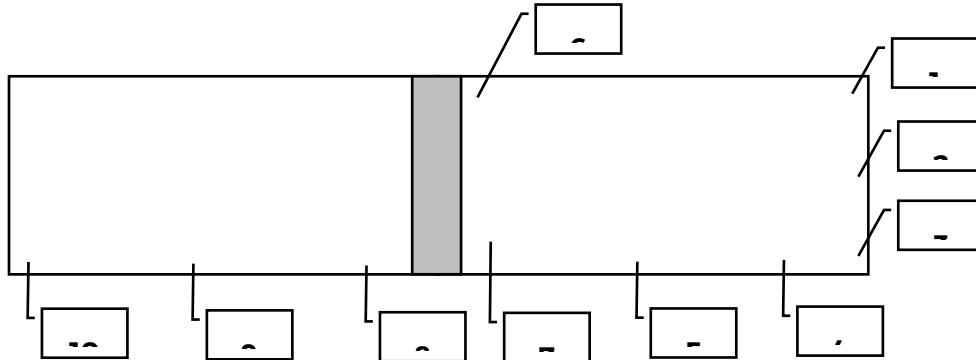
**Figura 633. Sensores colocados en la descarga final de la PTAR El Ahogado**

## **Perfiles de pH, oxígeno disuelto, potencial Redox, conductividad eléctrica y temperatura en diferentes puntos y profundidades**

Con el objeto de determinar la distribución del pH, oxígeno disuelto, potencial Redox, conductividad eléctrica y temperatura en los reactores biológicos se realizaron mediciones en diferentes puntos y profundidades de todos los módulos que conforma el sistema biológico con remoción de nutrientes. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en cada módulo.

El pH de en los reactores variaron entre 7 y 7.3. El oxígeno disuelto se encontró en 1.38- 1.3 mg/L lo cual no indica condiciones anaerobias, sin embargo, el ORP fue negativo indicando condiciones anaerobias. Se observó las mismas condiciones en todos los reactores anaerobios y no existen diferencias en los parámetros tomados a las dos profundidades. Los reactores anóxicos trabajaron con pH entre 6.78 y 7.3, el oxígeno disuelto fue de 1.1 y 1.32 mg/L y un ORP negativo con valores característicos de un reactor anaerobio excepto para algunos puntos que si presenta ORP esperados para reactores anóxicos. Los reactores aerobios presentaron pH neutros con concentraciones de oxígeno disuelto entre 1.32 y 1.6 mg/L los cuales son bajos para un reactor aerobio con remoción de nutrientes. Así mismo, los ORP fueron negativos comportándose como reactores anóxicos.

## REACTOR ANAEROBIO A



| Punto | Profundidad (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) | Conductividad (μS/cm) | T(°C) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|-----------------------|-------|
| 1     | 1               | 7.32 | 1.33        | -213     | 1630                  | 27.5  |
|       | 4               | 7.33 | 1.38        | -209     | 1695                  | 27.6  |
| 2     | 1               | 7.31 | 1.32        | -219     | 1614                  | 27.6  |
|       | 4               | 7.32 | 1.26        | -242.3   | 1614                  | 27.6  |
| 3     | 1               | 7.32 | 1.27        | -94.2    | 1529                  | 27.6  |
|       | 4               | 7.3  | 1.25        | -233     | 1616                  | 27.6  |
| 4     | 1               | 7.32 | 1.28        | 200      | 1617                  | 27.6  |
|       | 4               | 7.31 | 1.25        | -270     | 1615                  | 26.6  |
| 5     | 1               | 7.32 | 1.27        | -213     | 1622                  | 27.6  |
|       | 4               | 7.28 | 1.27        | -254.9   | 1618                  | 27.6  |
| 6     | 1               | 7.32 | 1.32        | -194.7   | 1625                  | 27.6  |
|       | 4               | 7.3  | 1.26        | -269.8   | 1623                  | 27.55 |
| 7     | 1               | 7.32 | 1.27        | -196.6   | 1625                  | 27.6  |
|       | 4               | 7.3  | 1.26        | -270     | 1623                  | 27.6  |
| 8     | 1               | 7.32 | 1.25        | -278     | 1620                  | 27.6  |
|       | 4               | 7.28 | 1.24        | -312.7   | 1622                  | 27.5  |
| 9     | 1               | 7.31 | 1.27        | -199.9   | 1613                  | 27.5  |
|       | 4               | 7.29 | 1.25        | -325.8   | 1623                  | 27.6  |
| 10    | 1               | 7.31 | 1.38        | -184.3   | 1620                  | 27.5  |
|       | 4               | 7.29 | 1.27        | -249.1   | 1623                  | 27.6  |

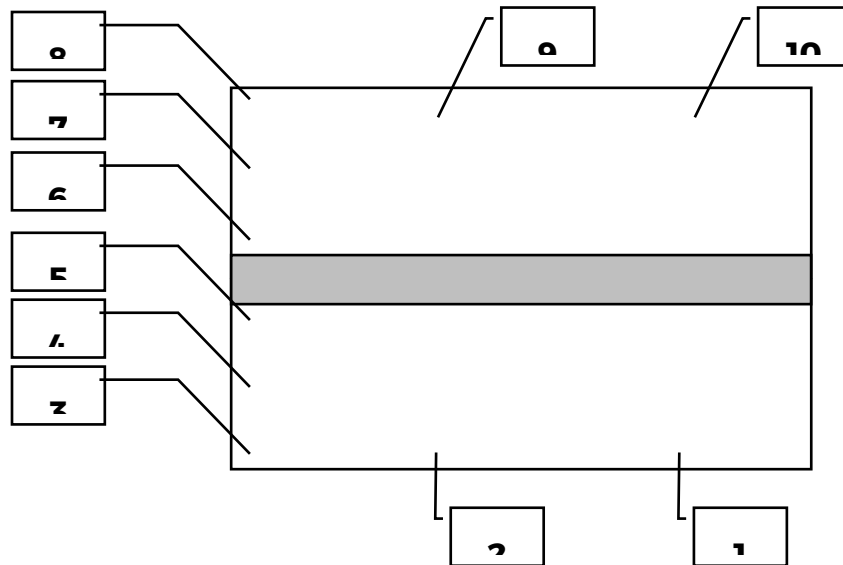




**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



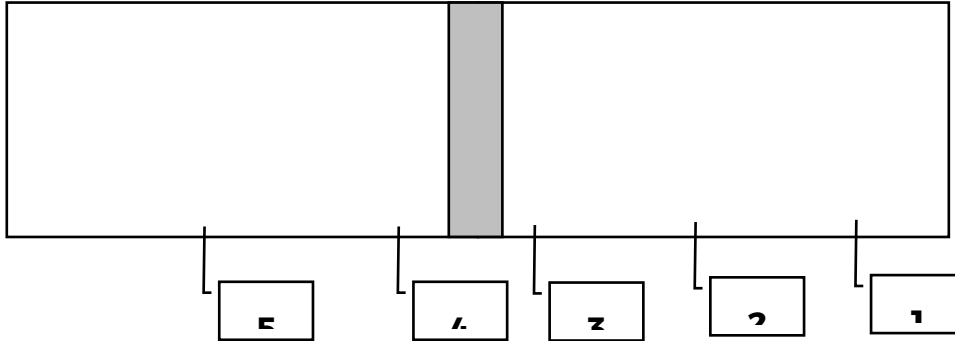
### REACTOR ANÓXICO A



| Punto | Profundidad (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) | Conductividad (μS/cm) | T(°C) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|-----------------------|-------|
| 1     | 1               | 7.32 | 1.46        | -357.4   | 1792                  | 27.6  |
|       | 4               | 6.72 | 1.36        | -392.7   | 1920                  | 26.6  |
| 2     | 1               | 7.31 | 1.28        | -376.1   | 1790                  | 27.6  |
|       | 4               | 7.3  | 1.28        | -393.8   | 1789                  | 26.6  |
| 3     | 1               | 7.32 | 1.32        | -360.4   | 1788                  | 26.2  |
|       | 4               | 6.78 | 1.38        | -380.4   | 1945                  | 26.6  |
| 4     | 1               | 7.31 | 1.30        | -369.1   | 1790                  | 26.6  |
|       | 4               | 7.23 | 1.31        | -381.5   | 1785                  | 26.6  |
| 5     | 1               | 7.31 | 1.31        | -359.9   | 1785                  | 26.6  |
|       | 4               | 7.29 | 1.31        | -365.1   | 1787                  | 26.6  |
| 6     | 1               | 7.31 | 1.32        | -238.6   | 1817                  | 26.6  |
|       | 4               | 7.14 | 1.32        | -258.9   | 1750                  | 27.6  |
| 7     | 1               | 7.3  | 1.33        | -331.1   | 1740                  | 26.6  |
|       | 4               | 7.22 | 1.32        | -353.8   | 1790                  | 26.2  |
| 8     | 1               | 7.32 | 1.35        | -331.9   | 1785                  | 26.6  |
|       | 4               | 7.3  | 1.32        | -356.8   | 1792                  | 26.6  |
| 9     | 1               | 7.1  | 1.3         | -117.5   | 1945                  | 26.6  |

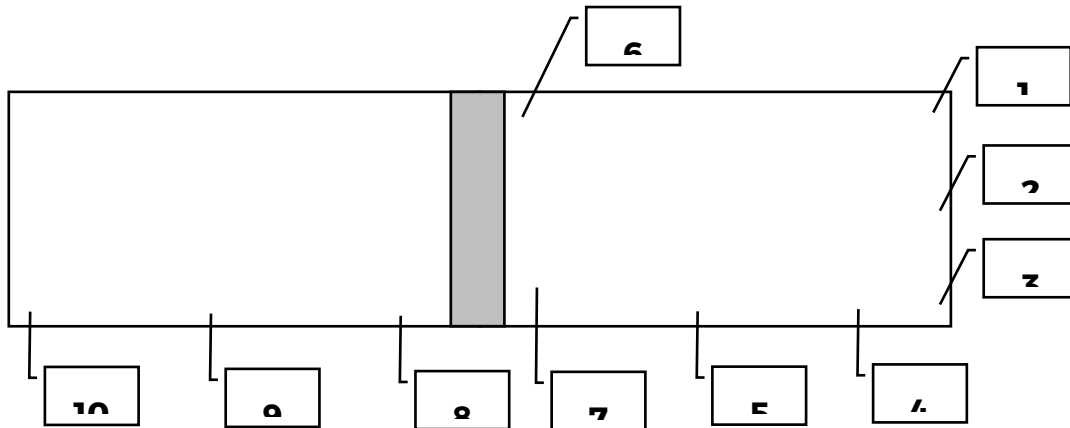
| <b>Punto</b> | <b>Profundidad<br/>(m)</b> | <b>pH</b> | <b>O.D.<br/>(mg/L)</b> | <b>ORP<br/>(mV)</b> | <b>Conductividad<br/>(<math>\mu</math>S/cm)</b> | <b>T(°C)</b> |
|--------------|----------------------------|-----------|------------------------|---------------------|---|--------------|
|              | 4                          | 7.0       | 1.31                   | -120.7              | 1790  | 26.6         |
| 10           | 1                          | 7.0       | 1.4                    | -43.6               | 1785  | 26.6         |
|              | 4                          | 7.06      | 1.3                    | -42.6               | 1792  | 26.7         |

### REACTOR AEROBIO A



| Punto | Profundidad (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) | Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ) | T( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|------------------------------------|-------------------------|
| 1     | 1               | 6.98 | 1.38        | -68.7    | 1329                               | 28.2                    |
|       | 4               | 6.96 | 1.32        | -62.3    | 1343                               | 28.2                    |
| 2     | 1               | 6.69 | 1.4         | -37.5    | 1329                               | 28.2                    |
|       | 4               | 6.97 | 1.32        | -54      | 1346                               | 28.2                    |
| 3     | 1               | 6.98 | 1.45        | -29      | 1350                               | 28.2                    |
|       | 4               | 7.03 | 1.31        | -45.3    | 1374                               | 28.2                    |
| 4     | 1               | 7.09 | 1.36        | -26.5    | 1370                               | 28.2                    |
|       | 4               | 7.07 | 1.30        | -41.7    | 1356                               | 28.2                    |
| 5     | 1               | 7.09 | 1.34        | -23.9    | 1330                               | 28.2                    |
|       | 4               | 7.07 | 1.29        | -30.8    | 1329                               | 28.2                    |

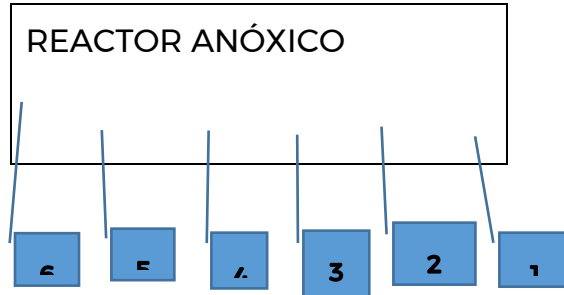
## REACTOR ANAEROBIO B



| Punto | Profundidad (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) | Conductividad (μS/cm) | T(°C) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|-----------------------|-------|
| 1     | 1               | 7.17 | 1.5         | -148.1   | 1568                  | 27.5  |
|       | 4               | 7.0  | 1.35        | -203.5   | 1573                  | 27.4  |
| 2     | 1               | 7.14 | 1.3         | -155     | 1534                  | 27.4  |
|       | 4               | 7.09 | 1.27        | -202.4   | 1550                  | 27.3  |
| 3     | 1               | 7.14 | 1.38        | -162.7   | 1560                  | 27.3  |
|       | 4               | 7.13 | 1.27        | -193.6   | 1563                  | 27.4  |
| 4     | 1               | 7.15 | 1.33        | -167.8   | 1560                  | 27.3  |
|       | 4               | 7.13 | 1.27        | -189.8   | 1568                  | 27.4  |
| 5     | 1               | 7.14 | 1.3         | -177.3   | 1532                  | 27.4  |
|       | 4               | 7.13 | 1.27        | -212.1   | 1560                  | 27.3  |
| 6     | 1               | 7.1  | 1.34        | -185.9   | 1605                  | 27.8  |
|       | 4               | 7.1  | 1.27        | -204.7   | 1604                  | 27.9  |
| 7     | 1               | 7.12 | 1.28        | -165.2   | 1602                  | 27.6  |
|       | 4               | 7.07 | 1.26        | -252     | 1605                  | 27.7  |
| 8     | 1               | 7.12 | 1.38        | -169.9   | 1610                  | 27.4  |
|       | 4               | 7.09 | 1.29        | -207.1   | 1608                  | 27.5  |
| 9     | 1               | 7.12 | 1.29        | -162.9   | 1605                  | 27.8  |
|       | 4               | 6.96 | 1.28        | -241.8   | 1604                  | 27.6  |
| 10    | 1               | 7.12 | 1.28        | -185.2   | 1630                  | 27.8  |

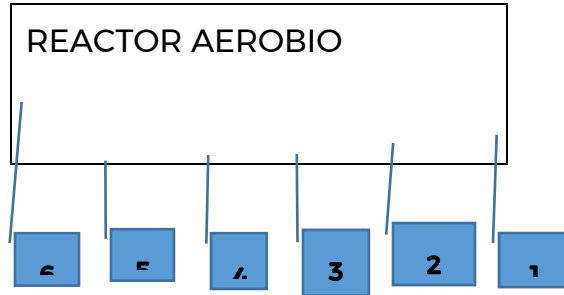
| <b>Punto</b> | <b>Profundidad<br/>(m)</b> | <b>pH</b> | <b>O.D.<br/>(mg/L)</b> | <b>ORP<br/>(mV)</b> | <b>Conductividad<br/>(<math>\mu</math>S/cm)</b> | <b>T(°C)</b> |
|--------------|----------------------------|-----------|------------------------|---------------------|---|--------------|
|              | 4                          | 7.11      | 1.26                   | -201.2              | 1624  | 27.9         |

### REACTOR ANÓXICO B



| Punto | Profundidad (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|
| 1     | 1               | 7.18 | 1.38        | -159.6   |
|       | 4               | 7.15 | 1.31        | -189.6   |
| 2     | 1               | 7.17 | 1.38        | -159.9   |
|       | 4               | 7.14 | 1.29        | -210     |
| 3     | 1               | 7.16 | 1.45        | -149.7   |
|       | 4               | 7.02 | 1.33        | -232.7   |
| 4     | 1               | 7.17 | 1.28        | -165.6   |
|       | 4               | 6.89 | 1.27        | -223.4   |
| 5     | 1               | 7.16 | 1.26        | -225.5   |
|       | 4               | 6.96 | 1.27        | -233.3   |
| 6     | 1               | 7.17 | 1.33        | -169.4   |
|       | 4               | 7.06 | 1.28        | -202.3   |

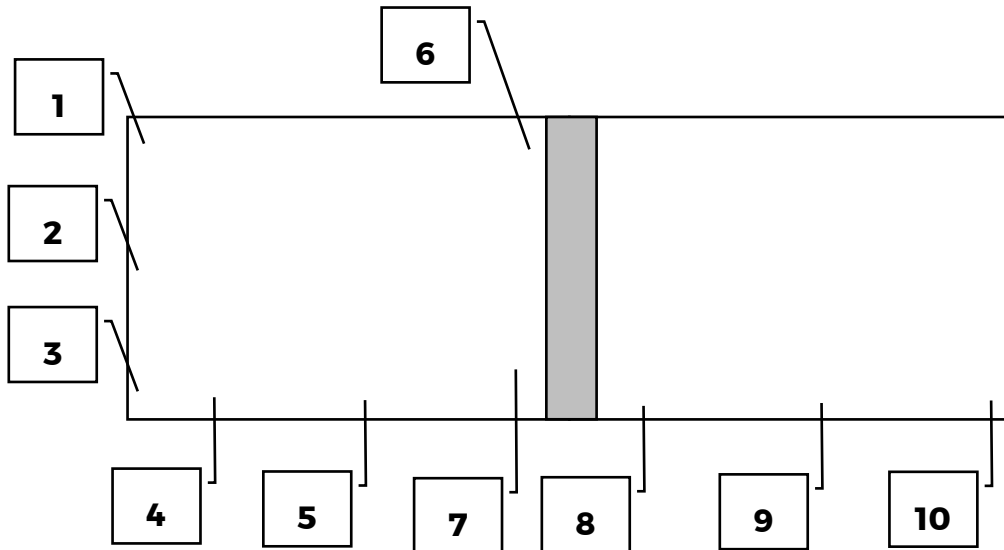
**REACTOR AEROBIO B**



| PUNTO | PROFUNDIDAD (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) | Conductividad (μS/cm) | T(°C) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|-----------------------|-------|
| 1     | 1               | 7.08 | 1.32        | -19.8    | 1355                  | 28.3  |
|       | 4               | 7.07 | 1.27        | -36.6    | 1361                  | 20.3  |
| 2     | 1               | 7.08 | 1.35        | -17.7    |                       |       |
|       | 4               | 7.07 | 1.28        | -73.8    |                       |       |
| 3     | 1               | 7.09 | 1.39        | -20.7    |                       |       |
|       | 4               | 7.07 | 1.28        | -33.8    |                       |       |
| 4     | 1               | 6.96 | 1.49        | -16      |                       |       |
|       | 4               | 7.04 | 1.28        | -27.3    |                       |       |
| 5     | 1               | 6.98 | 1.54        | 8.2      |                       |       |
|       | 4               | 6.94 | 1.29        | -3.3     |                       |       |
| 6     | 1               | 6.94 | 1.67        | 13.5     |                       |       |
|       | 4               | 6.94 | 1.44        | 10.5     |                       |       |



### REACTOR ANAEROBIO C



| PUNTO | PROFUNDIDAD (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) | Conductividad (μS/cm) | T(°C) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|-----------------------|-------|
| 1     | 1               | 7.17 | 1.5         | -148.1   | 1605                  | 27.8  |
|       | 4               | 7.0  | 1.35        | -203.5   | 1604                  | 27.9  |
| 2     | 1               | 7.14 | 1.3         | -155     |                       |       |
|       | 4               | 7.09 | 1.27        | -202.4   |                       |       |
| 3     | 1               | 7.14 | 1.38        | -162.7   |                       |       |
|       | 4               | 7.13 | 1.27        | -193     |                       |       |
| 4     | 1               | 7.15 | 1.33        | -167.8   |                       |       |
|       | 4               | 7.13 | 1.27        | -189.8   |                       |       |
| 5     | 1               | 7.14 | 1.3         | -177.3   |                       |       |
|       | 4               | 7.13 | 1.27        | -212.1   |                       |       |
| 6     | 1               | 7.11 | 1.34        | -185.9   |                       |       |
|       | 4               | 7.1  | 1.27        | -204.7   |                       |       |
| 7     | 1               | 7.12 | 1.28        | -165.2   |                       |       |
|       | 4               | 7.07 | 1.26        | -252.0   |                       |       |
| 8     | 1               | 7.12 | 1.38        | -169.9   |                       |       |
|       | 4               | 7.09 | 1.29        | -207.1   |                       |       |
| 9     | 1               | 7.12 | 1.29        | -162.9   |                       |       |

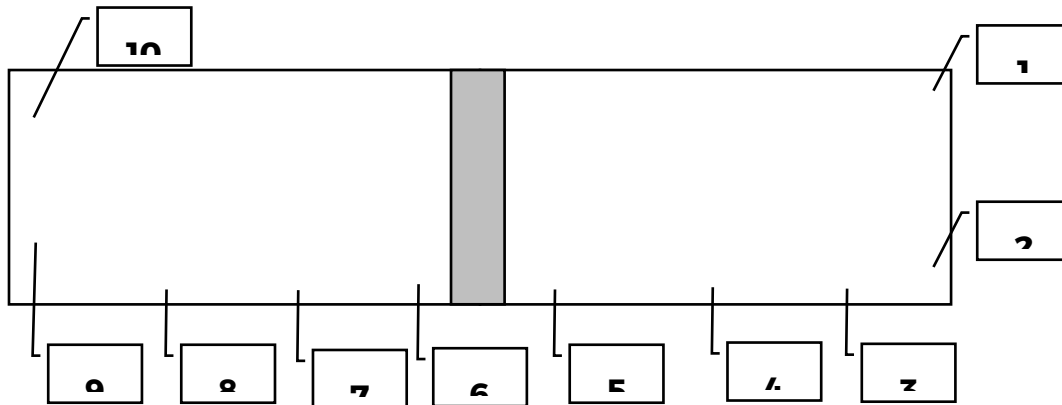


**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



|    |   |      |      |        |  |  |
|----|---|------|------|--------|--|--|
|    | 4 | 6.96 | 1.28 | -241.8 |  |  |
| 10 | 1 | 7.12 | 1.28 | -185.2 |  |  |
|    | 4 | 7.11 | 1.26 | -201.2 |  |  |

### REACTOR ANÓXICO C



| PUNTO | PROFUNDIDAD (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) | Conductividad (μS/cm) | T(°C) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|-----------------------|-------|
| 1     | 1               | 7.17 | 1.27        | -142     |                       |       |
|       | 4               | 7.15 | 1.26        | -167.7   |                       |       |
| 2     | 1               | 7.15 | 1.32        | -155     |                       |       |
|       | 4               | 7.15 | 1.27        | -170.9   |                       |       |
| 3     | 1               | 7.16 | 1.23        | -165.9   |                       |       |
|       | 4               | 7.15 | 1.28        | -177.7   |                       |       |
| 4     | 1               | 7.15 | 1.26        | -184.5   |                       |       |
|       | 4               | 7.15 | 1.25        | -192.0   |                       |       |
| 5     | 1               | 7.16 | 1.32        | -159.6   |                       |       |
|       | 4               | 7.15 | 1.26        | -183.0   |                       |       |
| 6     | 1               | 7.17 | 1.5         | -135.6   |                       |       |
|       | 4               | 7.15 | 1.34        | -170.2   |                       |       |
| 7     | 1               | 7.15 | 1.26        | -192.2   |                       |       |
|       | 4               | 7.02 | 1.29        | -197.4   |                       |       |
| 8     | 1               | 7.15 | 1.25        | -200.5   |                       |       |
|       | 4               | 7.14 | 1.25        | -204.2   |                       |       |
| 9     | 1               | 7.16 | 1.35        | -162.1   |                       |       |
|       | 4               | 7.15 | 1.28        | -178.9   |                       |       |
| 10    | 1               | 7.14 | 1.25        | -109.4   |                       |       |

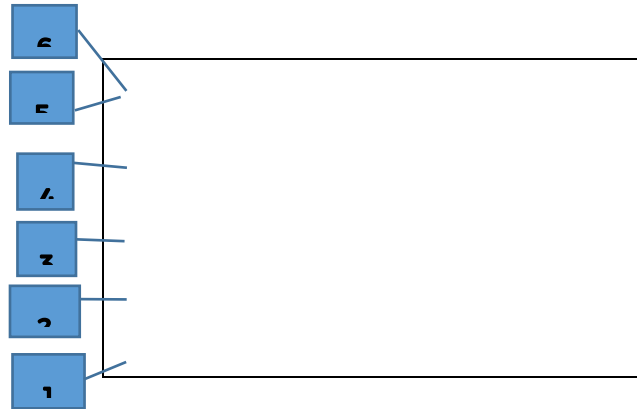


**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



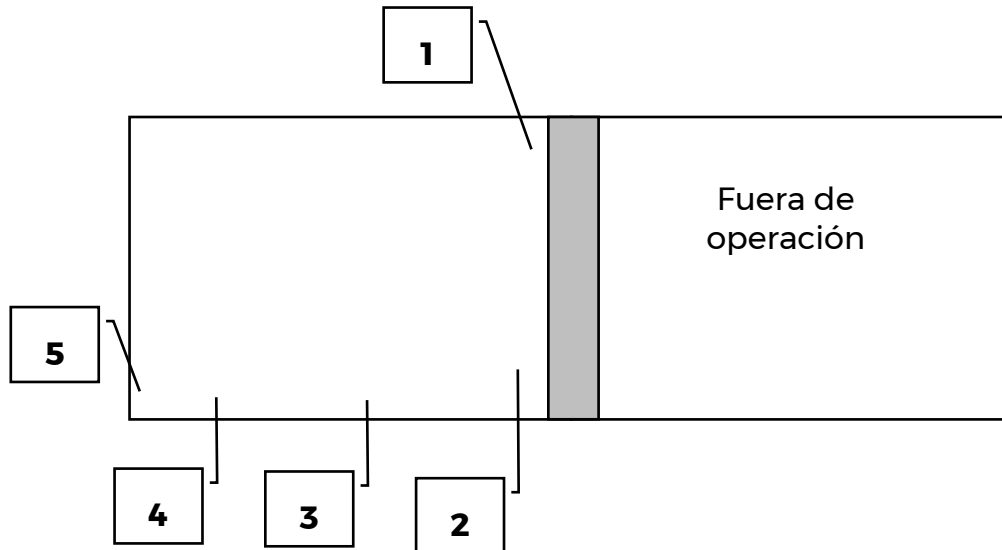
|  |   |      |      |        |  |  |
|--|---|------|------|--------|--|--|
|  | 4 | 7.15 | 1.25 | -196.2 |  |  |
|--|---|------|------|--------|--|--|

### REACTOR AEROBIO C



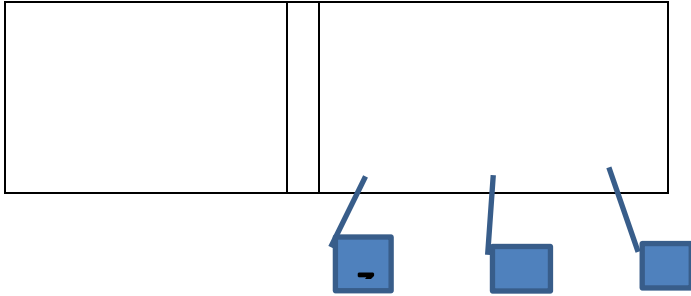
| PUNTO | PROFUNDIDAD (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|
| 1     | 1               | 7.06 | 1.43        | -70.9    |
|       | 4               | 7.04 | 1.44        | -58.5    |
| 2     | 1               | 7.06 | 1.44        | -27.0    |
|       | 4               | 7.05 | 1.3         | -30.7    |
| 3     | 1               | 7.05 | 1.35        | -15.2    |
|       | 4               | 7.06 | 1.26        | -20.3    |
| 4     | 1               | 7.19 | 1.3         | -27.9    |
|       | 4               | 7.17 | 1.25        | -36.2    |
| 5     | 1               | 7.19 | 1.33        | -35.4    |
|       | 4               | 7.18 | 1.28        | -40.4    |
| 6     | 1               | 7.20 | 1.44        | -13.5    |
|       | 4               | 7.19 | 1.30        | -26.8    |

### REACTOR ANAEROBIO D



| PUNTO | PROFUNDIDAD (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) | Conductividad (μS/cm) | T(°C) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|-----------------------|-------|
| 1     | 1               | 7.37 | 1.45        | -186.6   | 1597                  | 27.83 |
|       | 4               | 7.36 | 1.32        | -212.7   | 1598                  | 27.83 |
| 2     | 1               | 7.37 | 1.25        | -235.4   |                       |       |
|       | 4               | 7.36 | 1.26        | -228.8   |                       |       |
| 3     | 1               | 7.37 | 1.3         | -206.9   |                       |       |
|       | 4               | 7.36 | 1.26        | -222.2   |                       |       |
| 4     | 1               | 7.38 | 1.24        | -234.7   |                       |       |
|       | 4               | 7.36 | 1.24        | -235.9   |                       |       |
| 5     | 1               | 7.38 | 1.23        | -243.1   |                       |       |
|       | 4               | 7.3  | 1.23        | -251.2   |                       |       |

## REACTOR ANÓXICO D



| PUNTO | PROFUNDIDAD (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP    | Conductividad (μS/cm) | T(°C) |
|-------|-----------------|------|-------------|--------|-----------------------|-------|
| 1     | 1               | 7.37 | 1.46        | -96.9  | 1492                  | 28.1  |
|       | 4               | 7.34 | 1.33        | -189.0 |                       |       |
| 2     | 1               | 7.35 | 1.26        | -204.7 |                       |       |
|       | 4               | 7.04 | 1.29        | -217.6 |                       |       |
| 3     | 1               | 7.36 | 1.25        | -183.9 |                       |       |
|       | 4               | 7.05 | 1.25        | -220.5 |                       |       |

### REACTOR AEROBIO D

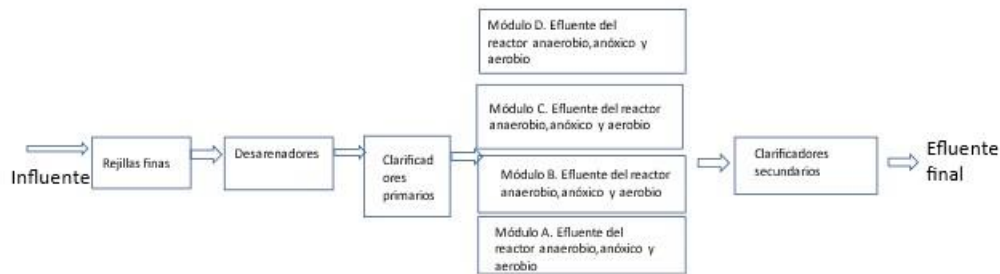


| PUNTO | PROFUNDIDAD (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) | Conductividad (μS/cm) | T(°C) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|-----------------------|-------|
| 1     | 1               | 7.45 | 1.47        | -82.7    |                       |       |
|       | 4               | 7.46 | 1.26        | -84.4    |                       |       |
| 2     | 1               | 7.46 | 1.32        | -73.9    |                       |       |
|       | 4               | 7.45 | 1.27        | -88.6    |                       |       |
| 3     | 1               | 7.48 | 1.30        | -58.2    |                       |       |
|       | 4               | 7.48 | 1.26        | -69.8    |                       |       |
| 4     | 1               | 7.44 | 1.36        | -35.6    |                       |       |
|       | 4               | 7.43 | 1.28        | -52.8    |                       |       |
| 5     | 1               | 7.43 | 1.38        | -29.8    |                       |       |
|       | 4               | 7.43 | 1.28        | -45.8    |                       |       |
| 6     | 1               | 7.44 | 1.39        | -24.7    |                       |       |
|       | 4               | 7.42 | 1.30        | -34.8    |                       |       |



### 29.3 Muestreo y calidad del agua residual

Para realizar el muestreo del agua residual en la PTAR se realizó previamente un recorrido a las instalaciones con el personal operativo de la PTAR, con el objetivo de seleccionar los puntos de muestreo más adecuados y para poder evaluar eficiencia las unidades de tratamiento que conforman la PTAR. Los puntos de muestreo seleccionados de la PTAR El Ahogado se muestran en la Figura 634. Se tomó una muestra compuesta del influente y de la descarga final de la PTAR tomando en cuenta los parámetros de calidad del agua que se señalan en la NOM Oficial Mexicana 001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021. Para evaluar la eficiencia actual de tratamiento se tomaron muestras simples de la salida de las rejillas finas, mezcla de la salida de los desarenadores y de los clarificadores primarios para parámetros de DQO y SST. Salidas de cada reactor anaerobio, anóxico y aerobio. Se tomaron muestras simples de sus efluentes para determinar DBO<sub>5</sub>, DQO, NT, N-NH<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub>, N-NO<sub>3</sub>, NTK, PT y P-ortofosfatos. Se tomaron muestras simples de toxicidad agua a la salida del clarificador secundario.



Puntos de muestreo: Influyente, efluente de rejillas finas (mezcla), efluente de desarenadores (mezcla), efluente de clarificadores primarios (mezcla), Salida de efluentes reactores anaerobios, anóxicos y aerobios de los cuatro módulos, efluente del clarificador secundario (mezcla), efluente final de PTAR

**Figura 634. Puntos de muestreo seleccionados en la PTAR El Ahogado**

En la Tabla 216 se muestra un resumen de los parámetros evaluados en cada punto de muestreo de la PTAR los cuales se seleccionaron de acuerdo con los parámetros de diseño de cada unidad de proceso de la PTAR.

**Tabla 216. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua**

| Parámetro | Descripción | Influyente | Efluente rejillas finas | Efluente desarenadores (mezcla) | Efluente clarificadores primarios (mezcla) | Efluente reactores anaerobios | Efluente reactores anóxicos A, | Efluente reactores aerobios | Salida clarificadores secundarios (mezcla) | Descarga final |
|-----------|-------------|------------|-------------------------|---------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--|----------------|
|           |             |            |                         |                                 |  |                               |                                |                             |  |                |

|                             |                             |                 |                 |                 |                 | bios A,<br>B, Cy D | B, Cy<br>D      | A,B,Cy<br>D     |                 |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|
|                             | No. de<br>muestras          | 1               | 1               | 1               | 1               | 4                  | 4               | 4               | 2               | 1                           |
| NOM-001-SEMARN AT-1996      | pH                          |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | Temp                        |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | Materia flotante            |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | Sól. Sed.                   |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | CyA                         |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | SST                         |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | DBO                         |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | N-NH3                       |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | N-NO2                       |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | N-NO3                       |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | NTK                         |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | NTK                         |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | PT                          |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | P-PO4                       |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | Metales                     |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
| HH                          |                             |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
| CF                          |                             |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
| PROY-NOM-001-SEMARN AT-2017 | DQO                         |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | Toxicidad aguda             |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | Color verdadero             |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
|                             | <i>E. coli</i>              |                 |                 |                 |                 |                    |                 |                 |                 |                             |
| Tipo de muestreo            | Compuesto, 24 h, 6 muestras | Muestreo simple | Muestreo simple | Muestreo simple | Muestreo simple | Muestreo simple    | Muestreo simple | Muestreo simple | Muestreo simple | Compuesto, 24 h, 6 muestras |

### 29.3.1 Resultados del muestreo compuesto

En la Tabla 217 se muestran los resultados del muestreo compuesto realizados en la PTAR. De acuerdo con el título de descarga de la PTAR, las aguas residuales tratadas se vierten a un cuerpo receptor tipo “B” que correspondería para la nueva NOM a “Ríos, arroyos, canales y drenes”. De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización de las aguas

residuales de la descarga final de la PTAR, todos los parámetros excepto el NT cumplen para la NOM-001-SEMARNAT-1996. Para la NOM-001-SEMARNAT-2021, los parámetros que no cumplen son el NT y la toxicidad aguda. La relación DQO/DBO del influente de la PTAR es de 2.93 indicando que la materia orgánica que llega a la PTAR es poco biodegradable. Los valores de la toxicidad aguda en el influente de la PTAR indican que el agua residual que llega a la PTAR es tóxica. Tanto los valores de la relación DQO/DBO y de la toxicidad indican que el agua residual cruda que llega a la PTAR de El Ahogado posiblemente contenga aportes de aguas residuales industriales.

**Tabla 217. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT 1996 y 2021.**

| Parámetro          | Unidades | Compuesto |          | NOM-001-SEMARNAT-1996  | NOM-001-SEMARNAT-2021          |
|--------------------|----------|-----------|----------|------------------------|--------------------------------|
|                    |          |           |          | Cuerpo receptor tipo B | Ríos, arroyos, canales, drenes |
|                    |          | Influente | Efluente | (PM)                   | (PM)                           |
|                    |          | (PM)      | (PM)     |                        |                                |
| pH                 | UpH      |           |          |                        |                                |
| Temperatura        | °C       |           |          | 40                     | 35                             |
| G y A              | mg/L     |           |          | 15                     | 15                             |
| promedio ponderado |          |           |          |                        |                                |
| Material Flotante  | A / P    |           | Ausente  | Ausente                | NA                             |
| S. Sed.            | ml/L     | 19        | <0,1     | 1                      | NA                             |
| SST                | mg/L     | 1407      | 12.7     | 75                     |                                |
|                    |          |           |          |                        | 60                             |
| DBO                | mg/L     | 683       | 1.7      | 75                     | NA                             |
| NT                 | mg/L     | 74.7      | 44.1     | 40                     | 25                             |
| PT                 | mg/L     | 9.59      | 1.94     | 20                     | 15                             |
| As                 | mg/L     | 0.0211    | 0.0071   | 0.1                    | 0.2                            |
| Cd                 | mg/L     | <0.030    | <0.030   | 0.1                    | 0.2                            |
| CN                 | mg/L     |           |          | 1                      | 1                              |

| Parámetro               | Unidades      | Compuesto  |                     | NOM-001-SEMARNAT-1996  | NOM-001-SEMARNAT-2021          |
|-------------------------|---------------|------------|---------------------|------------------------|--------------------------------|
|                         |               |            |                     | Cuerpo receptor tipo B | Ríos, arroyos, canales, drenes |
|                         |               | Influyente | Efluente            | (PM)                   | (PM)                           |
|                         |               | (PM)       | (PM)                |                        |                                |
| Cu                      | mg/L          | 0.08       | <0.050              | 4                      | 4                              |
| Cr                      | mg/L          | <0.10      | <0.10               | 0.5                    | 1                              |
| Hg                      | mg/L          | <0.0007    | <0.0005             | 0.005                  | 0.01                           |
| Ni                      | mg/L          | 0.13       | <0.10               | 2                      | 2                              |
| Pb                      | mg/L          | <0.10      | <0.10               | 0.2                    | 0.2                            |
| Zn                      | mg/L          | 0.71       | <0.10               | 10                     | 10                             |
| CF media geométrica     | NMP/100 ml    | 2.89E+06   | 282                 | 1000                   | NA                             |
| HH                      | H/L           | 1          | Cero                | 1                      | NA                             |
| DQO                     | mg/L          | 2002       | 54.6                | NA                     | 150                            |
| COT                     | mg/L          | NA         | NA                  | NA                     | 38                             |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 ml    | 2.80E+06   | 266                 | NA                     | 250                            |
| Color                   | Long. De onda |            |                     | NA                     | Coefficiente absorción         |
|                         |               |            |                     |                        | Espectral                      |
|                         |               |            |                     |                        | máximo                         |
|                         | 436 nm        | 8          | 0.9                 |                        | 7.0 m <sup>-1</sup>            |
|                         | 525 nm        | 5          | 0.2                 |                        | 5.0 m <sup>-1</sup>            |
| 620 nm                  | 3.5           | 0.1        | 3.0 m <sup>-1</sup> |                        |                                |
| Toxicidad aguda         | UT            | 8.08       | 59.8                | NA                     | 2                              |
|                         | 15 min        |            |                     |                        |                                |

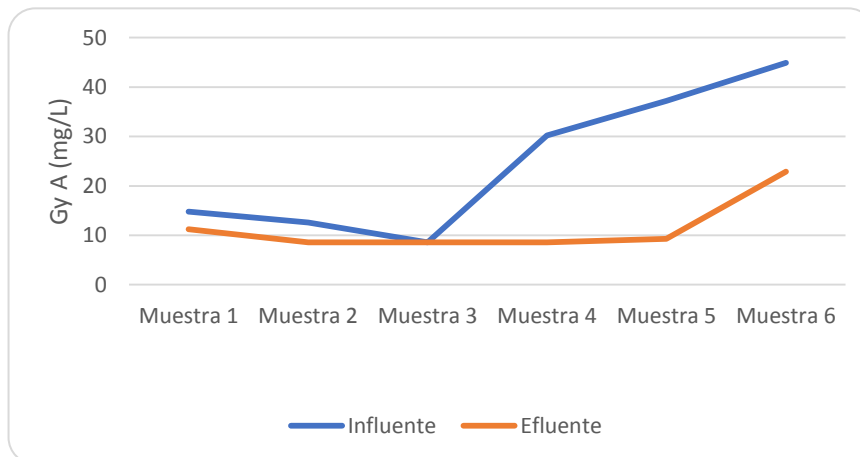
La eficiencia global de tratamiento de acuerdo con los resultados de la caracterización de las aguas residuales se muestra en la Tabla 218. Se puede observar que el sistema de tratamiento en las condiciones actuales presenta una buena remoción de materia orgánica medida como DBO y DQO. Se tiene una excelente remoción de CF y E. Coli. Se tiene una remoción parcial de grasas y aceites. Para los nutrientes, el sistema de

tratamiento genera bajas remociones de PT y una remoción parcial de NT. Cumple satisfactoriamente con el parámetro color y presenta bajas concentraciones de metales.

**Tabla 218. Eficiencia de remoción de los principales contaminantes en la PTAR de Zaragoza**

| Parámetro          | Remoción (%) |
|--------------------|--------------|
| DBO <sub>5</sub>   | 99.7         |
| DQO                | 97.3         |
| NT                 | 40.9         |
| PT                 | 79.8         |
| SST                | 99.0         |
| GyA                | 53.4         |
| Coliformes fecales | 99.9         |
| <i>E. coli</i>     | 99.9         |

Para las GyA las concentraciones en el influente oscilaron entre <8.56 y 44.9 mg/L. Las concentraciones de GyA detectadas en la descarga final variaron entre 22.9 y 8.56 mg/L. (Figura 47).



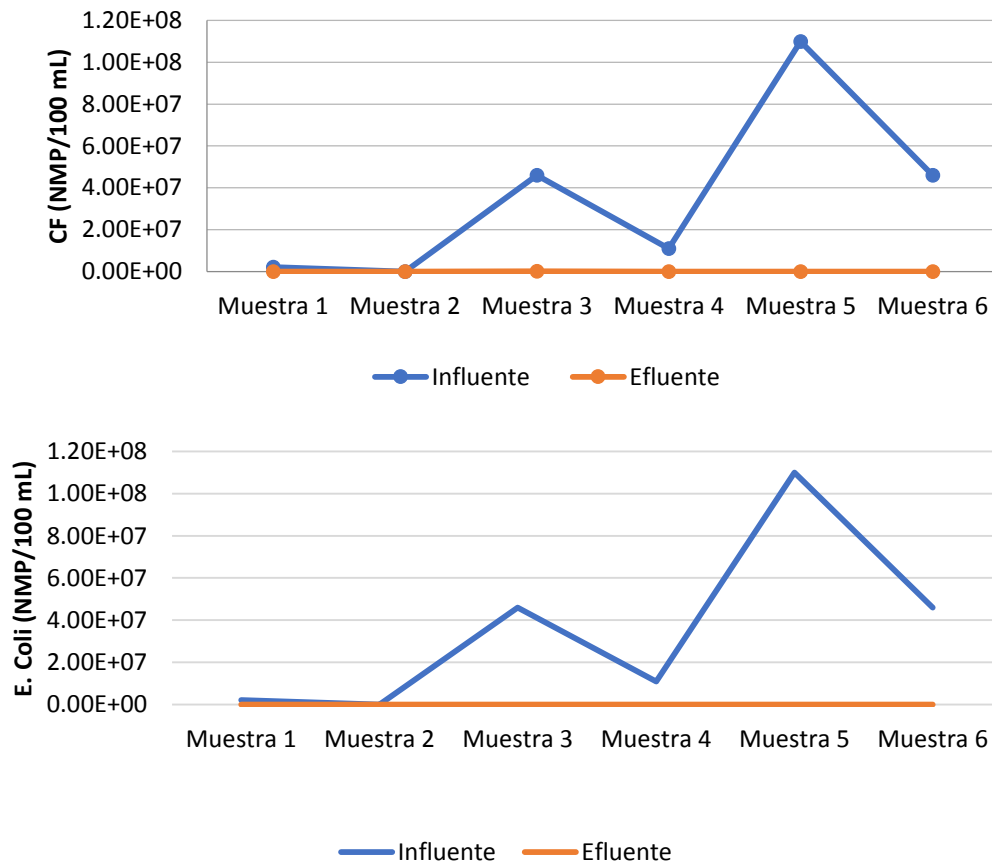
**Figura**

**635.**

**Concentración de GyA en el influente y efluente de la PTAR de El Ahogado**

Durante los primeros dos muestreos la concentración de CF y *E. coli* en el influente fueron valores menores a 2.1 E+06 NMP/100 mL para los CF y para

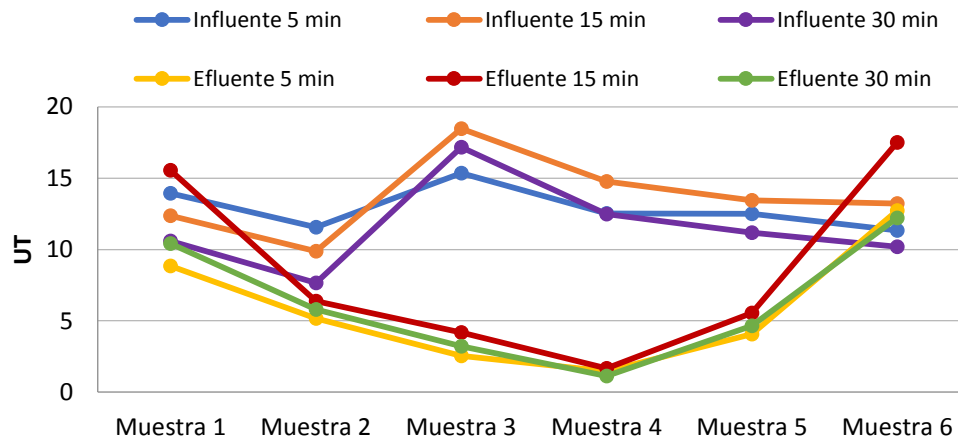
*E. coli* (Figura 636). A partir del muestreo 3 y hasta el muestreo 6 se observó un incremento en la concentración de las bacterias indicadoras de contaminación fecal con valores en el influente de hasta de  $1.1E+08$  NMP/100 mL para CF y *E. coli*, estos valores indican que durante esas descargas el influente contenía una alta contaminación fecal. La concentración promedio en términos de media geométrica de los CF y *E. coli* en el influente fueron de  $2.89 E+06$  y  $2.8E+06$  NMP/100 mL respectivamente. Una vez que pasó el agua residual a través del sistema de desinfección con luz ultravioleta la concentración de CF y *E. coli* disminuyó considerablemente alcanzando una concentración (media geométrica) de 282 NMP/100 mL para los CF y de 266 NMP/100 mL para *E.coli*.



**Figura 636. Variación de los CF y *E. coli* en el influente y descarga final de la PTAR de El Ahogado**

En la Figura 637 se muestran los resultados de las toxicidades determinadas en el influente y efluente de la PTAR. La toxicidad fue determinada en un periodo de 24 h tomando seis muestras simples. Como se puede observar el influente presenta una toxicidad alta alcanzándose valores de hasta 18.47 UT a los 15 minutos de exposición. La concentración letal medio (CE50) máxima fue 8.085% que corresponde con los altos valores de las UT en ese periodo de tiempo. La toxicidad a los 15 minutos de exposición vario entre 9.88 y 18.474 UT. Para el efluente se presentaron toxicidades más bajas comparadas con el influente, sin embargo, los valores de las toxicidades están por arriba de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Como se puede observar en la Figura 49, las toxicidades varían en el transcurso del día. Los valores de toxicidad en el efluente a los 15 minutos de exposición estuvieron en el rango de 1.669 hasta 17.51 UT.

### Toxicidad aguda (*Vibrio fischeri*)



### Toxicidad aguda (*Vibrio fischeri*)

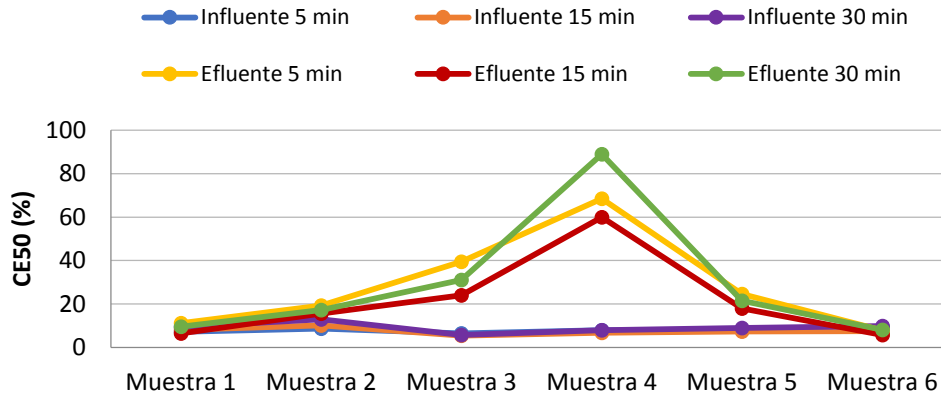


Figura 637. Toxicidad en el influente y efluente de la PTAR El Ahogado

### 29.3.2 Resultados de muestreo simple

Para la evaluación del sistema de tratamiento se tomaron muestras simples de salida de rejillas finas, salidas de desarenadores, salida de los clarificadores primarios, así como la salida de cada uno de los reactores anaerobios, anóxicos y aerobios que conforman la planta de tratamiento. También se realizaron análisis de toxicidad agua de dos muestras a la salida de los clarificadores secundarios (Tabla 219).

Tabla 219. Resultados del muestreo simple en los puntos seleccionados

| Punto de muestreo               | DBO <sub>5</sub> (mg/L) | DQO (mg/L) | SST (mg/L) | P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/L) | PT (mg/L) | N-NH <sub>3</sub> (mg/L) | NT (mg/L) | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L) | N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L) | NTK (mg/L) |
|---------------------------------|-------------------------|------------|------------|--|-----------|--------------------------|-----------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|
| Salida rejillas finas           |                         | 1003       | 497        |  |           |                          |           |                                       |                                       |            |
| Salida desarenadores (mezcla)   |                         | 717        | 350        |  |           |                          |           |                                       |                                       |            |
| Salida clarificadores primarios |                         | 386        | 96         |  |           |                          |           |                                       |                                       |            |
| Salidas reactores anaerobios A  | 129                     | 151        |            | 39.54                                  | 51.05     | 36.5                     | 48        | 0.149                                 | 0.0852                                | 47.8       |
| Salidas reactores anaerobios B  | 169                     | 173        |            | 36.13                                  | 48.22     | 32.5                     | 45.8      | 0.227                                 | 0.1072                                | 45.5       |
| Salidas reactores anaerobios C  | 64                      | 191        |            | 37.41                                  | 47.22     | 31                       | 41.9      | 0.156                                 | 0.0801                                | 41.7       |
| Salidas reactores anaerobios D  | 101                     | 165        |            | 34.63                                  | 45.36     | 33.1                     | 43.9      | 0.293                                 | 0.0828                                | 43.5       |



| Punto de muestreo              | DBO <sub>5</sub><br>(mg/L) | DQO<br>(mg/L) | SST<br>(mg/L) | P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup><br>(mg/L) | PT<br>(mg/L) | N-NH <sub>3</sub><br>(mg/L) | NT<br>(mg/L) | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>(mg/L) | N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup><br>(mg/L) | NTK<br>(mg/L) |
|--------------------------------|----------------------------|---------------|---------------|---|--------------|-----------------------------|--------------|--|--|---------------|
| Salida de reactores anóxicos A | 119                        | 161           |               | 1.5                                       | 57.75        | 60.6                        | 71.5         | 0.142                                    | 0.175                                    | 71.2          |
| Salida de reactores anóxicos B | 67                         | 216           |               | 1.66                                      | 59.97        | 36.8                        | 44.8         | 0.342                                    | 0.053                                    | 44.4          |
| Salida de reactores anóxicos C | 95                         | 124           |               | 1.58                                      | 52.42        | 35.8                        | 41.6         | 0.562                                    | 0.198                                    | 40.8          |
| Salida de reactores anóxicos D | 26                         | 73.8          |               | 1.02                                      | 7.88         | 27.7                        | 34           | 0.119                                    | 0.225                                    | 33.7          |
| Salida reactores aerobios A    | 53                         | 69.4          |               | 1.07                                      | 1.71         | 6.54                        | 29.4         | 17.4                                     | 2.606                                    | 9.36          |
| Salida reactores aerobios B    | 38                         | 113           |               | 0.75                                      | 1.12         | 7.47                        | 24.8         | 12                                       | 2.345                                    | 10.5          |
| Salida reactores aerobios C    | 55                         | 81.2          |               | <0.30                                     | 1.89         | 16.4                        | 30.1         | 3.65                                     | 2.04                                     | 24.4          |
| Salida reactores aerobios D    | 29                         | 72.3          |               | <0.30                                     | 1.37         | 26.1                        | 31           | 0.26                                     | 0.426                                    | 30.3          |

En esta muestra simple, el efluente de las rejillas presentó una concentración de SST totales de 497 mg/L y una DQO de 1,003 mg/L. La salida de los desarenadores (mezcla) presentó una concentración de 350 mg/L de SST que representa una remoción de 29.5% SST y una concentración de 717 mg/L de DQO equivalente a un 28.5% de remoción en estas unidades.

Los efluentes de los clarificadores primarios presentaron una concentración de 96 mg/L de SST y 386 mg/L de DQO que representa una remoción de 72.5% de SST y un 46.1 mg/L. Lo cual significa que el agua residual tiene alta concentración de sólidos y materia orgánica sedimentable que se separa en los clarificadores primarios y posteriormente constituye el lodo primario residual.

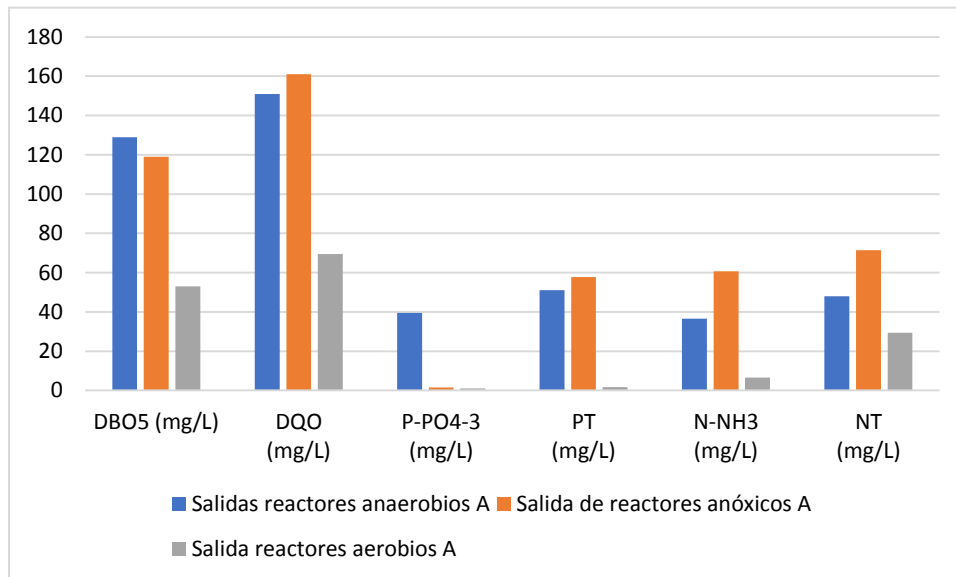
El agua residual con una concentración de 386 mg/L de DQO ingresa a los cuatro módulos de tratamiento secundario compuestos cada uno por unidades anaerobias, anóxicas y aerobias.

El módulo A reactor anaerobio contribuye con la remoción materia orgánica medida como DQO y DBO<sub>5</sub> con 151 mg/L y 111 mg/L respectivamente, considerando que la entrada a los reactores tenía concentraciones de 386 mg/L de DQO. El nitrógeno del efluente tiene una concentración de 48 mg/L de NT y está formado principalmente por NTK de 47.8 mg/L (36.5 mg/L N-NH<sub>3</sub> y 11.3 de nitrógeno orgánico). La

concentración de PT es de 51.05 mg/L y 39.54 mg/L corresponden a P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>.

El efluente del reactor anóxico presenta una disminución de la concentración de P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> a 1.51 mg/L. La concentración de nitrógeno total es de 71.5 mg/L constituido principalmente por N-NH<sub>3</sub> con 60.6 mg/L.

La salida de los reactores aerobios presenta un efluente con bajo contenido de materia orgánica de 53 mg/L de DBO y 69.4 mg/L de DQO permaneciendo una fracción no biodegradable. El fósforo total con una concentración de 7.71 mg/L y una concentración 1.07 mg/L como ortofostatos. El nitrógeno total con 29.4 mg/L el cual está parcialmente nitrificado con 17.4 mg/L de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y 9.36 mg/L de NTK. En la Figura 638 se observa el comportamiento de estos parámetros en el módulo A.

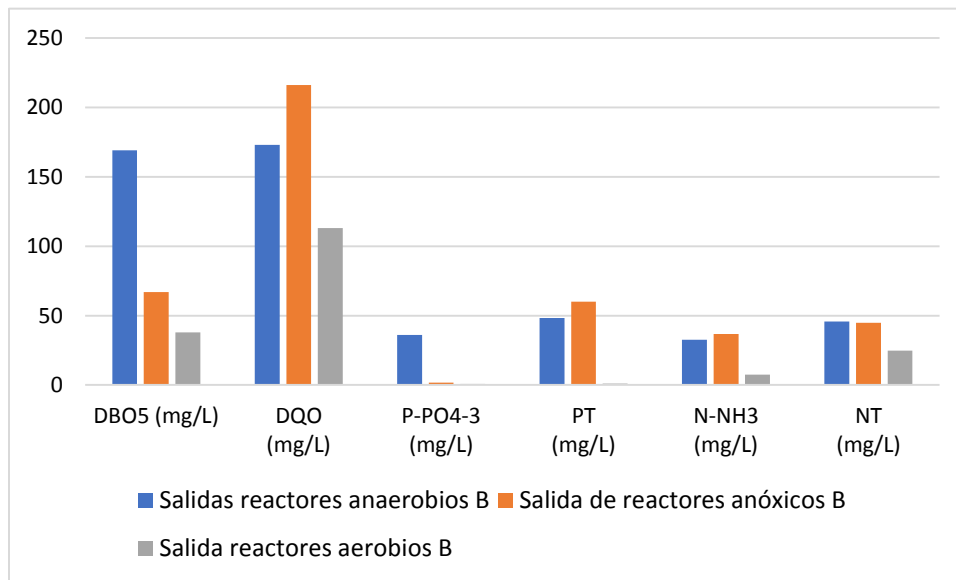


**Figura 638. Comportamiento de parámetros en el módulo A**

El módulo B reactor anaerobio contribuye con la remoción materia orgánica medida como DQO y DBO5 con 173 mg/L y 169 mg/L respectivamente considerando que la entrada a los reactores tenía concentraciones de 386 mg/L de DQO. El nitrógeno del efluente tiene una concentración de 45.8 mg/L de NT y está formado principalmente por NTK de 45.7 mg/L (32.5 mg/L N-NH<sub>3</sub> y 13.3 de nitrógeno orgánico). La concentración de PT es de 48.22 mg/L y 36.13 mg/L corresponden a P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>.

El efluente del reactor anóxico presenta una disminución de la concentración de  $P-PO_4^{-3}$  a 1.66 mg/L. La concentración de nitrógeno total es de 44.8 mg/L constituido principalmente por  $N-NH_3$  con 36.8 mg/L.

La salida de los reactores aerobios presenta un efluente con bajo contenido de materia orgánica de 38 mg/L de DBO y 113.0 mg/L de DQO permaneciendo una fracción no biodegradable. El fósforo total con una concentración de 1.12 mg/L y una concentración 0.75 mg/L como ortofostatos. El nitrógeno total con 24.8 mg/L el cual está parcialmente nitrificado con 12.4 mg/L de  $N-NO_3^-$  y 10.5 mg/L de NTK. En la Figura 639 se observa el comportamiento de estos parámetros en el módulo B.

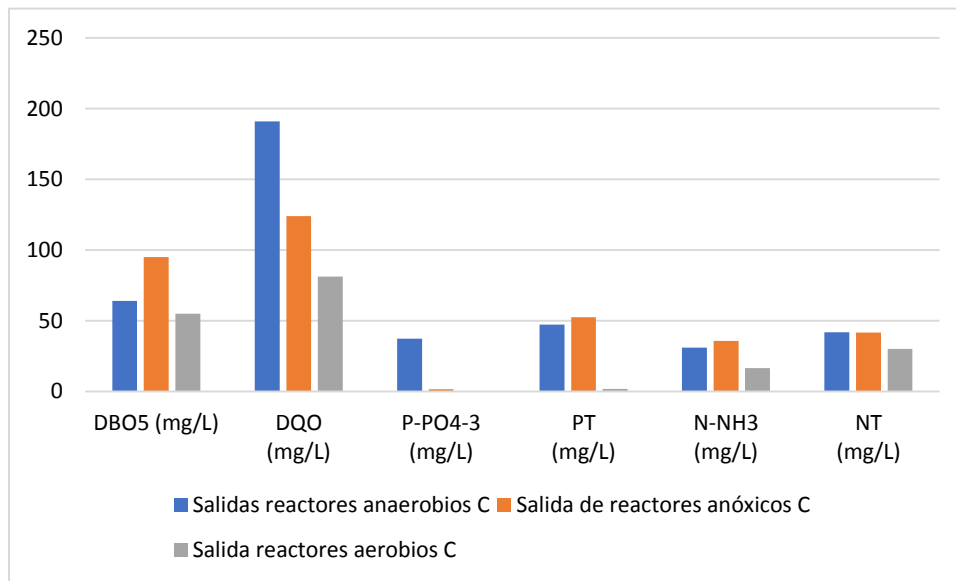


**Figura 639. Comportamiento de parámetros en el módulo B**

El módulo C reactor anaerobio contribuye con la remoción materia orgánica medida como DQO y DBO5 con 191 mg/L y 64 mg/L respectivamente considerando que la entrada a los reactores tenía concentraciones de 386 mg/L de DQO. El nitrógeno del efluente tiene una concentración de 41.9 mg/L de NT y está formado principalmente por NTK de 41.7 mg/L (31 mg/L  $N-NH_3$  y 10.3 de nitrógeno orgánico). La concentración de PT es de 47.22 mg/L y 37.41 mg/L corresponden a  $P-PO_4^{-3}$

El efluente del reactor anóxico presenta una disminución de la concentración de  $P-PO_4^{-3}$  a 1.58 mg/L. La concentración de nitrógeno total es de 41.6 mg/L constituido principalmente por  $N-NH_3$  con 35.8 mg/L.

La salida de los reactores aerobios presenta un efluente con bajo contenido de materia orgánica de 64 mg/L de DBO y 191 mg/L de DQO permaneciendo una fracción no biodegradable. El fósforo total con una concentración de 1.89 mg/L y una concentración 0.3 mg/L como ortofostatos. El nitrógeno total con 30.1 mg/L el cual está parcialmente nitrificado con 3.65 mg/L de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y 24.4 mg/L de NTK. En la Figura 640 observa el comportamiento de estos parámetros en el módulo C.



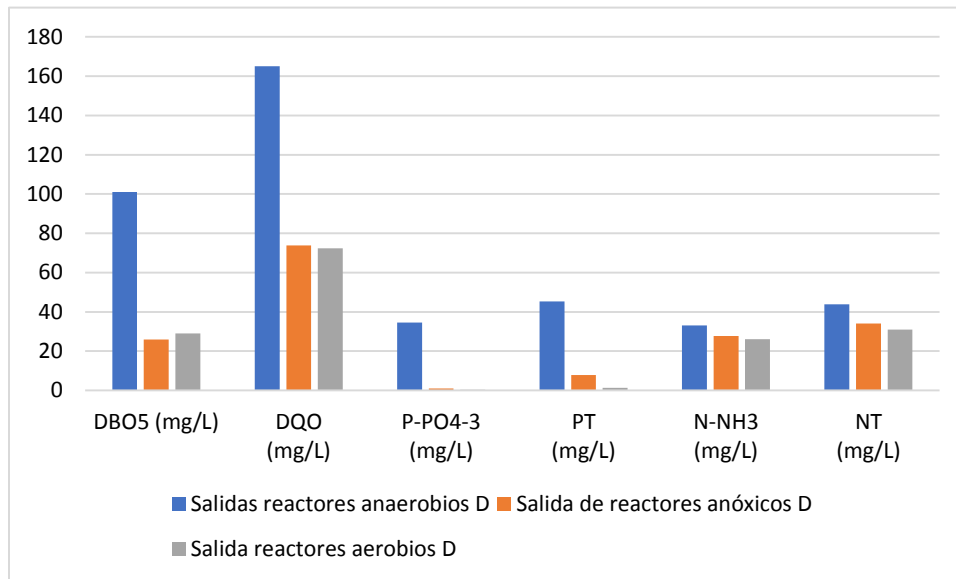
**Figura 640. Comportamiento de parámetros en el módulo C**

El módulo D reactor anaerobio contribuye con la remoción materia orgánica medida como DQO y DBO5 con 165 mg/L y 101 mg/L respectivamente considerando que la entrada a los reactores tenía concentraciones de 386 mg/L de DQO. El nitrógeno del efluente tiene una concentración de 43.9 mg/L de NT y está formado principalmente por NTK de 43.5 mg/L (33.3 mg/L N-NH<sub>3</sub> y 10.2 de nitrógeno orgánico). La concentración de PT es de 45.36 mg/L y 34.63 mg/L corresponden a P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>

El efluente del reactor anóxico presenta una disminución de la concentración de P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> a 1.02 mg/L. La concentración de nitrógeno total es de 34 mg/L constituido principalmente por N-NH<sub>3</sub> con 27.7 mg/L.

La salida de los reactores aerobios presenta un efluente con bajo contenido de materia orgánica de 29 mg/L de DBO y 72.3 mg/L de DQO permaneciendo una fracción no biodegradable. El fósforo total con una concentración de 1.37 mg/L y una concentración 0.3 mg/L como

ortofosfatos. El nitrógeno total con 31 mg/L el cual está parcialmente nitrificado con 0.25 mg/L de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y 30.3 mg/L de NTK. Como se observa en este reactor la nitrificación fue muy baja comparada con los otros tres módulos. En la Figura 641 observa el comportamiento de estos parámetros en el módulo D.



**Figura 641. Comportamiento de parámetros en el módulo D**

Los resultados de los cuatro módulos indican que tienen la capacidad de remover satisfactoriamente la materia orgánica y el fósforo total hasta los valores requeridos para cumplir la Normatividad. La remoción de nitrógeno total hasta 25 mg/l no se alcanza en los reactores.

Se debe optimizar la operación de los diferentes módulos para que cumplan con los parámetros de oxígeno disuelto, pH, potencial de óxido reducción, porcentajes de recirculación para alcanzar la remoción satisfactoria del nitrógeno, fósforo y materia orgánica espera en este proceso.

El efluente final de la planta de tratamiento no cumple con el parámetro de toxicidad agua para comprobar que los altos valores de toxicidad se deben al biocida que se aplica para la limpieza de la unidad de desinfección de luz ultravioleta se realizaron dos análisis de toxicidad agua al efluente que sale de la clarificación secundaria.

Los resultados de la toxicidad en el efluente del sedimentador indican la presencia de toxicidad en las muestras analizadas, por lo que el efluente de la planta de tratamiento es tóxico (Tabla 220).

**Tabla 220. Toxicidad aguda en el efluente del clarificador secundario**

| Muestra                  | CE <sub>50</sub> (%) |        |        | UT    |        |        |
|--------------------------|----------------------|--------|--------|-------|--------|--------|
|                          | 5 min                | 15 min | 30 min | 5 min | 15 min | 30 min |
| Salida clar. Sec (04:20) | 24.617               | 17.762 | 21.73  | 4.062 | 5.629  | 4.601  |
| Salida clar. Sec (08:20) | 16.119               | 10.098 | 8.699  | 6.203 | 9.902  | 11.495 |

### 29.3.3 Influencia industrial

Se puede inferir que el agua residual que se trata en la PTAR de El Ahogado, tiene aportación industrial, ya que presenta DQO/DBO<sub>5</sub> de 2.93 lo que indica que el agua residual presenta una fracción no biodegradable por lo que puede contener descargas industriales o compuestos tóxicos, que se confirman con los valores altos de toxicidad obtenidos en el influente (mayor a 2 UT).

## **30 DIAGNÓSTICO DE PERSONAL**

### **30.1 Recursos Humanos**

A continuación, se presenta el resultado del análisis del personal que labora en la PTAR El Ahogado. Esta información corresponde a la obtenida a través del FORMATO 03. RECURSOS HUMANOS.

La plantilla de la PTAR está conformada por 23 personas quienes se encargan de la operación y mantenimiento de la Planta.

- 2 administrativos
- 12 operadores
- 6 de mantenimiento
- 3 de laboratorio

Se observa que 2 operadores (jefes de turno) tienen más de 4 años de antigüedad laboral. Sin embargo, solamente 3 auxiliares de operación tienen entre 1 y 3 años mientras que las otras 7 personas tienen menos de 1 año de experiencia laboral.

Del personal encargado del mantenimiento se encontró que 3 personas tienen más de 1 año trabajando en la PTAR (1, 6 y 8 años) mientras que los otros tres trabajadores tienen menos de un año de experiencia en la PTAR.

Por último, sobre las tres personas que laboran en el laboratorio se obtuvo información sobre sus puestos, 1 jefe de laboratorio y dos analistas. Sin embargo, no se obtuvo información sobre su experiencia laboral.

Se puede establecer que una parte del personal cuenta con la experiencia suficiente para operar adecuadamente los procesos dentro de la PTAR. Sin embargo, aproximadamente la mitad del personal tiene menos de 1 año de experiencia, lo que denota que no se ha dado una continuidad a la plantilla laboral.

### **30.2 Evaluación de conocimientos**

Para la evaluación de conocimientos de la plantilla laboral se tomó como base el FORMATO 04 EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS, que se encuentra en el Anexo IV Formatos llenados en campo.

Durante la evaluación de conocimiento solamente 3 auxiliares de operación presentaron la evaluación, por lo que no se tiene una muestra

representativa que nos permita conocer el grado de conocimientos que poseen los operadores.

Los resultados de las evaluaciones recibidas arrojaron tres calificaciones aprobatorias. Sin embargo, se obtuvo 1 suficiente, 1 regular y una buena calificación, por lo que se visualiza la necesidad de capacitación en temas de calidad del agua, procesos de tratamiento de aguas residuales y operación de plantas de tratamiento.

### **30.3 Capacitación**

#### **30.3.1 Cursos de capacitación recibidos**

Los operadores evaluados refirieron haber tomado cursos solamente sobre temas de seguridad e higiene, específicamente:

- Atención de fugas y derrames
- Combate a incendios
- Ergonomía
- Primeros auxilios
- Brigada de búsqueda y rescate

Esta información refuerza lo expuesto en el apartado anterior donde se recomienda la capacitación del personal con temas relacionados a los procesos que se desarrollan en la PTAR, así como la operación y el mantenimiento de la planta.

#### **30.3.2 Temas de capacitación solicitados**

Se solicitaron temas de capacitación sobre seguridad e higiene, calidad y operación y mantenimiento, específicamente:

- 5's
- Natación
- Primeros auxilios
- Manejo de herramientas
- Operación y mantenimiento

#### **30.3.3 Material didáctico entregado**

Para solventar un poco la problemática sobre material para la capacitación continua, se entregó el siguiente material didáctico en la PTAR



- v) Manuales: El contenido de cada uno de ellos se encuentra en la liga:  
<https://drive.google.com/drive/folders/1m9GYeDsYFscSYAuUpRM5BV8VBsYqT-o8?usp=sharing>
- w) Infografías
- x) Manual de ejercicios prácticos

Los Manuales constan de 6 tomos cuyas temáticas son las siguientes (Figura 257).

- qq) Indicadores sensoriales
- rr) Indicadores analíticos
- ss) Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
- tt) Calidad del agua
- uu) Control del proceso
- w) Seguridad e higiene





**Figura 642. Portada de los manuales.**

Se elaboraron 15 infografías con la información de los manuales, las cuales se mencionan a continuación (Figura 258):

- bbbb) Arranque de una PTAR de lodos activados
- cccc) Higiene y seguridad
- dddd) Indicadores analíticos A
- eeee) Indicadores analíticos B
- ffff) Indicadores sensoriales A
- gggg) Indicadores sensoriales B
- hhhh) Índice volumétrico de lodos
- iiii) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-001-SEMARNAT-1996
- jjjj) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-002-SEMARNAT-1996
- kkkk) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-003-SEMARNAT-1997
- llll) Parámetros de calidad del agua
- mmmm) Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados
- nnnn) Problemas frecuentes en un sistema de lodos activados
- oooo) Relación alimento/microorganismos
- pppp) Sistema mecanizado de tratamiento de aguas residuales

## ARRANQUE DE UNA PTAR DE LODOS ACTIVADOS

**Revisión del equipo electromecánico**

Realizar un listado de todos los equipos electromecánicos por unidad de proceso. Realizar una prueba de arranque y paro, verificando el giro de motores y si es posible amparar, esto con la finalidad de que no este obstruido o pegado el motor.

**No arrancar si faltan equipos y detalles de construcción**

El arranque de un proceso de lodos activados, se lleva tiempo y deben tenerse ciertos cuidados para lograr su estabilización, así como un buen funcionamiento del proceso. Se recomienda realizarlo en verano.

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), de lodos activado se puede realizar bajo dos escenarios, con y sin inoculo, siendo considerado este ultimo como una situación difcil.

**Revisión hidráulica de los tanques**

- Realizar el llenado de las unidades para verificar que no existan fugas o grietas en las paredes.
- El agua será transferida de tanque en tanque.
- Para realizar esta actividad es necesario contar con planos de cada una de las unidades de proceso, para señalar o marcar y describir en estos las fallas que se consideren pertinentes.

**ARRANQUE SIN INOCULO**

**DÍAS**

- 1 Introducir agua residual al reactor biológico hasta un cuarto de su capacidad y arrancar la unidad de aeração. Al no existir microorganismos en el sistema, se generará una gran cantidad de espuma.
- 2 Llenar reactor biológico a un 25% y continuar con la aeração.
- 3 Llenar reactor biológico a un 75% y continuar con la aeração.
- 4 Llenar reactor biológico a un 100% y continuar con la aeração.
- 5 Iniciar con un flujo continuo de agua residual a 25% del flujo de diseño. Iniciar operación en el sedimentador secundario con recirculación al 100%. Analizar SSTLM y SVOLM para estimar el desarrollo de la biomasa. Controlar niveles del agua residual cruda y tratada para determinar DBO o DQO y SST, para establecer la eficiencia del proceso.
- 11 Aumentar el flujo de agua residual al 50%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar sus ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- 15 Aumentar el flujo de agua residual al 70%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- 20 Aumentar el flujo de agua residual al 90%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- 30 Aumentar el flujo de agua residual al 100%. Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**Di DBO** determinar cuando termina el arranque y cuando inicia la operación normal.

- Concentraciones de los parámetros de calidad del agua del efluente.
- Similares durante varios días, tal vez indican una operación normal.
- Discrepancias notablemente mayores, indican problemas de control de operación muy cercanos a los de diseño.

**ARRANQUE CON INOCULO**

**Calculo de requerimiento de inoculo**

**Datos:**  
El reactor biológico tendrá 1 500 m<sup>3</sup> (LSI light) de SSTLM y un volumen de 4 354 m<sup>3</sup> El inoculo provendrá de la reestructuración, con una concentración de 8 760 mg/L (8.76 light).

**Cálculos:**  
Masa requerida = 3.5 light/m<sup>3</sup> x 4 354 m<sup>3</sup> = 15 239 kg  
Volumen requerido = 15 239 kg / 8.76 light/m<sup>3</sup> = 1 739 m<sup>3</sup>  
Se inocula con el 50% = 1739 m<sup>3</sup> En la practica como minimo se recomienda no menos del 5%.

**DÍAS**

- 1 Llenar el reactor biológico con agua residual, al mismo tiempo arrancar el proceso y paranciar la unidad de aeração. Iniciar con un flujo de agua residual del 25%.
- 2 La recirculación en el sedimentador secundario debe ser del 100%. Monitorear la formación de la espuma y contener su desarrollo. Analizar SSTLM y SVOLM para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras del agua residual cruda y tratada para determinar DBO o DQO y SST, y establecer la eficiencia del proceso.
- 6 Aumentar el flujo al 50%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- 10 Aumentar el flujo al 100%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**Di DBO** determinar cuando termina el arranque y cuando inicia la operación normal.

- Parámetros de control de operación muy cercanos a los de diseño.

## HIGIENE Y SEGURIDAD

Comité de higiene y seguridad

Programas

Las actividades del comité son:

- Desarrollo del manual de higiene y seguridad
- Conducir investigaciones de accidentes y lesiones
- Proporcionar y sugerir capacitación

Los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento son:

- Políticas por escrito de higiene y seguridad
- Comités de higiene y seguridad
- Capacitación en higiene y seguridad

La capacitación es importante y sirve de medida preventiva contra accidentes y enfermedades.

Medidas de higiene

**Hepatitis A**  
**Hepatitis B**  
**Influenza**  
**Sarampión**  
**Papera**  
**Neumonía**  
**Rubéola**  
**Tétanos**

La cooperación de las plantas de tratamiento de aguas residuales está esencialmente en contacto con microorganismos, por lo que es necesario tomar las medidas preventivas a la salud, desde recibir el agua residual.

La mejor defensa contra infecciones virales y bacterianas es la observación de prácticas de higiene personal, por lo que se debe:

- Mantener manos y dedos limpios de la nariz, boca, ojos y oídos.
- Lavar quante de hora cuando se lavan bombos o equipos, se maneja agua residual, regatas, todos o arena la arena brava que involucra contacto directo con las aguas residuales o lodos.
- Lavarse las manos con jabón, preferentemente con agua caliente, antes de comer o fumar y después de terminar los trabajos.
- Mantener las uñas cortas y remover los materiales extraños o casca introducidos en las mismas.
- Evitar el uso de días gemelos por trabajar, una para guardar ropa de calle y limpia y para la ropa de trabajo.
- Evitar fumar al finalizar su turno de trabajo.

**Norma Oficial Mexicana NOM-075-SSA1-2001**  
Equipo de protección personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

**Objetivo**  
Establecer los requisitos para la selección, uso y manejo de equipos de protección personal que cuenta con las siguientes características:  
Que permita la ejecución del trabajo en los lugares de trabajo que en la CIRA son de riesgo.

Que sea acorde a la naturaleza de las labores de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Que permita la ejecución de las actividades de mantenimiento, reparaciones y trabajos de emergencia.

| Clima y región anatómica | Categoría de riesgo             | Tipo de riesgo en función de la actividad   |
|--------------------------|---------------------------------|---|
| Cabeza                   | Casco contra impacto            | Riesgo de golpe que sea una posibilidad de mayor gravedad cuando se encuentre en el lugar de trabajo.               |
| Ojos y cara              | Goggles de protección           | Riesgo de contaminación por partículas que se encuentren en el lugar de trabajo.                                    |
| Oídos                    | Tapones auditivos               | Protección contra riesgo de ruido, de acuerdo al máximo nivel de ruido producido en el lugar de trabajo.            |
| Apparato respiratorio    | Respirador contra gases tóxicos | Protección contra gases tóxicos y partículas que se encuentren en el lugar de trabajo.                              |
| Extremidades superiores  | Guantes                         | Riesgo de lesiones por golpes, cortes, abrasiones, quemaduras, etc. que se puedan presentar en el lugar de trabajo. |
| Tronco                   | Overol                          | Riesgo de lesiones por golpes, cortes, abrasiones, quemaduras, etc. que se puedan presentar en el lugar de trabajo. |
| Extremidades inferiores  | Extremidades inferiores         | Riesgo de lesiones por golpes, cortes, abrasiones, quemaduras, etc. que se puedan presentar en el lugar de trabajo. |

## INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para:

- Monitorear el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

**DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO**

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (degradar) la materia orgánica. Es la materia orgánica biodegradable (alimento que entra y sale de la PTAR). Demonestran de DBO 40% indican que la PTAR opera bien. Demonestran de DBO 40% demotan problemas en la PTAR. Debe existir un balance entre la cantidad de alimento que entra y los microorganismos presentes en el reactor biológico.

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO**

Es la cantidad de oxígeno que se requieren para oxidar la materia orgánica por medio químicos. Es la muestra orgánica oxidable que entra y sale de la PTAR. La reacción química se asegura monitoreando los dos parámetros durante un largo periodo de tiempo para establecer su tendencia o comportamiento. Con esta relación, y determinando la DQO se calcula la DBO, sobrecarga química, descarga industrial poco biodegradable, tratamiento poco eficiente. DQO<DBO indica que la PTAR opera bien. DQO<DBO indica que la PTAR opera bien. DQO<DBO indica que la PTAR opera bien.

**FLUJO DE AGUA**

- El operador tiene el control de la cantidad de agua que ingresa a la PTAR.
- Se emplea para el control del proceso para calcular el índice orgánico, AM, THOD, TSD, etc.
- Se debe contar con un equipo medidor de gastos continuo.

**GRASAS Y ACEITES**

- En valvulas se los microorganismos, inter firmando con la transferencia de materia orgánica soluble a través de su pared celular, por lo cual mueren por falta de alimento. Cya entre 100 y 150 mg/L, arrojan en los lodos a la superficie del sedimentador secundario.
- Cya > 150 mg/L, se presenta aglomeración de lodos en el reactor secundario, lo que ocasiona por falta de SST y una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica soluble.

**TEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA**

Tempo que permanece cierta cantidad de agua en un tanque. En un tanque de aeração los microorganismos reciben tiempo de retención para sobrevivir y generar la materia orgánica soluble.

| Unidad                  | Mayor                                       | Menor                                |
|-------------------------|---|--------------------------------------|
| Reactor biológico       | Deposición orgánica. Carga de sedimentación | Bajas eficiencias de remoción de DBO |
| Sedimentador secundario | Desfloculación. Ancho SST en el efluente    | Ancho SST en el efluente             |

Es la relación tiempo de retención / tiempo de aeração.

## INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para:

- Monitorear el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

**TEMPERATURA**

Rango óptimo para la actividad bacteriana aerobia: 20 - 35°C

| Actividad de microorganismos | Alta      | Baja       |
|------------------------------|-----------|------------|
| Refrigeración                | Rápida    | Lenta      |
| Temperatura de aeração       | Disminuye | Incrementa |

El aire de un soplador puede incrementar la temperatura del agua hasta en 2°C. Debido a que pueden salir alrededor de los 100°C.

Rango óptimo para asegurar la actividad y desarrollo de los microorganismos en tanque de aeração: 25 - 35°C.  
Por arriba o por abajo de 3.0 o 10.0 unidades la población biológica muere.

En el proceso que refiere se espera un descenso de pH 0.2 a 0.3 unidades, entre el agua de entrada y la de salida.

| Actividad de microorganismos | Alta | Baja |
|------------------------------|------|------|
| Consumo de oxígeno           | Alto | Bajo |
| Biogas producido             | Bajo | Alto |

**OXIGENO DISUELTADO (OD)**

De 1 a 2 mg/L OD residual satisfacen el ingreso de una carga orgánica alta.

- La falta de un OD residual, inhibirá la actividad microbiana y disminuirá la remoción de materia orgánica.
- Un OD residual mayor a 5 mg/L, indica un sobrecarga orgánica, ya que se trata de un exceso de materia orgánica que se encuentra en el reactor biológico.

**CONSUMO DE OXÍGENO**

Permite conocer la actividad microbiana en el reactor biológico al medir la velocidad de consumo de oxígeno.

- A) Actividad microbiana alta o ingreso una alta carga orgánica o hay demasiados microorganismos.
- B) Comportamiento ideal, consumo en los primeros minutos alto, pero con el tiempo es asintótico y al llegar a un valor de caso.
- C) Consumo de oxígeno lento, rápidamente se hace asintótico, denota presencia de pocos microorganismos, o una toxicidad química que limita su respiración.
- D) Si no existe consumo de oxígeno, la actividad microbiana es nula, indica que ocurrió una toxicidad aguda.

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y VOLÁTILES**

Los SST se emplean para los ajustes de recirculación y de purga de lodos.

Los SVV indican indirectamente la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de aeração. Los SVV se emplean para calibrar la relación alimento/microorganismos (A/M) y el tiempo medio de retención celular (THRC).

El gráfico muestra la relación entre el consumo de oxígeno y el tiempo de retención celular (THRC).

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS



### Material flotante

- Indicador de altas concentraciones de grasas y aceites.
- Interfiere con la sedimentación y puede causar bajas eficiencias de remoción de DQO.



### Acumulación de sólidos

- Su origen se debe a una operación ineficiente del clarificador o del sedimentador primario o secundario.
- Reduce el volumen efectivo de las unidades de proceso afectando su eficiencia.
- Generan zonas anaerobias que provocan problemas de sedimentación y mal olor.



### Traectoria de flujos

- La observación de la trayectoria del flujo se utiliza para detectar cortocircuitos.
- Los cortocircuitos son visibles al observar el movimiento de la espuma, sólidos suspendidos o material flotante.
- Problemas: reducción de tiempos de retención hidráulico, generando operación inadecuada.



### Mezcla y turbulencia

- Un tanque bien mezclado presenta uniformidad de concentraciones en todo su volumen.
- Indicadores de mezclado en el reactor biológico: Formación de depósitos de sólidos en las esquinas. Zonas con concentraciones de O<sub>2</sub> de cero. Diferencia de concentraciones entre zonas en O<sub>2</sub> o de pH.
- Turbulencias no uniformes o de baja turbulencia pueden ser causadas por: Difusores obstruidos. Difusores dañados. Exceso de aereación. Efecto de sacación.



### Burbujeo

- En el sedimentador secundario indican que el lodo tiene mucho tiempo de residencia (desnitrificación) se debe incrementar la recirculación de lodo.
- En canales, desarenadores y tanque de contacto de ciro con limpieza deficiente se presenta acumulación de sólidos y condiciones anaerobias, que generan burbujas y arrastre de sólidos.

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS



### Color

- Lodo activado aerado en buenas condiciones: Color café achocolatado.
- Es un indicativo del estado de salud del lodo.
- Las condiciones de alimento proporcionan diferentes tonalidades.
- Las condiciones ambientales le dan diferente tono de color café.



### Olor

- Una PTAR bien operada no genera malos olores.
- Un proceso de lodos activados saludable tiene un ligero olor a humedad (tierra mojada).
- Un lodo séptico, cambia su color a oscuro y el olor es similar al del huevo podrido.



### Tacto

- Una Temperatura o vibración excesiva en equipos electromecánicos y tuberías advierten un mal funcionamiento.



### Algas

- Su crecimiento en las paredes de los tanques o en las canales recolectoras indica que altos niveles de nutrientes.



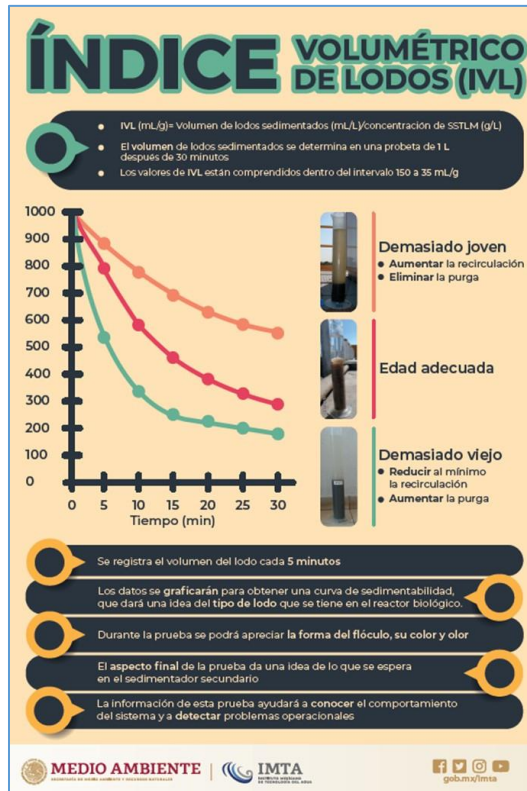
### Turbiedad del efluente

- Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario o en el tanque de contacto de cloro indican un mal funcionamiento de la PTAR.



### Espuma

- Color café oscuro: Se puede presentar en el reactor biológico y en el sedimentador secundario y se debe a un alto contenido de grasas y aceites que impactan a los microorganismos y los flocos.
- Color café claro: Los niveles de sólidos no son adecuados. El lodo no tiene la edad requerida, es joven.
- Color blanco: En tanques de nitrificación, reactor biológico y afluente alta concentración de detergentes. Es una condición específica del arranque de una planta. Se presenta en los reactores por las mañanas y con mayor impacto en invierno, debido a que la temperatura afecta la actividad metabólica de los microorganismos y no degradan los detergentes.



## NORMATIVA MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

### NOM-001-SEMARNAT-1996

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

• Con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

| PARAMETROS  | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS |                        |                                 |                           |                                   |   |                |               |                           |                         |   |                           | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS |                                 |                           |                        |   |                |               |                           |                                   |          |        |          |                |       |          |        |       |      |      |      |    |     |
|---|--|------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---|----------------|---------------|---------------------------|-------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------|---------------------------|------------------------|---|----------------|---------------|---------------------------|-----------------------------------|----------|--------|----------|----------------|-------|----------|--------|-------|------|------|------|----|-----|
|   | RÍOS   |                        |                                 |                           | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES |   |                |               | AGUAS COSTERAS            |                         |   |                           | SUELO   |                                 |                           |                        | RÍOS  |                |               |                           | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES |          |        |          | AGUAS COSTERAS |       |          |        | SUELO |      |      |      |    |     |
| (Miligramos por litro, excepto cuando se especifique) | Uso en riego agrícola (A)                              | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C) | Uso en riego agrícola (B) | Uso público urbano (C)            | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B) | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) | (Miligramos por litro, excepto cuando se especifique) | Uso en riego agrícola (A) | Uso público urbano (B)                                      | Protección de vida acuática (C) | Uso en riego agrícola (B) | Uso público urbano (C) | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B) | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B)           | Artenico | Cadmio | Cianuros | Cobre          | Cromo | Mercurio | Niquel | Plomo | Zinc |      |      |    |     |
|   | P.M.   | P.D.                   | P.M.                            | P.D.                      | P.M.                              | P.D.  | P.M.           | P.D.          | P.M.                      | P.D.                    | P.M.  | P.D.                      | P.M.  | P.D.                            | P.M.                      | P.D.                   | P.M.  | P.D.           | P.M.          | P.D.                      | P.M.                              | P.D.     | P.M.   | P.D.     | P.M.           | P.D.  | P.M.     | P.D.   | P.M.  | P.D. | P.M. | P.D. |    |     |
| Temperatura (2) (1)                                   | NA   | NA                     | 40                              | 40                        | 40                                | 40  | 40             | 40            | 40                        | 40                      | 40  | 40                        | 40  | 40                              | 40                        | 40                     | 40  | 40             | 40            | 40                        | 40                                | 40       | 40     | 40       | 40             | 40    | 40       | 40     | 40    | 40   | 40   | 40   | 40 |     |
| Grasas y Aceites (2)                                  | 15   | 25                     | 15                              | 25                        | 15                                | 25  | 15             | 25            | 15                        | 25                      | 15  | 25                        | 15  | 25                              | 15                        | 25                     | 15  | 25             | 15            | 25                        | 15                                | 25       | 15     | 25       | 15             | 25    | 15       | 25     | 15    | 25   | 15   | 25   | 15 | 25  |
| Materia Flotante (3)                                  | Ausente  |                        |                                 |                           |                                   |   |                |               |                           |                         |   |                           |   |                                 |                           |                        |   |                |               |                           |                                   |          |        |          |                |       |          |        |       |      |      |      |    |     |
| Sólidos Sedimentables (mV)                            | 1  | 2                      | 1                               | 2                         | 1                                 | 2   | 1              | 2             | 1                         | 2                       | 1   | 2                         | 1   | 2                               | 1                         | 2                      | 1   | 2              | 1             | 2                         | 1                                 | 2        | 1      | 2        | 1              | 2     | 1        | 2      | 1     | 2    | 1    | 2    |    |     |
| Sólidos Suspendedos Totales                           | 150  | 200                    | 75                              | 125                       | 40                                | 60  | 75             | 125           | 40                        | 60                      | 150   | 200                       | 75  | 125                             | 75                        | 125                    | 75  | 125            | 75            | 125                       | 75                                | 125      | 75     | 125      | 75             | 125   | 75       | 125    | 75    | 125  | 75   | 125  | 75 | 125 |
| Demanda Bioquímica de oxígeno                         | 150  | 200                    | 75                              | 150                       | 30                                | 60  | 75             | 150           | 30                        | 60                      | 150   | 200                       | 75  | 150                             | 75                        | 150                    | 75  | 150            | 75            | 150                       | 75                                | 150      | 75     | 150      | 75             | 150   | 75       | 150    | 75    | 150  | 75   | 150  | 75 | 150 |
| Nitrogeno total                                       | 40   | 60                     | 40                              | 60                        | 15                                | 25  | 40             | 60            | 15                        | 25                      | NA  | NA                        | NA  | NA                              | 15                        | 25                     | NA  | NA             | NA            | NA                        | NA                                | NA       | NA     | NA       | NA             | NA    | NA       | NA     | NA    | NA   | NA   | NA   | NA | NA  |
| Fósforo Total   | 20   | 30                     | 20                              | 30                        | 5                                 | 10  | 20             | 30            | 5                         | 10                      | NA  | NA                        | NA  | NA                              | 5                         | 10                     | NA  | NA             | NA            | NA                        | NA                                | NA       | NA     | NA       | NA             | NA    | NA       | NA     | NA    | NA   | NA   | NA   | NA | NA  |

(1) Instantáneo (2) Muestra Simple Promedioponderado (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006. (A) No es aplicable (B) y (C) Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos. (\*) Medidos de manera total.

• Para determinar la contaminación por patógenos Coliformes Fecales, LMP para descargas a aguas y bienes nacionales y para las vertidas al suelo (riego agrícola):

- 1000 NMP/100 ml como P.M.
- 2000 NMP/100 ml como P.D.

• Para determinar la contaminación por parásitos: Huevos de Helminto, LMP para descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola):

- 1 H.H. para riego no restringido (CUALQUIER CULTIVO)
- 5 H.H. para riego restringido (excepto legumbres y verduras que se consumen crudas)

MEDIO AMBIENTE | IMTA

**NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL**

NOM-002-SEMARNAT-1996

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal

• Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C.

Los límites máximos permisibles para los parámetros DBO y SST son los establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997.



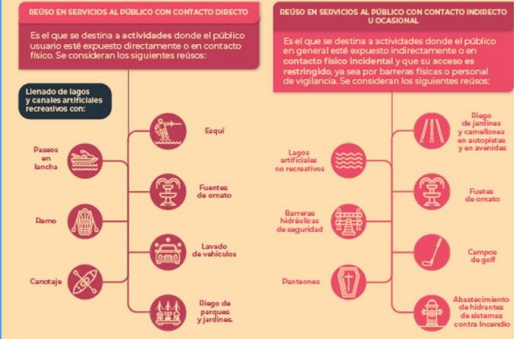
| Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | Promedio mensual | Promedio diario | Instantáneo |
|---|------------------|-----------------|-------------|
| Grasas y aceites  | 50               | 75              | 100         |
| Sólidos sedimentables (mililitros por litro)                          | 5                | 7.5             | 10          |
| Arsénico total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cadmio total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cianuro total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Cobre total   | 10               | 15              | 20          |
| Cromo hexavalente   | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Mercurio total  | 0.01             | 0.015           | 0.02        |
| Níquel total  | 4                | 6               | 8           |
| Plomo total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Zinc total  | 6                | 9               | 12          |

**NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL**

NOM-003-SEMARNAT-1997

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público

• Con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.



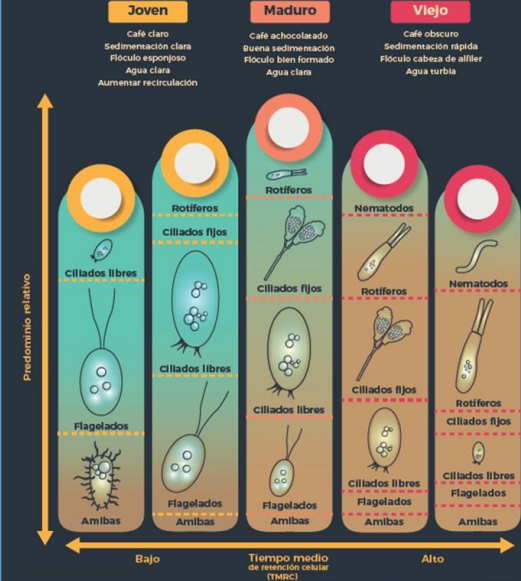
| TIPO DE REUSO   | PROMEDIO MENSUAL               |                       |                         |                         |            |
|---|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
|   | Coliformos Fecales (MPN/100ml) | Hechos de Huevo (EVT) | Grasas y aceites (mg/l) | DBO <sub>5</sub> (mg/l) | SST (mg/l) |
| Servicios al público con contacto directo               | 240                            | ≤ 1                   | 15                      | 20                      | 20         |
| Servicios al público con contacto indirecto u ocasional | 1,000                          | ≤ 5                   | 15                      | 30                      | 30         |

• La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada.  
• El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1996.

**PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA**

| PARÁMETRO                      | ABREVIACIÓN  | IMPORTANCIA   |
|--------------------------------|--|---|
| Sólidos totales                | ST   | Para evaluar el tipo potencial de un agua residual y residual tratada y determinar el posible tipo de operación o proceso para su tratamiento.  |
| Sólidos volátiles totales      | SVT  |   |
| Sólidos fijos totales          | SFT  |   |
| Sólidos suspendidos totales    | SST  |   |
| Sólidos suspendidos volátiles  | SSV  |   |
| Sólidos suspendidos fijos      | SSF  |   |
| Sólidos disueltos totales      | SDT  |   |
| Sólidos disueltos volátiles    | SDV  |   |
| Sólidos sedimentables          | SSed   |   |
| Turbiedad                      | TU   |   |
| Color                          | CO   | • Para evaluar las condiciones del agua.  |
| ODC                            |  | • Para determinar si el agua puede ser utilizada.   |
| Temperatura                    |  | • Es importante en el diseño/operación de procesos de tratamiento biológico.  |
| Conductividad                  | CE   | • Empleada para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.   |
| Amoníaco libre                 | NH <sub>4</sub> -N   | Empleados como una medida de nutrientes presentes y del grado de descomposición en el agua residual. Las formas oxidadas pueden ser tomadas como una medida del grado de oxidación.   |
| Nitrógeno orgánico             | N Org  |   |
| Nitrógeno total Kjeldahl       | NTK  |   |
| Nitratos                       | NO <sub>3</sub>  |   |
| Nitrosos                       | NO <sub>2</sub>  |   |
| Nitrógeno total                | NT   |   |
| Fósforo inorgánico             | P Inorg  |   |
| Fósforo total                  | PT   |   |
| Fósforo orgánico               | P Org  |   |
| pH                             |  |   |
| Alcalinidad                    |  | • Una medida de la capacidad de amortiguamiento del agua en un proceso de tratamiento.  |
| Cloruro                        | Cl   | • Empleada para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.   |
| Sulfato                        | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>  | • Para evaluar la potencialidad de generar olores y su impacto en el tratamiento de lodos residuales.   |
| Metales                        | Ag, As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Ni, Hg, K, Mo, N, Ni, Se, Na, Zn | • Para evaluar la posibilidad de reuso del agua residual tratada y sus efectos tóxicos en el tratamiento. Concentraciones traza pueden ser importantes para el desarrollo de los microorganismos en un tratamiento biológico. |
| Demanda bioquímica de oxígeno  | DBO  | • Cantidad de oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica biodegradable.   |
| Demanda química de oxígeno     | DQO  | • A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO. Puede ser usado junto con la DBO para determinar la materia orgánica no biodegradable.   |
| Carbón orgánico total          | COT  | • A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO.  |
| Toxicidad                      |  | • Toxicidad aguda o crónica ocasionada por presencia de metales o COV.  |
| Compuestos orgánicos volátiles | COV  | • Para determinar la presencia de compuestos orgánicos específicos y evaluar si se necesitan medidas especiales de diseño para su remoción.   |
| Organismos coliformes          | CT, CF   | • Para evaluar la presencia de bacterias patógenas y la efectividad del proceso de desinfección.  |
| Microorganismos específicos    | Bacterias, protozoarios, helmintos, virus                                    | • Evaluación de la presencia de organismos específicos en un proceso de tratamiento biológico.  |

**Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados**





### SISTEMA MECANIZADO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

MEDIO AMBIENTE | IMTA

MEDIO AMBIENTE | IMTA

Figura 643. Infografías.

En el Manual de ejercicios prácticos (Figura 259) se presentan una serie de ejercicios prácticos que están clasificados por niveles, de tal manera que el operador podrá resolverlos inicialmente por él mismo. Posteriormente, la

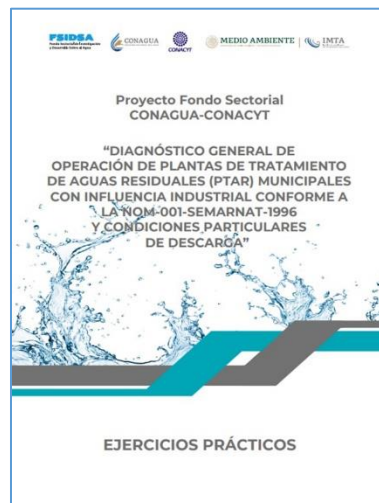
complejidad de los ejercicios le requerirá hacer uso de materiales de apoyo, o recurrir a sus colegas para dar una solución adecuada, y finalmente en un nivel superior, para poder resolver el ejercicio tendrá que recurrir a la ayuda del instructor.

Para la ejecución de estos ejercicios se hará uso de:

- Preguntas de opción múltiple
- Preguntas directas
- Presentación de problemas operacionales
- Preguntas de reflexión, con problemas que desde un punto de vista pueden presentar múltiples interacciones entre los procesos.

Estos ejercicios están relacionados a su vez con conocimientos generales, teóricos y prácticos de la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por lo anterior, lo que pretende este manual es que el operador al final cuente con los conocimientos que le permita discernir los niveles de problemas operacionales que se pueden presentar en una PTAR y, a su vez, tener una herramienta que le permita jerarquizarlos para obtener la mejor y correcta solución.



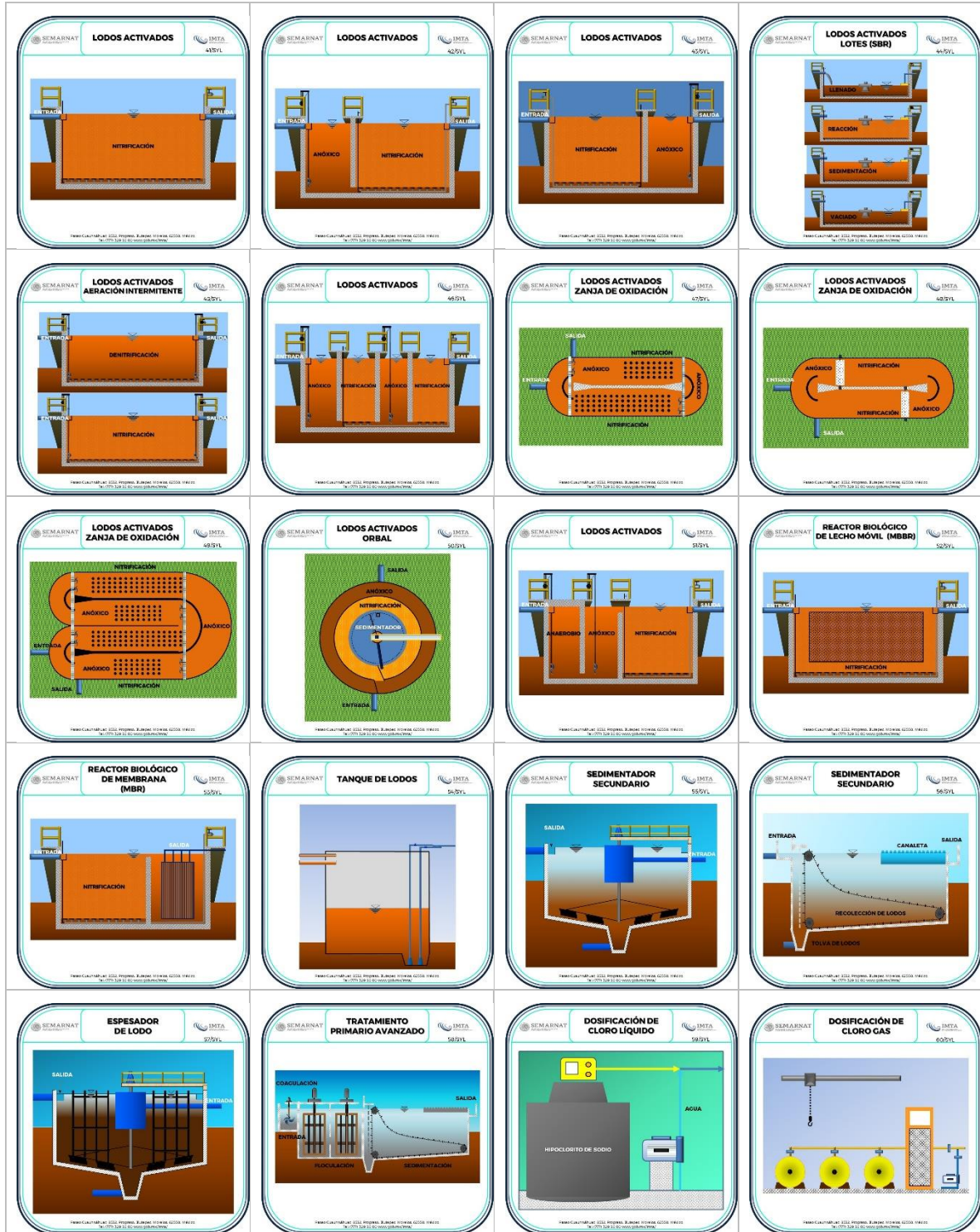
**Figura 644. Manual de ejercicios prácticos.**

Este manual va acompañado de un kit de imágenes (Figura 260) que representan todos los posibles procesos que pueden estar presentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.









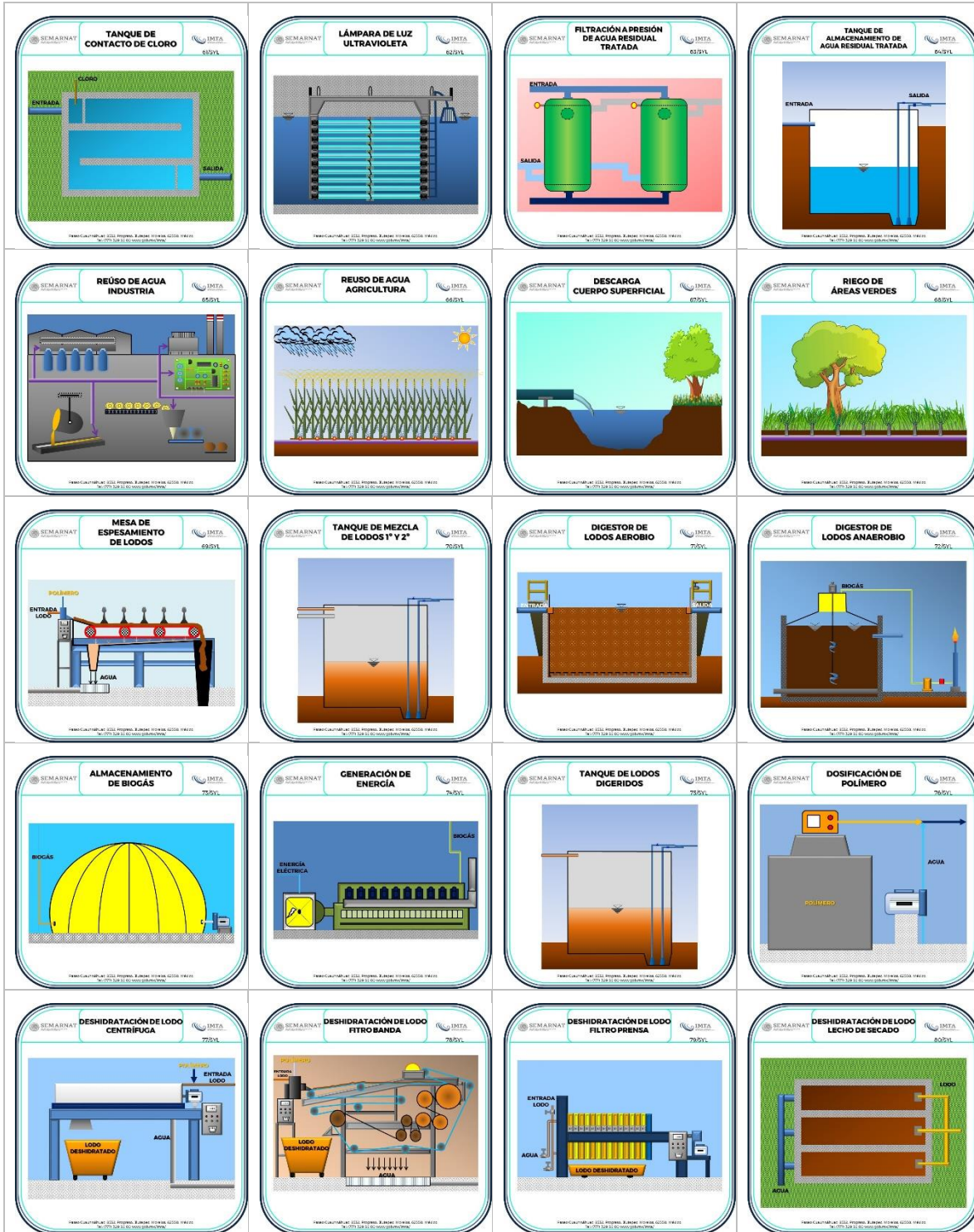




Figura 645. Kit de figuras.

En la Figura 81 se muestra el oficio de entrega recepción del material didáctico.

**CARTA DE ENTREGA Y RECEPCIÓN**

**MATERIAL DE APOYO TÉCNICO IMPRESO**

El que suscribe ERNESTO CEBALLOS UZETA en representación de la **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "El ahogado"**, ubicada en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, manifiesta recibir de conformidad el material de apoyo técnico impreso en perfecto estado, consiste en:

1. Infografía
2. Manual:
  - a. Seguridad e higiene
  - b. Control de proceso
  - c. Calidad del agua
  - d. Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
  - e. Indicadores sensoriales
  - f. Indicadores analíticos
  - g. Ejercicios prácticos
3. Kit de imágenes de proceso

Dicho material impreso está relacionado con las actividades del proyecto Fondo Sectorial CONAGUA-CONACYT "DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA"

Se firma la presente carta de entrega y recepción del material de apoyo técnico impreso a los 6 días del mes de ABRIL de 2022

Recibe de conformidad

1

Figura 646. Entrega de material didáctico.

En la Figura 314, se muestra la entrega del material didáctico.



**Figura 647. Entrega y recepción de materiales de apoyo técnico impreso**

### 31 SEGURIDAD E HIGIENE

El responsable de la seguridad e higiene en la PTAR es la ingeniera ambiental Laura Alicia Satarain Meza, quien colaboró en el llenado del FORMATO 15. SEGURIDAD E HIGIENE.



**Figura 648. Equipo de protección personal y atención de emergencias**

También, se verificó la existencia de brigadas de evacuación, primeros auxilios, prevención y combate de incendio, búsqueda y rescate, así como una brigada de comunicación.

Respecto a los riesgos generales a los que se encuentra expuesto el personal que labora en la Planta, se tienen identificados los riesgos infecciosos, daños físicos, exposición a agentes químicos, gases y vapores tóxicos y descargas eléctricas, además de contar con medidas preventivas para cada uno de estos.

También se comprobó que la planta cuenta con la señalización necesaria sobre las zonas de riesgo, las rutas de evacuación, la ubicación de extintores y el equipo de protección personal que se debe utilizar en cada área. Asimismo, se utiliza el código de colores para la identificación de tuberías de transporte de fluidos, así como la señalización de recipientes que contienen sustancias químicas y residuos considerados como peligrosos.

Se encontró que se tienen identificadas las zonas de riesgo dentro de la planta, así como los riesgos a los que se expone el personal en cada área de trabajo.

Por último, la PTAR no cuenta con servicio de atención médica, ya que no cuenta con un espacio físico destinado para este fin, es decir, no se cuenta con enfermería, médico en la planta o paramédico.

## 32 LABORATORIO

La PTAR cuenta con un laboratorio de análisis (Figura 649) utilizado para tener un control interno de parámetros que sirven para monitorear el funcionamiento de la planta. El laboratorio cuenta con 3 personas, dos analistas y un jefe de laboratorio, los cuales realizan muestreo y análisis diarios de DBO<sub>5</sub>, SST, pH, nitrógeno total, fósforo total, sólidos sedimentables, grasas y aceites y Coliformes Fecales.



**Figura 649. Laboratorio de análisis**

Como se hace constar en el FORMATO 16. BUENAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO, el laboratorio se encuentra limpio y ordenado, cuenta con instalaciones, equipos, cristalería y materiales adecuados para su operación. Asimismo, se constató que se cuenta con manual de procedimientos, manual de análisis y manuales de equipos. Sin embargo, es necesario que se implemente un manual de buenas prácticas de laboratorio, bitácora personal de los analistas y de limpieza del material utilizado.

Respecto a la seguridad en el laboratorio, se tienen señalizaciones y ruta de evacuación identificada. Asimismo, se cuenta con el equipo de protección personal necesario, regadera, lavajos, extintor y botiquín de primeros auxilios. Asimismo, se cuenta con identificación de reactivos, desechos y tuberías.

En resumen, se cuenta con un laboratorio en buenas condiciones, con los equipos, materiales, medidas de seguridad adecuados, así como personal suficiente para desarrollar las tareas requeridas en la Planta.



### 33 CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR

#### 33.1 Causas

Para poder ponderar las causas que influyen de manera negativa en el desempeño de la PTAR, se hace uso de una clasificación que consta de tres niveles de impacto, a saber:

##### Nivel I

Son los que presentan un mayor efecto y con problemas físicos difíciles de resolver de las unidades de proceso más importantes.

##### Nivel II

Son los que contribuyen rutinariamente al bajo desempeño o producen mayores efectos en una base periódica o estacional.

##### Nivel III

Son los que presentan mínimos efectos, fáciles y económicos de resolver, Normalmente de operación y administración.

Así, tomando como base la información obtenida de los capítulos anteriores, y la clasificación de las causas que influyen en el desempeño de la PTAR, se elabora la Tabla 221.

**Tabla 221. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR**

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño  | Atención      |
|-----|-------|--|---------------|
| 1   | I     | Acumulación de lodos y arenas en la caja de pre-desbaste.  | Corto plazo   |
| 2   |       | Clasificador de arenas y tanque de grasas y aceites fuera de operación.  | Corto plazo   |
| 3   |       | Arrastre de sólidos en los efluentes de clarificadores primarios y secundarios.  | Corto plazo   |
| 4   |       | Biocida utilizado para la limpieza del sistema de luz ultravioleta incrementa el nivel de toxicidad del efluente de la planta. | Mediano plazo |
| 1   | II    | Turbulencia en reactores anaerobios y anóxicos.  | Corto plazo   |

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño   | Atención      |
|-----|-------|---|---------------|
| 2   |       | Presencia de zonas muertas en reactores biológicos.   | Corto plazo   |
| 1   | III   | Inconsistencias en los lecturas de los sensores de medición en línea de los reactores aerobios y no hay lecturas en línea en el canal Parshall. | Corto plazo   |
| 2   |       | No funcionan los sensores de medición en línea en la descarga de la planta.   | Corto plazo   |
| 3   |       | Falta capacitación del personal en temas relacionados con los procesos de la planta.  | Mediano plazo |

### 33.2 Descripción de la causa y recomendaciones

#### 33.2.1 Nivel I

| Causa  | Recomendación   |
|--|---|
| <b>1. Acumulación de lodos y arenas en la caja de predesbaste.</b>   | Revisión y limpieza continua de la caja de predesbaste.   |
| <b>2. Clasificador de arenas y tanque de grasas y aceites fuera de operación.</b>  | Dar mantenimiento a estas unidades de tratamiento.  |
| <b>3. Arrastre de sólidos en los efluentes de clarificadores primarios y secundarios.</b><br>Faltan vertederos o nivelación de los mismos ocasionando arrastre de sólidos y ensuciamiento de las unidades de desinfección. | Colocar vertederos faltantes y nivelar todos los demás para tener una salida de los efluentes sin sólidos. Aplica a clarificadores primarios y secundarios. |
| <b>4. Biocida utilizado para la limpieza del sistema de luz ultravioleta incrementa el nivel de toxicidad del efluente de la planta.</b><br>La Norma actual exige que el efluente de la planta no sea tóxico (<2UT%)       | Buscar otro producto que no sea tóxico para realizar la limpieza de este equipo.  |

### 33.2.2 Nivel 2

| <b>Causa</b>   | <b>Recomendación</b>   |
|--|--|
| <p><b>1. Turbulencia en reactores anaerobios y anóxicos.</b></p> <p>El exceso de turbulencia incrementa el oxígeno disuelto en los reactores.</p>        | <p>Calibrar la velocidad de las aspas de los agitadores para evitar el incremento del OD en reactores anaerobios y anóxicos.</p> |
| <p><b>2. Presencia de zonas muertas en reactores biológicos.</b></p> <p>Las zonas muertas impiden el buen desarrollo de los procesos de tratamiento.</p> | <p>Revisar el funcionamiento de difusores y agitadores para evitar zonas muertas.</p>  |

### 33.2.3 Nivel 3

| <b>Causa</b>  | <b>Recomendación</b>   |
|---|--|
| <p><b>1. Inconsistencias o no hay lecturas de los sensores de medición en línea de los reactores aerobios o canal Parshall.</b></p> | <p>Revisar los sensores y dar mantenimiento a todos los medidores en línea.</p>  |
| <p><b>2. No funcionan los sensores de medición en línea en la descarga de la planta.</b></p>  | <p>Revisar, cambiar o dar mantenimiento a los medidores en línea de la descarga de planta.</p>                                     |
| <p><b>3. Falta capacitación del personal en temas relacionados con los procesos de la planta.</b></p>                               | <p>Tomar cursos específicos sobre los procesos de la planta como remoción de nutrientes, oxidación química, desinfección, etc.</p> |

## 33.3 RESUMEN

### 1) Título de concesión de descarga.

- a) Cuenta con un título de descarga ya que el efluente se envíe a la presa el Ahogado y posteriormente descarga en el río Santiago.

### 2) Memoria de cálculo.

- a) La PTAR suministró las memorias de cálculo de los clarificadores secundarios, espesamiento, deshidratación y del tratamiento biológico

### **3) Información histórica de calidad del agua.**

- a) Se proporcionó información que se reportó a la Comisión Nacional del Agua entre los años 2019 y 2021.
- b) La PTAR en este periodo ha operado a un 91.1% del caudal de diseño, que es de 2,250 L/s.
- c) El efluente de la planta municipal, de acuerdo con los datos históricos, cumple con los límites máximos permisibles de descarga de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996 en todos los parámetros.
- d) La planta municipal no cumple con los límites permisibles de Nitrógeno Total y toxicidad de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021

### **4) Información del Proceso.**

- a) Los análisis rutinarios del influente y efluente de la PTAR se realizan en el laboratorio de la planta y las comprobaciones o análisis finales en el laboratorio acreditado de Agua Asesoría Gestión y análisis ambientales. Por tanto, realizan análisis de todos los parámetros requeridos en las condiciones particulares de descarga de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 y de la NOM-001-SEMARNAT-2021 excepto COT, toxicidad, color verdadero, E. coli y Enterococos fecales.
- b) El Manual de operación comprende 5 capítulos: introducción, especificaciones del proceso, condiciones de operación, problemas de operación y aspectos de seguridad.
- c) Se cuenta con la documentación del historial de mantenimientos preventivos y correctivos realizados durante el último año de operación en la PTAR.
- d) Se cuenta con las bitácoras de operación y mantenimiento.
- e) Se cuenta con un manual de operación y mantenimiento.

### **5) Funcionamiento de la PTAR.**

- a) El estado de la obra civil del pre-desbaste se encuentra en buenas condiciones.
- b) Las rejillas gruesas y finas se encuentran en buen estado.
- c) El equipo de bombeo se encuentra en buenas condiciones de operación.

- d) El clasificador de arenas y tanque de grasas y aceites se encuentra fuera de operación.
- e) Los desarenadores-desgrasadores se encuentran en operación.
- f) Los clarificadores primarios se encuentran en operación.
- g) Los vertederos de los clarificadores primarios se observan desnivelados o falta de estos en algunos tramos.
- h) Reactores anaerobios A y D presentan una agitación excesiva de las aspas afectando la eficiencia del tratamiento.
- i) Los reactores anaerobios tienen varias zonas muertas generándose formación de costras de lodo en la superficie.
- j) Las estructuras civiles y equipos de los reactores anaerobios se encuentran en buen estado.
- k) Los reactores anóxicos se encontraron en buen funcionamiento.
- l) Tanto las obras civiles como las estructuras metálicas y equipos se encontraron en buen estado
- m) Los reactores aerobios se encuentran en buen estado de funcionamiento.
- n) Los cuatro clarificadores secundarios presentan un notable desnivel en los vertederos, asimismo en algunas zonas ya no se cuenta con vertederos

## **6) Muestreo.**

- a) Se realizó un muestreo compuesto de 24 h al influente y efluente general de la PTAR, considerando los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y de la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- b) Para la NOM-001-SEMARNAT-1996 no se cumplió el parámetro de nitrógeno total (NT)
- c) Para la NOM-001-SEMARNAT-2021, los parámetros que no cumplieron fueron Nitrógeno Total y toxicidad.

## **7) Influencia industrial.**

- a) La relación DQO/DBO del influente de la PTAR fue de 2.93 lo que indica que el agua residual presenta una fracción no biodegradable.
- b) Las unidades de toxicidad en el influente a los quince minutos de exposición variaron entre 9.88 y 18.474 UT. Estos valores son altos, y demuestran la influencia industrial del agua residual que llega a la planta El Ahogado.

## **8) Evaluación de conocimientos.**

- a) Los jefes de operación tienen antigüedad y tienen conocimientos técnicos. Los auxiliares en su gran mayoría tienen menos de 1 año de experiencia laboral.
- b) La mitad del personal tiene menos de 1 año de experiencia, lo que denota que no se ha dado continuidad a la plantilla laboral.
- c) Se entregó material didáctico para solventar un poco la problemática.

### **9) Seguridad.**

- a) La PTAR cuenta con todas las medidas de seguridad, señalización de zonas de riesgos, rutas de evacuación y señalización.
- b) Existe dentro de la PTAR disposiciones de seguridad tales como el uso de equipo de protección personal, elementos de protección respiratoria.
- c) Se cuenta con brigadas de evacuación, de primeros auxilios y prevención, así como de combate a incendios, búsqueda y rescate, así como una brigada de comunicación.
- d) La PTAR no cuenta con servicio de atención médica, ya que no cuenta con un espacio físico destinado para este fin, es decir, no se cuenta con enfermería, médico en la planta o paramédico.

### **10) Laboratorio**

- a) La PTAR cuenta con un laboratorio de análisis para un control interno de los parámetros que ayudan a controlar el funcionamiento de la planta.

### **11) Causas que limitan el desempeño de la PTAR**

- a) Acumulación de lodos y arenas en la caja de pre-desbaste.
- b) Arrastre de sólidos en los efluentes de sedimentadores primarios y secundarios.
- c) Biocida utilizado para la limpieza del sistema de luz ultravioleta incrementa el nivel de toxicidad del efluente de la planta.

## 34 CONCLUSIONES

De acuerdo con los datos analizados de los años 2018-2021, la PTAR El Ahogado trata el 91.1% del caudal promedio de diseño y cumple con los límites máximos permisibles de los parámetros requeridos en la NOM-001-Semarnat-1996. También cumple con los nuevos límites permisibles de temperatura, nitrógeno total, fósforo total y DQO requeridos por la NOM-001-Semarnat-2021.

De acuerdo con los resultados del muestreo realizado el efluente de la planta de tratamiento cumple con todos los parámetros requeridos en la NOM-001-Semarnat-1996 excepto el nitrógeno total. También cumple con los nuevos límites permisibles por la NOM-001-Semarnat-2021 excepto para nitrógeno total y toxicidad

Los resultados de los cuatro módulos de tratamiento biológico indican que tienen la capacidad de remover satisfactoriamente la materia orgánica y el fósforo total hasta los valores requeridos para cumplir la Normatividad. La remoción de nitrógeno total hasta 40 y 25 mg/l no se alcanza en los reactores como lo exige el cumplimiento de las normas.

Los resultados de la toxicidad en el efluente de los clarificadores secundarios antes de la desinfección indican la presencia de toxicidad en las muestras analizadas, por lo que el efluente de la planta de tratamiento es tóxico.

### **Recomendaciones**

Optimizar la operación de los diferentes módulos para que cumplan con los parámetros de oxígeno disuelto, pH, potencial de óxido reducción, porcentajes de recirculación requeridos para alcanzar la remoción satisfactoria del nitrógeno, fósforo y materia orgánica que se espera en este proceso. Así mismo, llevar un control estricto del mantenimiento de los diferentes equipos que se encuentran en cada módulo.

El efluente final de la planta de tratamiento antes de la desinfección es tóxico por lo que se recomienda un estudio de oxidación química para seleccionar un proceso que permita la reducción de la toxicidad de efluente y la desinfección al mismo tiempo.

## **PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

### **PROYECTO No.309621**

# **“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA”**

## **DIAGNÓSTICO DE LA PTAR**

### **“Agua Prieta”**

### **ZAPOPAN, JALISCO**



## INDICE

|        |  |      |
|--------|--|------|
| 1      | INFORMACIÓN DE LA PTAR .....                                   | 1288 |
| 1.1    | Datos generales.....   | 1288 |
| 1.1    | Ubicación.....   | 1289 |
| 1.2    | Descripción del proceso .....                                  | 1290 |
| 2      | REVISIÓN DOCUMENTAL .....                                      | 1292 |
| 2.1    | Planos.....  | 1292 |
| 2.2    | Permiso de descarga .....                                      | 1292 |
| 2.3    | Análisis de la memoria de cálculo.....                         | 1295 |
| 2.3.1  | Datos de diseño.....   | 1295 |
| 2.3.2  | Criterios de diseño .....                                      | 1295 |
| 2.4    | Análisis de la información histórica de calidad del agua ..... | 1297 |
| 2.4.1  | Caudal.....  | 1297 |
| 2.4.2  | Temperatura.....   | 1299 |
| 2.4.3  | pH.....  | 1300 |
| 2.4.4  | Coliformes fecales y huevos de helminto.....                   | 1301 |
| 2.4.5  | Grasas y Aceites .....   | 1301 |
| 2.4.6  | Materia flotante .....   | 1302 |
| 2.4.7  | Sólidos Sedimentables.....                                     | 1302 |
| 2.4.8  | Sólidos suspendidos totales (SST).....                         | 1302 |
| 2.4.9  | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).....                      | 1303 |
| 2.4.10 | Demanda Química de Oxígeno (DQO).....                          | 1304 |
| 2.4.11 | Nitrógeno total (NT) .....                                     | 1306 |
| 2.4.12 | Fósforo total (PT) .....                                       | 1307 |
| 2.4.13 | Metales y cianuros .....                                       | 1308 |
| 2.4.14 | Resumen de calidad del agua de la PTAR de Agua Prieta ....     | 1309 |
| 2.5    | Análisis de la información del Proceso.....                    | 1314 |
| 2.5.1  | Análisis rutinarios .....                                      | 1314 |

|       |   |      |
|-------|---|------|
| 2.5.2 | Manual de operación.....                          | 1321 |
| 2.5.3 | Reportes de operación (bitácoras) .....           | 1322 |
| 2.5.4 | Mantenimiento.....                                | 1323 |
| 3     | ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR.....  | 1324 |
| 3.1   | Descripción del proceso.....                      | 1324 |
| 3.2   | Estado de las unidades de proceso.....            | 1336 |
| 3.2.1 | Pretratamiento.....                               | 1336 |
| 3.2.2 | Tratamiento primario .....                        | 1339 |
| 3.2.3 | Sistema de lodos activados.....                   | 1341 |
| 3.2.4 | Sedimentadores secundarios .....                  | 1345 |
| 3.2.5 | Equipos electromecánicos .....                    | 1351 |
| 3.3   | Muestreo y calidad del agua residual.....         | 1352 |
| 3.3.1 | Resultados del muestreo compuesto .....           | 1356 |
| 3.3.2 | Resultados del muestreo simple .....              | 1363 |
| 3.3.3 | Eficiencia de las unidades de tratamiento .....   | 1363 |
| 3.3.4 | Influencia industrial.....                        | 1365 |
| 3.4   | Determinaciones de campo.....                     | 1366 |
| 4     | DIAGNÓSTICO DE PERSONAL.....                      | 1373 |
| 4.1   | Recursos Humanos.....                             | 1373 |
| 4.2   | Evaluación de conocimientos .....                 | 1373 |
| 4.3   | Capacitación .....                                | 1374 |
| 4.3.1 | Cursos de capacitación recibidos.....             | 1374 |
| 4.3.2 | Temas de capacitación solicitados .....           | 1374 |
| 4.3.3 | Material didáctico entregado .....                | 1375 |
| 5     | SEGURIDAD E HIGIENE .....                         | 1389 |
| 6     | LABORATORIO.....                                  | 1390 |
| 7     | CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR.....   | 1391 |
| 7.1   | Causas.....                                       | 1391 |
| 7.2   | Descripción de las causas y recomendaciones ..... | 1393 |
| 7.2.1 | Nivel I.....                                      | 1393 |



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



|       |                   |      |
|-------|-------------------|------|
| 7.2.2 | Nivel II.....     | 1394 |
| 7.2.3 | Nivel III.....    | 1396 |
| 7.3   | RESUMEN.....      | 1398 |
| 8     | CONCLUSIONES..... | 1403 |

## TABLAS

Tabla 1. Datos generales 1288

Tabla 2. Datos de ubicación y contacto 1289

Tabla 3. Condiciones particulares y Norma 001-Semarnat-2021 para la descarga de aguas residuales 1294

Tabla 4. Comportamiento de los metales pesados durante 2019-2021 1309

Tabla 5. Resumen de la calidad del efluente de la PTAR de Agua Prieta 1312

Tabla 6. Promedios mensuales de parámetros de calidad del agua obtenidos en los análisis rutinarios del influente de la PTAR 1314

Tabla 7. Promedios mensuales de parámetros de calidad del agua obtenidos en los análisis rutinarios del efluente de la PTAR 1315

Tabla 8. TRH de diseño y operación 1345

Tabla 9. Cargas hidráulicas de diseño y operación en los sedimentadores secundarios 1348

Tabla 10. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua 1355

Tabla 11. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT 1996 y 2021. 1356

Tabla 12. Resultados de laboratorio de las muestras simples obtenidas en los efluentes de los procesos. 1363

Tabla 13. Resultados del perfil de pH y OD en el reactor F 1367

Tabla 14. Resultados del perfil de pH y OD en el reactor G 1368

Tabla 15. Resultados del perfil de pH y OD en el reactor C 1369

Tabla 16. Resultados del perfil de pH y OD en el reactor D 1370

Tabla 17. Resultados del muestreo de manto de lodos en sedimentadores secundarios. 1371

Tabla 18. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR 1391

## **FIGURAS**

- Figura 1. Tren de tratamiento de la PTAR AGUA PRIETA. 1291
- Figura 2. Sitio de descarga del afluente de la PTAR 1293
- Figura 3. Datos históricos de caudal en la PTAR (2019 - 2021) 1298
- Figura 4. Caudal promedio, máximo y mínimo PTAR (2019-2021) 1299
- Figura 5. Datos históricos de temperatura en el efluente de la PTAR (2019 - 2021) 1300
- Figura 6. Datos históricos de pH en el efluente de la PTAR (2019-2021) 1301
- Figura 7. Datos históricos de sólidos suspendidos totales en el efluente de la PTAR (2019 - 2021) 1303
- Figura 8. Datos históricos de DBO<sub>5</sub> en el efluente de la PTAR (2019-2021) 1304
- Figura 9. Datos históricos de DQO en el efluente de la PTAR (2018 - 2021) 1305
- Figura 10. Concentración promedio de DBO y DQO en el efluente de la PTAR (2019-2021) 1306
- Figura 11. Datos históricos de nitrógeno total en el efluente de la PTAR (2019 - 2021) 1307
- Figura 12. Datos históricos de fósforo total en el efluente de la PTAR (2019 - 2021) 1308
- Figura 13. Temperatura en el efluente (análisis rutinarios) 1316
- Figura 14. pH en el efluente (análisis rutinarios) 1317
- Figura 15. DBO<sub>5</sub> en el efluente (análisis rutinarios) 1317
- Figura 16. SST en el efluente (análisis rutinarios) 1318
- Figura 17. N<sub>T</sub> en el efluente (análisis rutinarios) 1319
- Figura 18. P<sub>T</sub> en el efluente (análisis rutinarios) 1319
- Figura 19. SS en el efluente (análisis rutinarios) 1320
- Figura 20. GyA en el efluente (análisis rutinarios) 1321
- Figura 21. Canal de la CFE y caja de distribución hacia el sistema de pretratamiento 1324
- Figura 22. Cribado grueso 1325

|  |      |
|--|------|
| Figura 23. Cribas finas  | 1326 |
| Figura 24. Sistema de desarenado-desengrasado  | 1328 |
| Figura 25. Sistema de tratamiento primario   | 1329 |
| Figura 26. Sistema de bombeo de sedimentadores primarios                               | 1330 |
| Figura 27. Sistema de tratamiento secundario   | 1331 |
| Figura 28. Sedimentadores secundarios  | 1332 |
| Figura 29. Descarga final de la PTAR Agua Prieta                                       | 1333 |
| Figura 30. Agua de servicios   | 1334 |
| Figura 31. Unidad de desinfección con luz ultravioleta                                 | 1335 |
| Figura 32. Tren de tratamiento de lodos residuales.                                    | 1336 |
| Figura 33. Rejillas gruesas  | 1337 |
| Figura 34. Rejillas finas  | 1338 |
| Figura 35. Desarenadores-desgrasadores   | 1339 |
| Figura 36. Clasificadores de arenas  | 1339 |
| Figura 37. Unidad de tratamiento primario conformado por bandas filtrantes             | 1340 |
| Figura 38. Cárcamo de bombeo   | 1341 |
| Figura 39. Reactor de lodos activados operando parcialmente                            | 1342 |
| Figura 40. Reactores de lodos activados en malas condiciones de operación              | 1342 |
| Figura 41. Rotura de difusores en los reactores de lodos activados                     | 1343 |
| Figura 42. Acumulación de sólidos y basura en el reactor biológico                     | 1343 |
| Figura 43. Acumulación de arenas en el fondo de un reactor de lodos activados          | 1344 |
| Figura 44. Reactor de lodos activados fuera de operación                               | 1345 |
| Figura 45. Sedimentadores secundarios operando ineficientemente                        | 1346 |
| Figura 46. Efluente de los sedimentadores secundarios                                  | 1346 |
| Figura 47. Presencia de natas y grasas y aceites en los sedimentadores secundarios     | 1347 |
| Figura 48. Presencia de burbujeo y sólidos flotantes en los sedimentadores secundarios | 1348 |

- Figura 49. Sólidos acumulados en las entradas de los sedimentadores secundarios 1348
- Figura 50. Sólidos y arenas acumuladas en el fondo de los sedimentadores secundarios 1348
- Figura 51. Sedimentadores secundarios fuera de operación 1350
- Figura 52. Sedimentador secundario F operando eficientemente 1350
- Figura 53. Descarga final de la PTAR Agua Prieta 1351
- Figura 54. Estado físico de los equipos electromecánicos. 1352
- Figura 55. Puntos de muestreo definidos para la caracterización del agua residual de la PTAR. 1353
- Figura 56. Variación del caudal en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto. 1358
- Figura 57. Concentraciones de GyA en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto. 1359
- Figura 58. Concentraciones de CF en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto. 1359
- Figura 59. Concentraciones de E. Coli en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto. 1360
- Figura 60. Valores de pH en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto. 1361
- Figura 61. Temperaturas determinadas en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto. 1361
- Figura 62. Variación de la toxicidad aguda (*Vibrio fischeri*) en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto. 1362
- Figura 63. Variación de la DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en la PTAR Agua Prieta durante el muestreo simple. 1364
- Figura 64. Variación de nutrientes (P<sub>T</sub> y N<sub>T</sub>) en la PTAR Agua Prieta durante el muestreo simple. 1365
- Figura 65. Puntos de muestreo en los sedimentadores secundarios. 1371
- Figura 66. Portada de los manuales. 1376
- Figura 67. Infografías. 1381
- Figura 68. Manual de ejercicios prácticos. 1382
- Figura 69. Kit de figuras. 1387

Figura 70. Entrega de material didáctico. 1387

Figura 71. Entrega y recepción de materiales de apoyo técnico impreso  
1388

Figura 72. Equipo de protección personal y atención de emergencias  
1389

Figura 73. Laboratorio de análisis 1390



## 1 INFORMACIÓN DE LA PTAR

### 1.1 Datos generales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Agua Prieta está ubicada en el municipio de Zapopan, Jalisco. Fue construida a partir de 2012 y se inauguró en 2014. La PTAR recibe el 80% de las aguas residuales que se generan en la zona metropolitana de Guadalajara y que comprende los municipios de Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá y parte de la ciudad de Guadalajara, dando servicio a una población de 3 520,000 habitantes. Para la captación de las aguas residuales se utiliza el Túnel - Interceptor San Gaspar - Atemajac, el cual con una longitud de 10.4 km, conduce las aguas de las subcuencas Osorio, San Andrés y San Gaspar, a la PTAR “Agua Prieta”.

La PTAR tiene una capacidad para tratar 8.5 m<sup>3</sup>/s y está diseñada para tratar un gasto máximo de 15.3 m<sup>3</sup>/s. En el año 2021 (enero-julio) trató un gasto promedio de 4.78 m<sup>3</sup>/s, con un flujo máximo de 5.92m<sup>3</sup>/s y flujo mínimo de 4.06 m<sup>3</sup>/s. La calidad del efluente permite descargar el agua a un cuerpo receptor tipo “B”. Se pretende que el agua tratada se reutilice para la producción de energía eléctrica en la central hidroeléctrica “Valentín Gómez Farías” de la Comisión Federal de Electricidad y descarga final al río Santiago. Los lodos generados se tratan por digestión anaerobia y generan el 80% de la electricidad que requiere la planta para su operación. Se producen 178 toneladas de biosólidos secos por día. Una parte se utiliza como mejorador de suelo y otra parte se deposita en un mono relleno. En la Tabla 222 se presentan algunos datos generales de la PTAR (tomados del Anexo A, el cual contiene los formatos con la información obtenida en campo, procesada y corregida).

**Tabla 222. Datos generales**

| <b>Datos generales</b>                    |   |                     |  |
|---|---|---------------------|--|
| Año de construcción                       | <b>2011-2014</b>                                  | Inicio de operación | <b>Abril de 2014</b>                             |
| Municipios de los cuales recibe descargas | <b>Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá y Guadalajara</b> | Población servida   | <b>Aprox. 3 520,000 hab.</b>                     |
| Actualización más reciente                |   | Tipo de tratamiento | <b>Biológico de lodos activados convencional</b> |

| <b>Datos generales</b> |   |                    |  |
|------------------------|---|--------------------|--|
|                        |   |                    | <b>con digestión anaerobia de lodos y sistema de cogeneración de energía</b> |
| Gasto de diseño        | <b>Flujo promedio: 8,500 L/s</b><br><b>Flujo máximo: 15,300 L/s</b> | Gasto de operación | <b>4,780 L/s (promedio 2021)</b>   |

Fuente:

[http://info.ceajalisco.gob.mx/notas/documentos/ptar\\_agua\\_prieta\\_enero\\_2012.pdf](http://info.ceajalisco.gob.mx/notas/documentos/ptar_agua_prieta_enero_2012.pdf).

Presentación en PowerPoint.

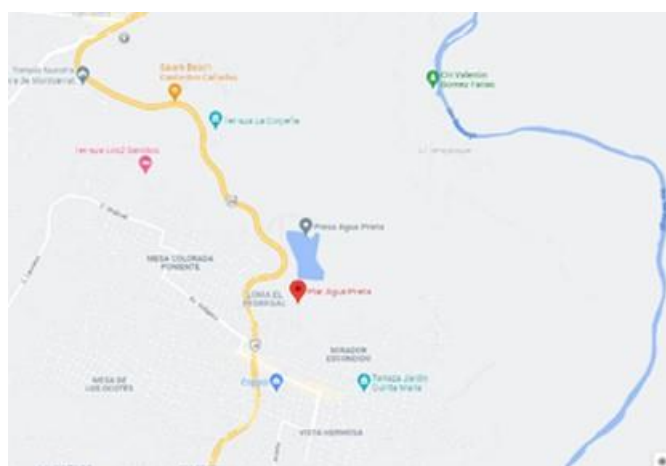
## 1.1 Ubicación

La PTAR “Agua Prieta” se encuentra ubicada en la colonia Mesa Colorada Poniente, en el municipio de Zapopan, Jalisco. La PTAR es operada por la empresa Atlatec y se encuentra a cargo del Ing. Roberto Villanueva Camacho. En la Tabla 223, se muestran los datos de ubicación y contacto de la PTAR.

**Tabla 223. Datos de ubicación y contacto**

| <b>Ubicación</b>   |                                      |
|--------------------|--------------------------------------|
| Nombre de la PTAR  | <b>PTAR AGUA PRIETA</b>              |
| Calle y número     | <b>Carretera a Saltillo 45</b>       |
| Colonia y C.P.     | <b>Mesa Colorada Poniente, 45189</b> |
| Municipio y estado | <b>Zapopan, Jalisco</b>              |
| Coordenadas        | <b>20.77033, -103.33609</b>          |

### Ubicación



| <b>Contacto</b>    |  |          |                             |
|--------------------|--|----------|-----------------------------|
| Nombre             | <b>Ing. Roberto Villanueva Camacho</b> | Puesto   | <b>Encargado de la PTAR</b> |
| Correo electrónico | <b>Roberto.villanueva@mitinfra.com</b> | Teléfono |                             |

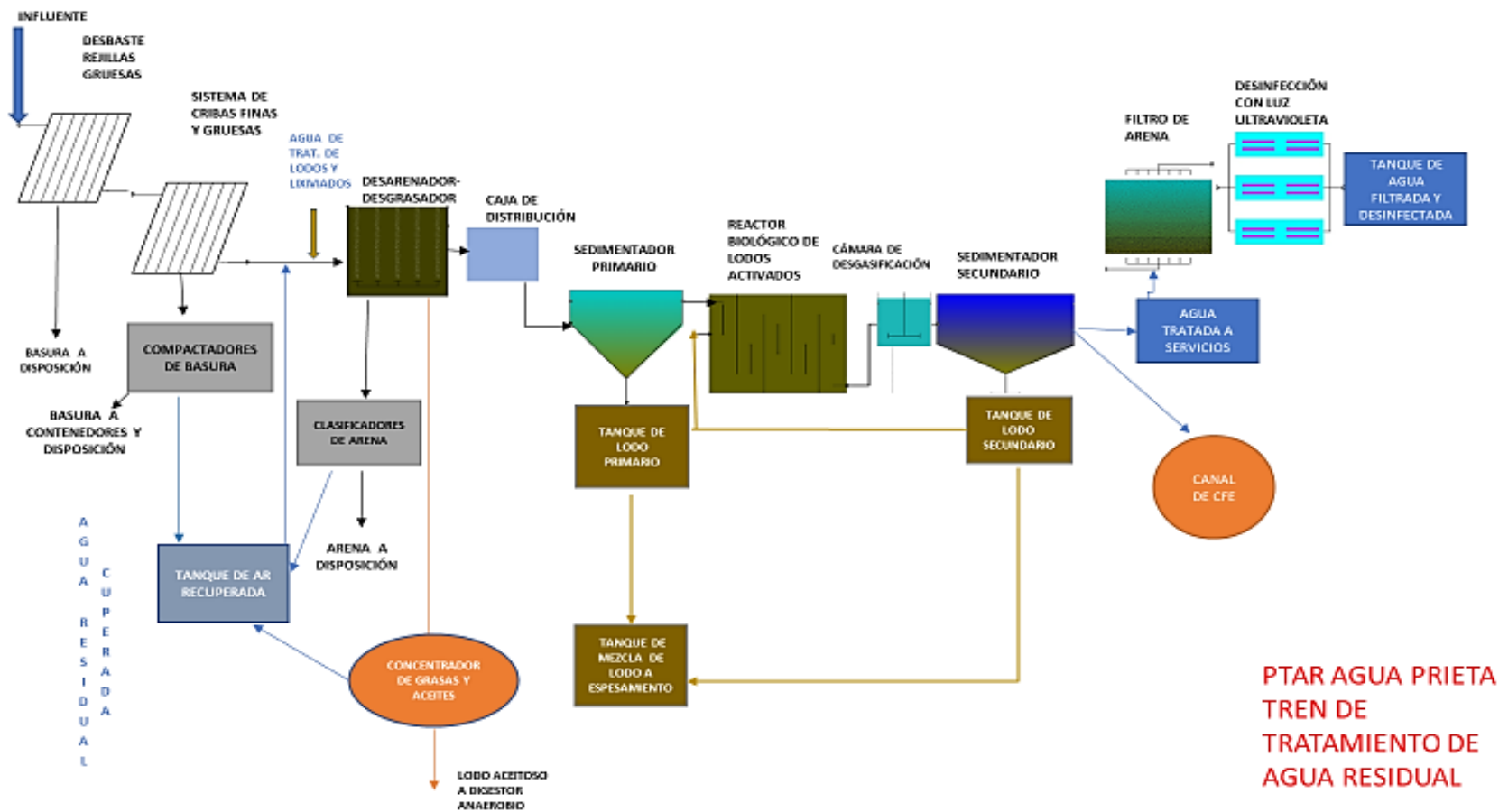
## 1.2 Descripción del proceso

La PTAR AGUA PRIETA trata las aguas residuales de la Cuenca Hidrológica Atemajac, que genera aproximadamente el 80% de las aguas residuales de la Zona Conurbada de Guadalajara. Este efluente es aprovechado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en la Central Hidroeléctrica “Valentín Gómez Farías” (Agua Prieta) y es conducido por el Canal de la CFE. El agua residual para tratar en la PTAR Agua Prieta se recibe en el punto de llegada del Canal de la CFE en los límites del terreno donde se encuentra la PTAR. El flujo máximo que la planta recibirá es de 15,300 L/s y el excedente a esta cantidad continuará por el Canal de la CFE.

El proceso de tratamiento del agua residual está formado por las siguientes etapas:

- Cribado grueso.
- Cribado fino.
- Equipos combinados de desarenado - desengrasado.
- Tratamiento primario.
- Bombeo de efluente primario
- Reactor aeróbico.
- Sedimentación secundaria.
- Servicios auxiliares:
  - Filtros multimedia y sistema de desinfección UV para agua de servicios y dilución de polímero.

En la Figura 1 se presenta un diagrama de flujo general del proceso. Es un sistema de tratamiento de lodos activados con filtración y desinfección parcial del efluente, el cual se usa dentro de la planta. El caudal restante, lo utiliza la CFE en sus instalaciones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 650. Tren de tratamiento de la PTAR AGUA PRIETA.

## 2 REVISIÓN DOCUMENTAL

Se recopilaron 72 archivos con información relacionados a la PTAR de Agua Prieta.

1. Planos
2. Memoria de calculo
3. Manual de operación
4. Manual de mantenimiento
5. Manuales y garantías de equipos
6. Bitácoras de operación
7. Bitácoras de mantenimiento
8. Programa de mantenimiento
9. Datos históricos de calidad del agua
10. Análisis de calidad del agua de cumplimiento ante Conagua
11. Permiso de descarga

### 2.1 Planos

La PTAR proporcionó plano general (1), planos funcionales (41), arquitectónicos (4), planos hidráulicos (1).

### 2.2 Permiso de descarga

El permiso de descarga para las PTARM de Jalisco se encuentra en el mismo documento expedido por la Comisión Nacional del Agua, para el Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico.

Número de expediente: JAL-O-0347-03-03-16

Número de Resolución: JAL125681/18

Título de Concesión número: 08JAL125681/12HSOC10, que autoriza la explotación, usar o aprovechar aguas nacionales superficiales y descargar aguas residuales de tipo municipal. Este Título se actualizó mediante una prórroga de 10 años a partir del 3 de septiembre de 2016 hasta el 4 de septiembre de 2026. Dicha prórroga aparece en:

Número de expediente: JAL-O-0347-03-03-16.

Número de Resolución: JAL125681/18.

En el anexo 4.1 con título Número: 08JAL125681/12HSDA18 se encuentran las condiciones específicas y particulares para el permiso de tres descargas de

aguas residuales. Identificándose por el caudal de descarga a la PTAR de Agua Prieta, la cual aparece como DESCARGA No UNA DE TRES.

Título número: 08JAL125681/12HSDA18 para tres descargas

Agua Prieta (número de descarga una de tres)

Municipio Zapopan

Volumen de descarga: 734,400 m<sup>3</sup>/d (8,500 L/s)

Cuerpo receptor: Río Santiago

Coordenadas:

Latitud Norte: 20°46'37.0",

Longitud Oeste: -103°25'02.0"



**Figura 651. Sitio de descarga del afluente de la PTAR**

Las condiciones particulares de descarga a la que deberán sujetarse las aguas residuales tratadas procedentes de la PTAR DE Agua Prieta, Jalisco, aparecen en la Tabla 224.

**Tabla 224. Condiciones particulares y Norma 001-Semarnat-2021 para la descarga de aguas residuales**

| Parámetro   | Condiciones Particulares de Descarga (NOM-001-SEMARNAT-1996) C.R. Tipo B |               | Carga (kg/d) | NOM-001-Semarnat-2021 (Ríos, arroyos, canales, drenes) |               |  | Unidades             |
|---|--|---------------|--------------|--|---------------|--|----------------------|
|   | Concentración promedio   |               |              | Concentración promedio                                 |               |  |                      |
|   | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) |              | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) | Valor Instantáneo (V.I.)                   |                      |
| Temperatura                                       | 40   | 40            | N.A.         | 35   | 35            | 35   | °C                   |
| Grasas y Aceites (GyA)                            | 15   | 25            | 18,360       | 15   | 18            | 21   | mg/L                 |
| Materia flotante                                  | Ausente  | Ausente       | NA           | NA   | NA            | NA   | Ausencia / presencia |
| Sólidos sedimentables                             | 1  | 2             | NA           | NA   | NA            | NA   | ml/l                 |
| Sólidos suspendidos totales (SST)                 | 75.00  | 125           | 91,800       | 60   | 72            | 84   | mg/L                 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | 75.00  | 150           | 91,800       | NA   | NA            | NA   | mg/L                 |
| Demanda Química de Oxígeno(DQO)                   | NA   | NA            | NA           | 150  | 180           | 210  | mg/L                 |
| Carbón Orgánico Total(COT)                        | NA   | NA            | NA           | 38   | 45            | 53   | mg/L                 |
| Nitrógeno Total (NT)                              | 40   | 60            | NA           | 25   | 30            | 35   | mg/L                 |
| Fósforo Total (PT)                                | 20   | 30            | NA           | 15   | 18            | 21   | mg/L                 |
| Huevos de Helminetos                              | <5   | <5            | NA           | NA   | NA            | NA   | huevos/litro         |
| Coliformes fecales                                | 1,000  | 2,000         | NA           | NA   | NA            | NA   | NMP/100 ml           |
| <i>Escherichia Coli</i>                           | NA   | N.A           | NA           | 250  | 500           | 600  | NMP/100 ml           |
| <i>Enterecocos fecales</i>                        | NA   | NA            | NA           | 250  | 400           | 500  | NMP/100 ml           |
| pH  | 5-10   | 5-10          | NA           | 6-9  | 6-9           | 6-9  | UpH                  |
| Arsénico Total (As)                               | 0.1  | 0.2           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4  | mg/L                 |
| Cadmio Total (Cd )                                | 0.1  | 0.2           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4  | mg/L                 |
| Cianuro Total (CN )                               | 1  | 2             | NA           | 1  | 2             | 3  | mg/L                 |
| Cobre Total (Cu)                                  | 4  | 6             | NA           | 4  | 5             | 6  | mg/L                 |
| Cromo Total (Cr)                                  | 0.5  | 1             | NA           | 1  | 1.25          | 1.5  | mg/L                 |
| Mercurio Total (Hg)                               | 0.005  | 0.01          | NA           | 0.01   | 0.015         | 0.02                                       | mg/L                 |
| Níquel Total (Ni)                                 | 2  | 4             | NA           | 2  | 3             | 4  | mg/L                 |
| Plomo Total (Pb )                                 | 0.2  | 0.4           | NA           | 0.2  | 0.3           | 0.4  | mg/L                 |
| Zinc Total (Zn)                                   | 10   | 20            | NA           | 10   | 15            | 20   | mg/L                 |
| Color Verdadero                                   | NA   | NA            | NA           | Longitud de onda                                       |               | Coefficiente de absorción espectral máximo | NA                   |
|   | NA   | NA            | NA           | 436 nm   |               | 7,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup> |
|   | NA   | NA            | NA           | 525 nm   |               | 5,0 m <sup>-1</sup>                        | nm y m <sup>-1</sup> |

| Parámetro       | Condiciones Particulares de Descarga (NOM-001-SEMARNAT-1996) C.R. Tipo B |               | Carga (kg/d) | NOM-001-Semarnat-2021 (Ríos, arroyos, canales, drenes) |               |                          | Unidades |
|-----------------|--|---------------|--------------|--|---------------|--------------------------|----------|
|                 | Concentración promedio   |               |              | Concentración promedio                                 |               |                          |          |
|                 | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) |              | Mensual (P.M.)   | Diario (P.D.) | Valor Instantáneo (V.I.) |          |
|                 | NA   | NA            |              | NA   | 620 nm        | 3,0 m <sup>-1</sup>      |          |
| Toxicidad Aguda | NA   | NA            | NA           | 2 a los 15 minutos de exposición                       |               | UT                       |          |

C.R. Cuerpo receptor, N.A: No Aplica, P.M: Promedio Mensual, P.D: Promedio Diario, V.I: Valor Instantáneo, NMP: Número más probable, UpH: Unidades de pH, UT: Unidades de Toxicidad

\* Si Cloruros es menor a 1000 mg/L se analiza y reporta DQO. \* Si Cloruros es mayor o igual a 1000 mg/L se analiza y reporta COT. \* Si la conductividad eléctrica menor a 3500 µS/cm se analiza y reporta E. coli. \* Si la conductividad eléctrica es mayor o igual a 3500 µS/cm se analiza y reporta Enterococos fecales. Las determinaciones de Conductividad eléctrica y de Cloruros no requieren la acreditación y aprobación de la entidad correspondiente.

## 2.3 Análisis de la memoria de cálculo

La PTAR suministró las memorias de cálculo del reactor biológico aerobio y la memoria de prediseño del digestor de lodos anaerobio.

### 2.3.1 Datos de diseño

En la memoria de cálculo no se presentan los datos de diseño (caudales, calidad del agua del influente y efluente).

### 2.3.2 Criterios de diseño

Dentro de la memoria de cálculo suministrada por el personal de la PTAR no se mencionan las condiciones particulares de descarga asignadas por la Conagua, ni la calidad del efluente que se busca obtener. Tampoco se menciona el lugar donde se descargará el agua residual tratada o el uso que se dará a la misma.

En la portada de la memoria de cálculo se menciona que el caudal que tratará la PTAR es de 8,500 L/s, sin especificar el caudal mínimo o máximo.

Se menciona que la PTAR contará con un tratamiento biológico que consiste en nueve reactores anaeróbicos (con las mismas dimensiones) y se considera una edad de lodo baja con el objetivo de buscar inhibir la nitrificación dentro del sistema.

#### a) Pretratamiento



No se presentó la memoria de cálculo del pretratamiento.

### **b) Tratamiento primario**

No se presentó la memoria de cálculo del tratamiento primario.

### **c) Reactores aeróbicos**

De acuerdo a la memoria de cálculo presentada, el sistema de lodos activados considera la remoción de materia carbonácea, evitando en la medida de lo posible que se lleve a cabo el proceso de nitrificación. Se diseñan 9 unidades rectangulares, con las mismas dimensiones para cada reactor.

Se presenta el cálculo de la edad máxima del lodo activado para evitar la nitrificación, que resulta menor a 0.8 d (23.5 °C) y a 1.2 d (21.1 °C). Sin embargo, se presenta posteriormente un tiempo de residencia media celular de 2.4 d, basados en los resultados de una simulación que no se presenta. Por lo que los primeros cálculos que se presentan en la memoria de cálculo no tienen ninguna utilidad dentro de los cálculos posteriores.

En la memoria de cálculo entregada no se incluyen los datos completos de las referencias utilizadas. Adicionalmente, varias ecuaciones utilizadas son omitidas, presentando resultados sin una explicación clara de su procedencia.

El TRH resulto de 5.3 h y la relación A/M es de 0.59, lo que clasifica el proceso biológico como un sistema de lodos activados convencional.

En la memoria de cálculo no se justifica el número de decimales significativos en los cálculos, es decir, el número de decimales que se utilizará, por lo que si se realizan los cálculos con los valores que presentan en las tablas, los resultados difieren. Por ejemplo, en el cálculo de la producción de lodos existe una diferencia de 48.5 kg SST/d, es decir, más de 1.4 toneladas mensuales de diferencia.

Se presentan parámetros como  $Q_{\text{efluente PTAR}}$ , Lodo sec a espes.  $SSV_M$ , entre otros, sin presentar la explicación o referencia de donde se obtuvieron.

Por último, en la memoria de cálculo se presenta la determinación de los requerimientos de nitrógeno y fósforo. Sin embargo, no se realiza un balance de masa para determinar si los nutrientes en el influente cubren con la demanda de nutrientes en el sistema biológico o si se requiere añadir algún complemento nutricional.

#### **d) Sedimentador secundario**

No se presentó la memoria de cálculo del sedimentador secundario.

#### **e) Servicios auxiliares**

No se presentó la memoria de cálculo del sistema de desinfección o de los filtros de tratamiento terciario.

### **2.4 Análisis de la información histórica de calidad del agua**

A continuación, se presenta un análisis de los parámetros que fueron reportados a la Comisión Nacional del Agua para demostrar el cumplimiento de la CPDs. Estos datos abarcan desde enero de 2019 hasta julio de 2021 y se pueden consultar en la liga [https://drive.google.com/drive/folders/1DMAe\\_0oxv1qD8497kjSQcILlUoDYRbXy?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1DMAe_0oxv1qD8497kjSQcILlUoDYRbXy?usp=sharing), la cual corresponde a la información documental entregada por la PTAR. Dicha información se entregará en memoria extraíble al finalizar el proyecto.

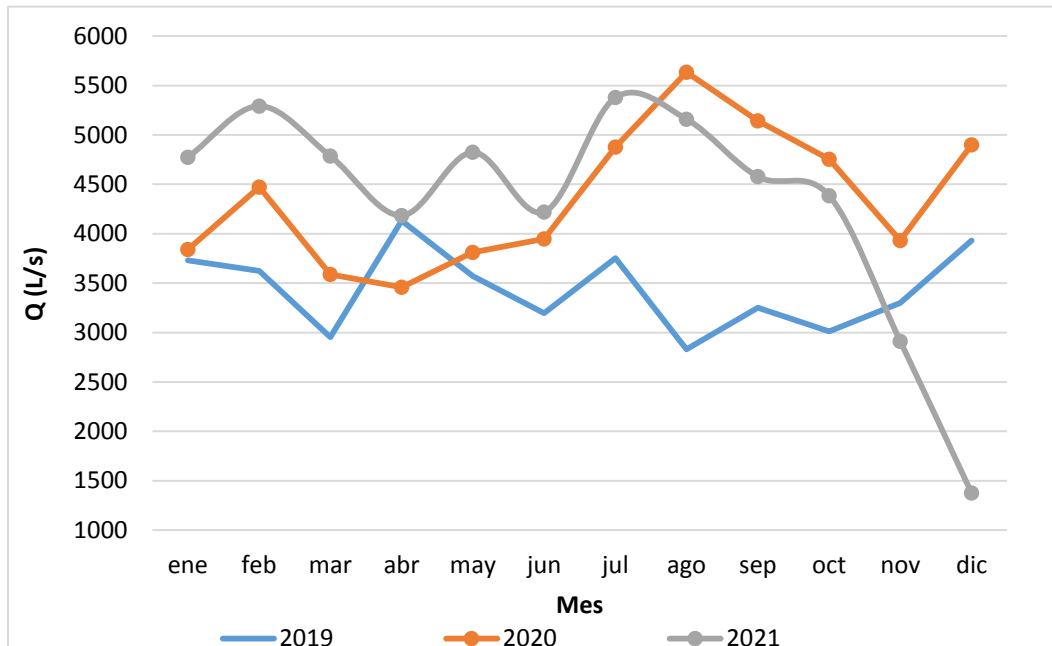
Los parámetros que se presentan son los solicitados en la NOM-001-SEMARNAT-1996, que son algunos de los incluidos en el título de concesión para descarga de agua residual tratada y contiene parámetros adicionales: NTK, nitritos y nitratos, así como la Demanda Química de Oxígeno, que se incluye en la NOM-001-Semarnat-2021. El permiso de descarga no pide los parámetros de coliformes fecales y huevos de helminto requeridos por la norma.

Los datos de los análisis utilizados para hacer la evaluación del efluente de la PTAR son los realizados por el laboratorio acreditado “Agua, Asesoría, Gestión y Análisis Ambientales S.A. de C.V” quien hace la caracterización del efluente de la planta dos veces al mes y de los análisis diarios realizados en el laboratorio de la PTAR.

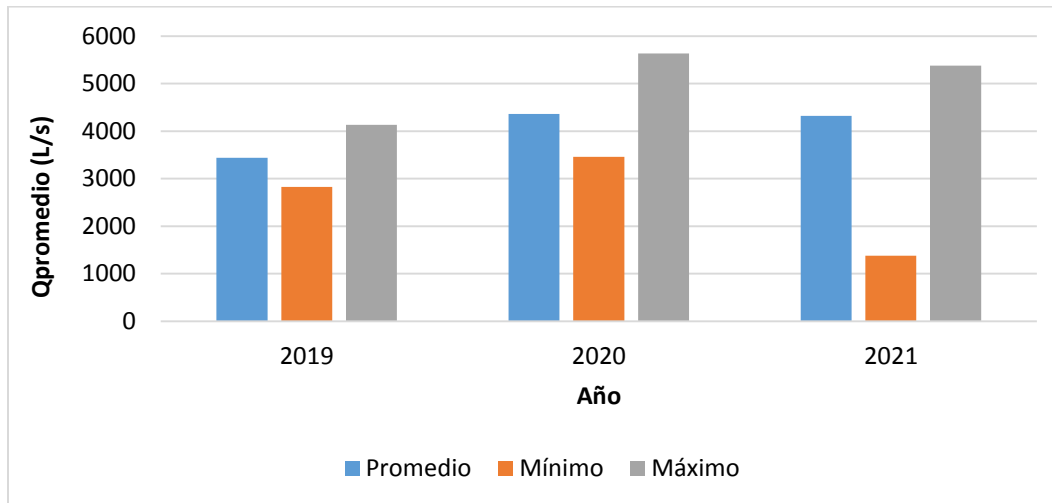
#### **2.4.1 Caudal**

La PTAR de Agua Prieta puede tratar un caudal promedio de 8,500 L/s y un caudal máximo de 15,000 L/s. En la Figura 652, se presentan los datos obtenidos de la medición del caudal en el efluente de la PTAR entre los años 2019 y 2021. La planta ha operado con un caudal promedio de 4,041 L/s y una desviación estándar (DS de  $\pm 892.45$  L/s) y un coeficiente de variación (CV de 22%). El caudal máximo tratado en la planta es de 5,634 L/s y un caudal mínimo de 1,376 L/s. En la Figura 653, se muestra el caudal promedio,

máximo y mínimo con que ha operado la planta en los años 2019 -2021. Se puede observar que el caudal tratado se incrementó en el año 2020. Se trataron 4,366 L/s promedio al mes, con un flujo máximo de 5,634 L/s y un flujo mínimo de 3,459 L/s. Estos valores son superiores a los reportados en el 2019. Sin embargo, durante el año 2021, la planta disminuyó considerablemente el caudal de operación desde el mes de julio de 2021 y disminuyó drásticamente en el mes de diciembre con un promedio mensual de 1,376.75 L/s, representando el valor más bajo de los años que se están reportando. El caudal promedio que trató la planta durante los años 2020 y 2021 fue de 50%. Este valor es muy bajo si se considera que la planta cuenta con capacidad e infraestructura para tratar 8,500 L/s y no se está aprovechando totalmente.



**Figura 652. Datos históricos de caudal en la PTAR (2019 - 2021)**



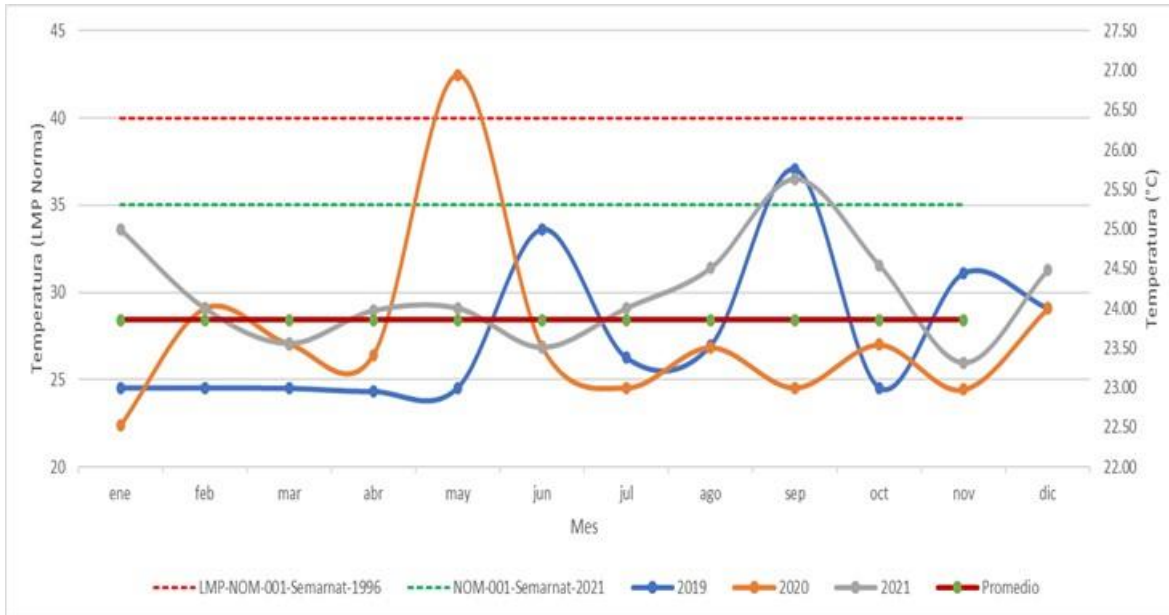
**Figura 653. Caudal promedio, máximo y mínimo PTAR (2019-2021)**

## 2.4.2 Temperatura

La temperatura en el efluente de la Planta también es un parámetro que está normado y que tiene un límite máximo de 40 °C y de 35 °C de acuerdo con la NOM-001-Semarnat-1996 o su actualización de 2021. En la Figura 5, se presentan los valores reportados de temperatura en el efluente de la PTAR entre los años 2019 y 2021.

El efluente tiene valor promedio mensual de 23.8°C con una desviación estándar de  $\pm 0.93$  unidades y un coeficiente de variación de 4.0 %. Se observa que la temperatura más frecuente está en el rango de 23.8-24.8°C.

La temperatura mínima en el período fue de 22°C y la máxima de 27°C. Siempre se cumple con el LMP de temperatura que fija la Normatividad.



**Figura 654. Datos históricos de temperatura en el efluente de la PTAR (2019 - 2021)**

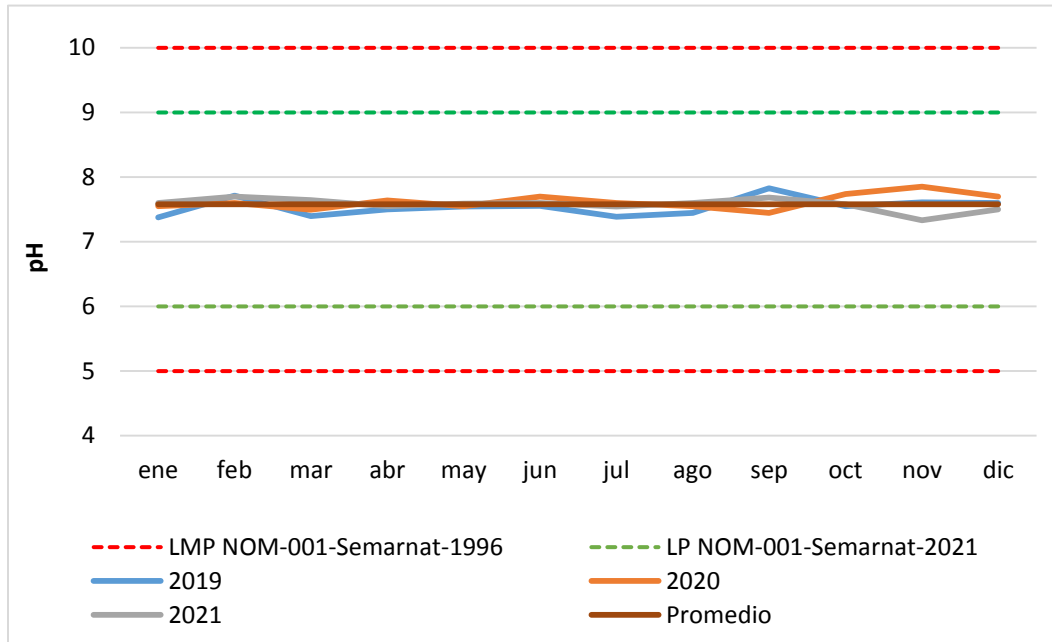
### 2.4.3 pH

Este parámetro resulta importante no solo para el cumplimiento de lo establecido en la normatividad oficial mexicana y lo solicitado en el título de concesión, sino que también resulta indispensable para el proceso de depuración de aguas residuales, ya que la TAR cuenta con un proceso biológico, cuyos microorganismos dependen de condiciones óptimas de pH para sobrevivir y realizar la degradación de contaminantes de manera adecuada.

Para realizar un adecuado tratamiento y que los microorganismos aerobios tengan un ambiente propicio se deben tener valores de pH entre 6.5 y 8.0 unidades. Mientras que la normatividad permite efluentes con valores entre 5.0 - 10.0 unidades de pH y de 6-9 (NOM-001-Semarnat-1996 y 2021, respectivamente).

En la Figura 655, se presentan los valores obtenidos de pH en el efluente de la PTAR entre los años 2019 y 2021. Se observa que el pH tiene valores promedio mensual de 7.57 unidades con una desviación estándar de  $\pm 0.14$  unidades y un coeficiente de variación de solo 1.2%. El pH del efluente se encuentra generalmente en el intervalo de 7.58 a 7.7. La variación del pH en el período seleccionado está entre 7.3-7.9 unidades, por lo tanto, este efluente cumple con las condiciones de descarga exigidas por la normatividad. Además, se observa que el intervalo de pH presente es

adecuado para que se desarrollen adecuadamente los procesos biológicos del proceso de tratamiento.



**Figura 655. Datos históricos de pH en el efluente de la PTAR (2019-2021)**

#### 2.4.4 Coliformes fecales y huevos de helminto

Estos parámetros no se analizan para la descarga ya que no se requiere en las condiciones particulares de descarga.

#### 2.4.5 Grasas y Aceites

El valor máximo permitido de grasas y aceites en la descarga de aguas residuales tratadas a un cuerpo receptor tipo B es de 25 mg/L promedio diario y de 15 mg/L promedio mensual (NOM-001-Semarnat-1996) y 18 mg/L promedio diario y de 15 mg/L promedio mensual (NOM-001-Semarnat-2021). Los datos de los análisis realizados por el laboratorio certificado y los análisis realizados por la planta de tratamiento muestran que este parámetro siempre cumple con los LMP establecidos por la normatividad. Se encontró que en el 89% de los casos el valor de grasa y aceites en la descarga de la planta es <8 mg/L. Este resultado es congruente ya que la planta de tratamiento cuenta con equipo para remoción de grasas y aceites. El valor máximo reportado durante los años 2019-2021 es de 10.8 mg/L.

#### **2.4.6 Materia flotante**

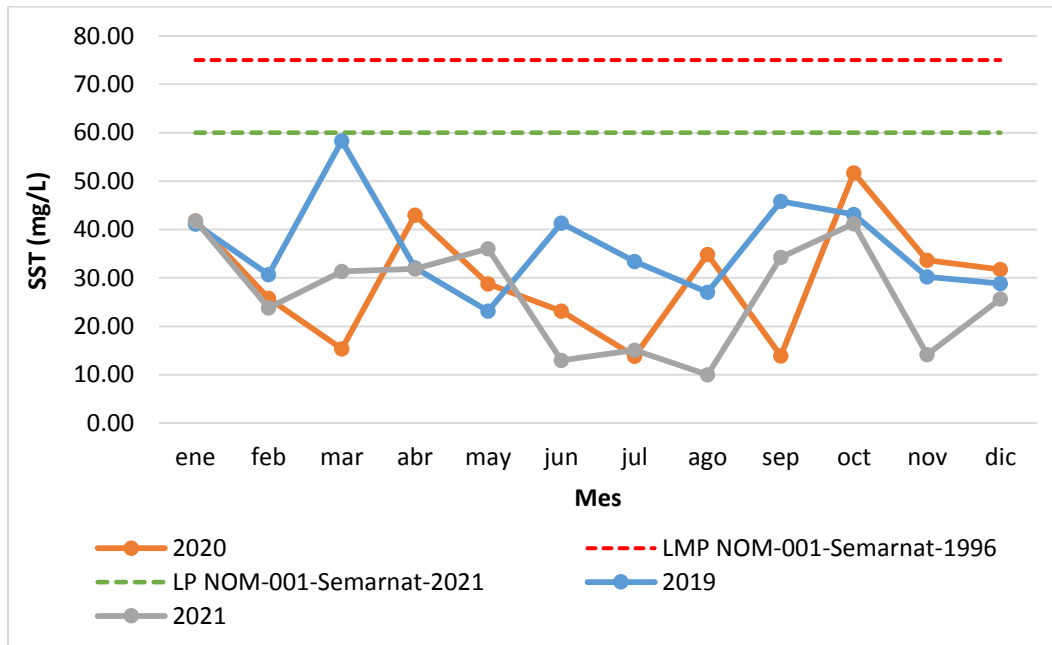
Los resultados de los análisis de materia flotante reportados en los informes mensuales de la planta de tratamiento y los resultados diarios proporcionados por el laboratorio de la PTAR, indican que el efluente está libre de materia flotante, por lo que se cumple con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

#### **2.4.7 Sólidos Sedimentables**

Los sólidos sedimentables en el efluente de una Planta de tratamiento que descarga a un cuerpo receptor tipo B no deben sobrepasar el límite máximo establecido en la normatividad oficial vigente, que establece un máximo de 2.0 mg/L promedio diario y 1.0 mg/L promedio mensual. Los sólidos sedimentables en el efluente se reportan  $\leq 0.1$  mg/L en un 92%. Lo que indica cumplimiento total de la Normatividad. La NOM-001-Semarnat-2021 no los considera entre los parámetros básicos.

#### **2.4.8 Sólidos suspendidos totales (SST)**

En la Figura 656, se presentan los resultados de SST realizados al efluente de la PTAR Agua Prieta, entre enero de 2019 y diciembre de 2021. Se observa un valor promedio mensual alrededor de 31 mg/L, una D.S de  $\pm 12$  unidades y un C.V de 38%. La variación de los datos esta entre 10 y 58.32 mg/L. Los valores del efluente cumplen con los LMP de descarga establecidos por la Normatividad de 75 mg/L para el promedio mensual (PM) (NOM-001-Semarnat-1996) y también cumple con los 60 mg/L promedio mensual que establece la NOM-001-Semarnat-2021.



**Figura 656. Datos históricos de sólidos suspendidos totales en el efluente de la PTAR (2019 - 2021)**

#### 2.4.9 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

La remoción de materia orgánica es uno de los parámetros más importantes dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo que determinar la concentración de materia orgánica que se libera en el efluente de la Planta, en forma de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es indispensable para evaluar el desempeño y cumplimiento de la PTAR.

En la Figura 657 se presentan los promedios mensuales de la DBO<sub>5</sub> del efluente. Se observa un valor promedio de 33 mg/L con una D.S. de  $\pm 16.5$  mg/L y con coeficiente de variación de 55%. Los valores de la DBO<sub>5</sub> varían en un intervalo entre 5 y 70 mg/L. Todos los valores cumplen con el LMP (75 mg/L como promedio mensual) que indica la Normatividad.



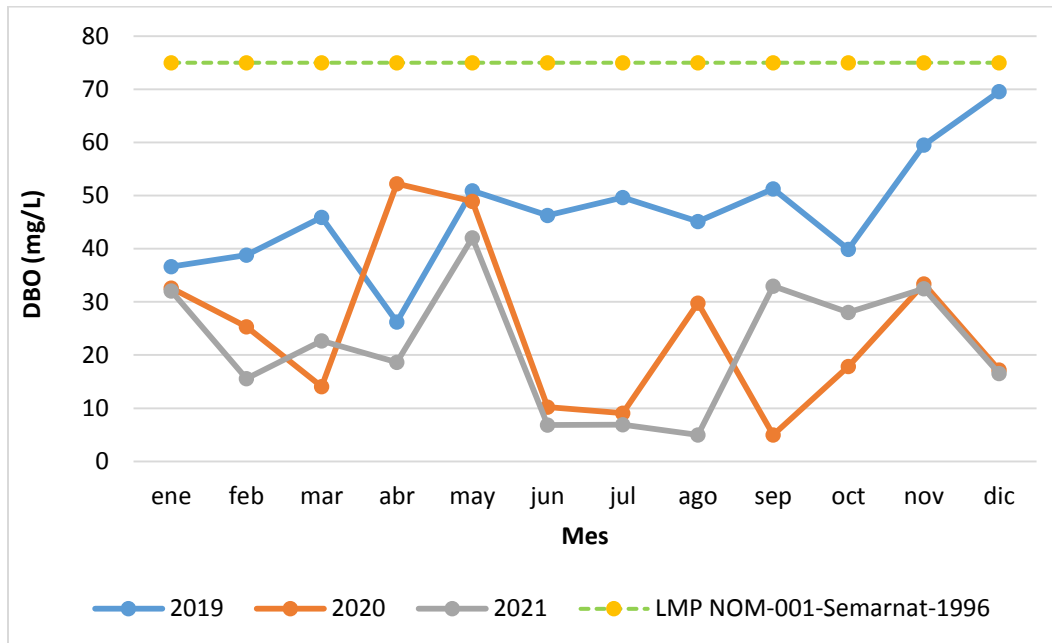


Figura 657. Datos históricos de DBO<sub>5</sub> en el efluente de la PTAR (2019-2021)

#### 2.4.10 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

A pesar de que la concentración de Demanda Química de Oxígeno no se considera en la normatividad oficial vigente, resulta importante analizar el parámetro, si se toma en cuenta que se considera en la MOM-001-Semarnat-2021 y que especifica los LMP para ríos, arroyos, canales y drenes. Para la DQO establece un promedio mensual (PM de 150 mg/L) y un promedio diario (PD de 180 mg/L). Este parámetro es muy importante para el control de la remoción de la materia orgánica ya que incluye la materia orgánica biodegradable y la mayor parte de la no biodegradable.

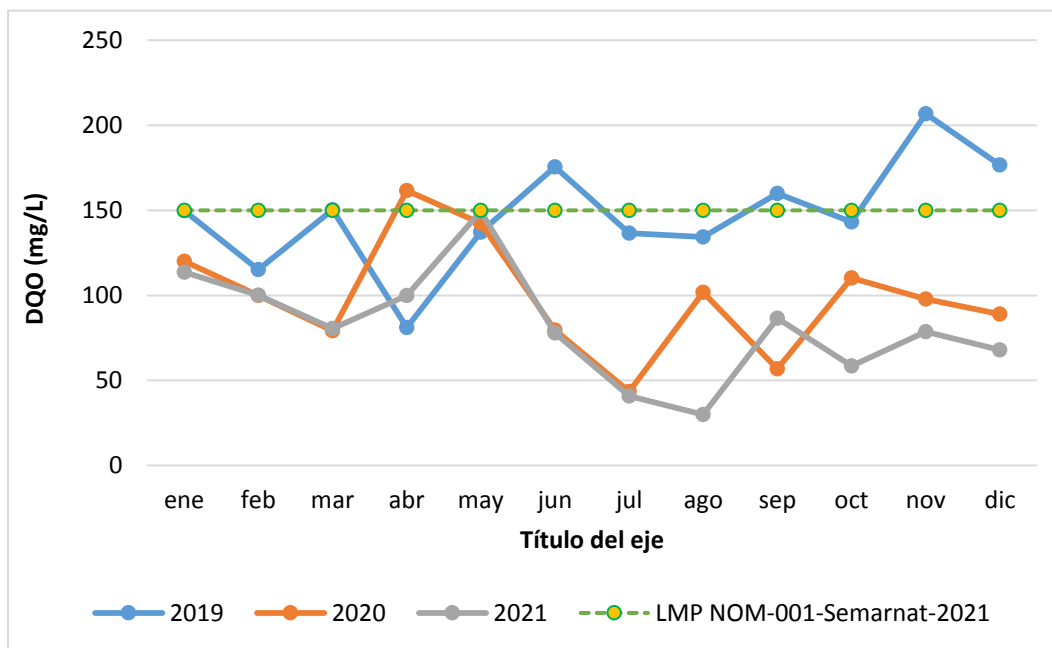
Con los datos obtenidos en el periodo comprendido entre 2019 y 2021, en la Figura 658 se observa el comportamiento de este parámetro con un promedio mensual de 109.2 mg/L con una desviación estándar de  $\pm 42.5$  mg/L y una variación del 39%. Presenta un valor máximo de 207 mg/L y un valor mínimo de 30 mg/L. Se observa que el 11% de las concentraciones (7 datos), tiene un valor mayor de 150 mg/L que corresponde al promedio mensual y estas concentraciones se presentaron principalmente durante el año 2019.

En la Figura 659 se hace una comparación entre los valores de la DBO y DQO para los años 2019-2021. Aparecen las concentraciones promedio de DBO y DQO de los diferentes años. Se observa que la DBO y DQO en el efluente han disminuido con los años de operación de la planta. En el 2019

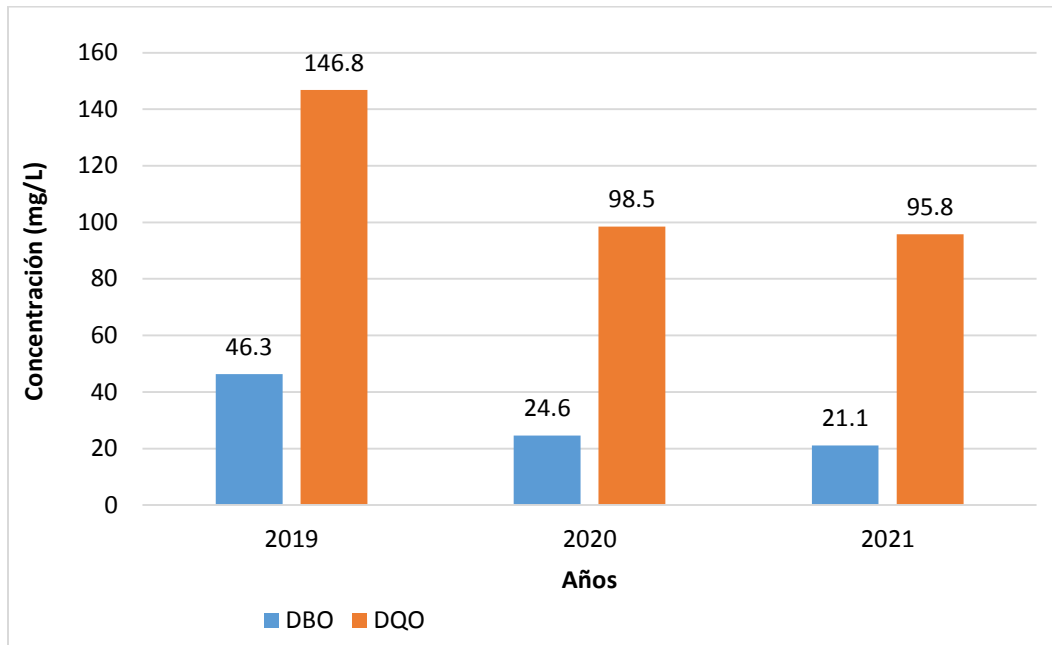
el valor promedio mensual de DBO fue de 46.3 mg/L y de 146.8 mg/L de DQO, mientras que en el 2021 el valor de DBO fue de 32.3 mg/L y la DQO de 116.6 mg/L. Con un solo valor de arriba del LMP propuesto por la norma. La relación DBO/DQO en el efluente de la planta también ha disminuido de 0.3 en el 2019 y 2020 a 0.2 en el 2021, lo cual indica que está entregando un efluente estable con buena remoción de estos parámetros.

La planta con una buena operación y control del proceso puede fácilmente cumplir con el LP de DQO requerido por la NOM-001-Semarnat-2021.

De acuerdo con el análisis realizado a los diferentes parámetros que se controlan en la planta, se puede concluir que el proceso de tratamiento es adecuado para cumplir con los LMP de descarga tratando un caudal promedio mensual de aproximadamente 4,500 L/s. Sería conveniente que se sigan conectando las descargas de aguas residuales a la planta, con el fin de aprovechar toda la infraestructura existente con capacidad para tratar 8,500 L/s.



**Figura 658. Datos históricos de DQO en el efluente de la PTAR (2018 - 2021)**

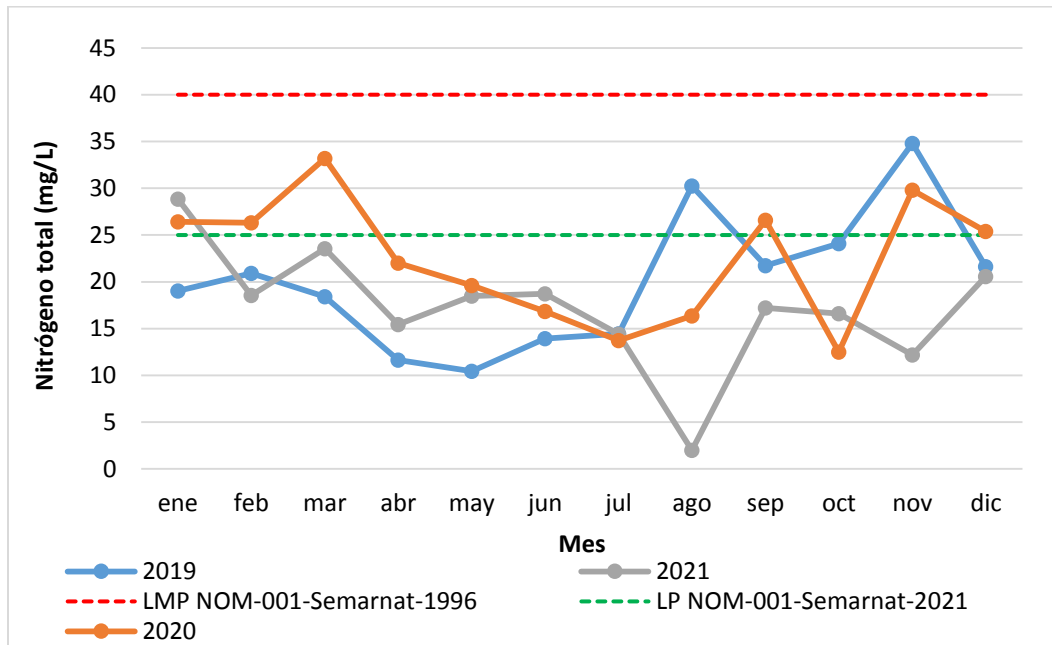


**Figura 659. Concentración promedio de DBO y DQO en el efluente de la PTAR (2019-2021)**

#### 2.4.11 Nitrógeno total (NT)

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales que involucran procesos biológicos del tipo de lodos activados permiten la remoción del nitrógeno bajo condiciones de diseño especial. El proceso de la planta de tratamiento es un sistema de lodos activados de tipo convencional sin tecnología especial para este fin. La remoción de nitrógeno que presenta esta planta se debe principalmente a la toma de nutrientes por los microorganismos para realizar sus procesos metabólicos, crecimiento y reproducción.

En la Figura 660, aparecen los valores de la concentración promedio mensual de nitrógeno total para los años 2019-2021. Estos valores presentan una concentración promedio mensual de nitrógeno total de 19.9 mg/L, con una desviación estándar de  $\pm 7.0$  mg/L y un coeficiente de variación de 35%. El nitrógeno total está formado principalmente por NTK, con promedio de 19.48 mg/L y representa el 98% del nitrógeno total. Esto significa que el nitrógeno total que sale con el agua residual tratada corresponde principalmente a nitrógeno orgánico y amoniacal que está disponible para su posterior degradación.



**Figura 660. Datos históricos de nitrógeno total en el efluente de la PTAR (2019 - 2021)**

Con respecto al cumplimiento de la normatividad, se observa que todos los datos son inferiores a 40 mg/L cumpliendo satisfactoriamente con LMP de la NOM-001-Semarnat-1996). Sin embargo, las concentraciones de nitrógeno en el efluente indican que el 30% de los datos se encuentra en el intervalo de 24 - 38 mg/L de NT, valores muy próximos o superiores a 25 mg/L que establece la NOM-001-Semarnat-2021 como promedio mensual. Por lo tanto, la planta deberá tomar medidas tecnológicas para poder cumplir con el nuevo LP.

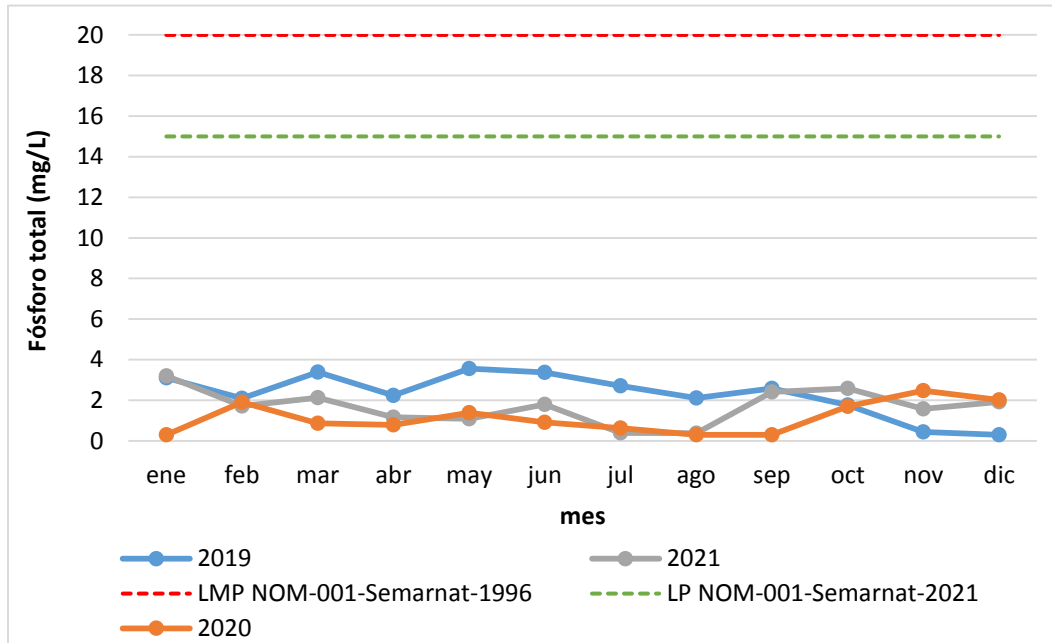
Como no existe la nitrificación durante el proceso de lodos activados las concentraciones de las formas oxidadas de nitritos y nitratos se reportan (98% de los datos) por debajo del límite de detección de la prueba que son: Nitritos <0.02 y Nitratos <0.1.

#### 2.4.12 Fósforo total (PT)

Otro nutriente importante para el crecimiento de los microorganismos es el fósforo. Este compuesto tampoco se remueve en el sistema de tratamiento y la reducción en su concentración obedece a que los organismos toman el fósforo necesario para sus funciones vitales.

En el influente las concentraciones de fósforo son menores de 9 mg/L y en el efluente durante los años de 2019-2021 tuvo un promedio mensual de 1.7

mg/L con una desviación estándar de  $\pm 1.0$  mg/L y una variación de 58%. La Figura 661, muestra la concentración de fósforo en el período y se observa que todas las concentraciones son menores a LMP por la Normatividad. (PM de 20 mg/L y 15 mg/L de acuerdo con la NOM-001-Semarnat 1996 y 2021 respectivamente). Por lo tanto, la planta actualmente puede cumplir con este parámetro.



**Figura 661. Datos históricos de fósforo total en el efluente de la PTAR (2019 - 2021)**

#### 2.4.13 Metales y cianuros

En la Tabla 225, se observan los valores promedio, mínimo y máximo de los metales y cianuros durante el período en estudio.

**Tabla 225. Comportamiento de los metales pesados durante 2019-2021**

| Parámetro (mg/L) | LMP NOM-001-SEMARNAT-1996 PM | LP NOM-001-SEMARNAT-2021 PM | Promedio | Mínimo | Máximo |
|------------------|------------------------------|-----------------------------|----------|--------|--------|
| Arsénico         | 0.1                          | 0.2                         | 0.003    | <0.001 | 0.012  |
| Cadmio           | 0.1                          | 0.2                         | 0.014    | <0.01  | 0.06   |
| Cianuro          | 1                            | 1                           | <0.02    | <0.02  | <0.02  |
| Cobre            | 4                            | 4                           | 0.057    | <0.05  | 0.1    |
| Cromo            | 0.5                          | 1                           | 0.06     | <0.01  | 0.18   |
| Mercurio         | 0.005                        | 0.01                        | 0.0013   | <0.001 | 0.003  |
| Níquel           | 2                            | 2                           | 0.062    | <0.05  | 0.163  |
| Plomo            | 0.2                          | 0.2                         | <0.01    | <0.01  | <0.01  |
| Zinc             | 10                           | 10                          | 0.1      | <0.05  | 0.51   |

Como se puede observar el efluente de la planta de tratamiento no contiene metales pesados en concentraciones mayores a los límites permisibles y por lo tanto cumple satisfactoriamente con la normatividad.

#### 2.4.14 Resumen de calidad del agua de la PTAR de Agua Prieta

La Tabla 226 presenta el resumen las características del efluente de la PTAR de Agua durante el período en estudio. En esta tabla se muestra los LMP que debe cumplir de acuerdo con la NOM-001-Semarnat- 1996 y 2021 y los promedios anuales, el máximo y el mínimo reportados durante los años 2019-2021

Los principales resultados describen a continuación:

La PTAR Agua Prieta de acuerdo con el título de concesión puede descargar hasta 734,400.00 m<sup>3</sup>/d (8,500 L/s).

**Caudal.** Durante los años analizados 2019-2021 la PTAR operó con un caudal promedio mensual 4,041 L/s y un caudal mínimo de 1,376 L/s y máximo de 5,634 L/s, que corresponde aproximadamente al 50% de la capacidad de la planta.

**Temperatura.** El promedio mensual es de 23.8 °C temperatura, adecuado para la operación del proceso y cumplir con la normatividad.

**Grasas y aceites.** Este parámetro presente en el efluente un promedio mensual 8.3 mg/L. El 89% de los datos se reporta con valores de <8 mg/L. Cumple satisfactoriamente los LMP de la normatividad.

**Materia flotante y sólidos sedimentables** cumplen satisfactoriamente con la NOM-001-Semarnat-1996. Estos parámetros no se consideran en la modificación de la norma.

**Sólidos suspendidos totales (SST).** Presentaron una concentración promedio mensual de 31 mg/L. Cumplen con los límites permisibles de la norma y su actualización.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).** Presenta un promedio de 33 mg/L y cumple satisfactoriamente con la NOM-001-Semarnat-1996. La actualización de la norma no considera este parámetro.

**Demanda química de oxígeno (DQO).** El promedio mensual para los tres años fue de 109 mg/L. Sin embargo, el promedio mensual para el año 2019 fue de 147.2 mg/L muy próximo al LP de 150 mg/L. En los años 2020 y 2021 el promedio mensual fue de 98.5 y 81.97 mg/L. Esto demuestra que con una buena operación y mantenimiento puede cumplir con el LP de la norma.

**Nitrógeno total (NT).** El promedio mensual de este parámetro fue de 20.11, 23.39 y 33.06 mg/L para los años 2019-2021 respectivamente. Estos valores son próximos o superiores al LP de la NOM-001-Semarnat-2021 de 25 mg/L como promedio mensual. Por lo tanto, la PTAR debe tomar medidas tecnológicas para cumplir satisfactoriamente con este parámetro.

**Nitrógeno total Kjeldahl (NTK).** El 98% del nitrógeno en la descarga corresponde NTK (nitrógeno orgánico y amoniacal) con promedio mensuales de 19.92, 22.39 y 33.06 para los años 2019-2021 respectivamente. Esto significa que la descarga ejerce una demanda de oxígeno en el cuerpo receptor para oxidar estos compuestos.

**Nitritos y nitratos (NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub>).** La concentración en el efluente de los compuestos oxidados del nitrógeno es en el 98% de los casos inferior al límite detección de la prueba. Nitritos de 0.02 y nitratos de 0.1. Esto significa que no se lleva a cabo la nitrificación en el proceso de lodos activados.

**Fósforo total (PT).** La concentración de fósforo en el efluente de la descarga es de 1.7 mg/L como promedio mensual y todas las concentraciones se reportaron inferiores a 9 mg/L. Con estas características el efluente cumple satisfactoriamente con la NOM.

**Coliformes fecales y huevos de helminto.** La planta de tratamiento no reporta estos análisis porque no se incluyen en su permiso de descarga actual.

**pH.** Este parámetro tiene un valor promedio mensual de 7.57 unidades. Valor adecuado para la operación del sistema de tratamiento biológico y cumplir satisfactoriamente con la normatividad.

**Metales pesados y cianuros.** El efluente de la planta no presenta concentraciones mayores a los límites permisibles que marca la NOM-001-Semarnat- 1996 y 2021. Generalmente las concentraciones son próximas o inferiores a los límites de detección de la prueba para estos parámetros.

De acuerdo con los resultados obtenidos al analizar los datos históricos del efluente de la PTAR de agua Prieta se concluye que la planta cumple con todos los LMP de la NOM-001-Semarnat-1996.

Respecto al cumplimiento de la NOM-001-Semarnat-2021 de los parámetros analizados en este trabajo se concluye que el efluente puede cumplir con todos los parámetros con excepción de la DQO y el nitrógeno amoniacal. Para el cumplimiento de estos parámetros la operación de la planta debe vigilarse continuamente ya que estos parámetros se encuentran en concentraciones muy próximas a los LP que marca la norma de 150 mg/L para la DQO y 25 mg/L de NT. Se debe analizar la eficiencia del proceso de tratamiento para determinar si es necesario realizar alguna modificación técnica con el fin de cumplir satisfactoriamente con el LP de nitrógeno total.

La planta debe incrementar el caudal de tratamiento de agua residual ya que cuenta con infraestructura para tratar un promedio de 8,500 L/s y solo actualmente recibe aproximadamente el 50% de este caudal. Esto conlleva un uso ineficiente y al deterioro de la infraestructura existente.



**Tabla 226. Resumen de la calidad del efluente de la PTAR de Agua Prieta**

| Parámetro                             | Unidades     | LMP NOM-001-SEMARNAT-1996 |         | 2019 PM |         |        | 2020 PM |        |        | 2021 PM |         |        |      |     |
|---------------------------------------|--------------|---------------------------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|------|-----|
|                                       |              | PM                        | PM      | Media   | Mín.    | Máx.   | Media   | Mín.   | Máx.   | Media   | Mín.    | Máx.   |      |     |
| Flujo (promedio)                      | L/s          | 8,500*                    |         | 3440.06 | 2829.95 | 4131.8 | 4362.79 | 3459.6 | 5634.1 | 4322.3  | 1376.65 | 5377.7 |      |     |
| Temperatura (promedio)                | °C           | 40                        | 35      | 23.6    | 22.95   | 25.76  | 23.66   | 22.52  | 26.94  | 24.2    | 23.3    | 25.64  |      |     |
| Grasas y aceites (promedio ponderado) | mg/L         | 15                        | 15      | 8.6     | <8.0    | 10.8   | 8.1     | <8.0   | 8.7    | <8.0    | <8.0    | <8.0   |      |     |
| Materia flotante                      |              | Ausente                   | Ausente |         |         |        |         |        |        |         |         |        |      |     |
| Sólidos sedimentables                 | ml/L         | 1                         | N.E.    | 0.1     | 0.1     | 0.1    | 0.1     | 0.1    | 0.53   | 0.3     | 0.1     | 2.3    |      |     |
| Sólidos suspendidos totales           | mg/L         | 75                        | 60      | 36.26   | 23.14   | 58.32  | 29.79   | 13.8   | 51.7   | 26.52   | 9.97    | 41.82  |      |     |
| Demanda bioquímica de oxígeno         | mg/L         | 75                        | N.E.    | 46.66   | 26.25   | 69.59  | 24.63   | 5.0    | 52.22  | 21.64   | 5.0     | 42.05  |      |     |
| Demanda química de oxígeno            | mg/L         | 75                        | 150     | 147.2   | 81.01   | 206.73 | 98.50   | 43.48  | 161.64 | 81.97   | 30.0    | 149.37 |      |     |
| Nitrógeno total                       | mg/L         | 40                        | 25      | 20.11   | 10.45   | 34.79  | 22.39   | 12.50  | 33.18  | 17.22   | 2.01    | 28.85  |      |     |
| Nitrógeno total Kjeldahl              | mg/L         | N.E.                      | N.E.    | 19.92   | 10.33   | 34.61  | 22.19   | 12.38  | 33.06  | 16.33   | 1.52    | 28.73  |      |     |
| Nitritos                              | mg/L         | N.E.                      | N.E.    | 0.04    | 0.02    | 0.1    | 0.04    | 0.02   | 0.13   | 0.23    | 0.02    | 1.2    |      |     |
| Nitratos                              | mg/L         | N.E.                      | N.E.    | 0.13    | 0.01    | 0.47   | 0.16    | 0.01   | 0.66   | 0.5     | 0.02    | 2.48   |      |     |
| Fósforo total                         | mg/L         | 20                        | 15      | 2.3     | 0.3     | 3.56   | 1.13    | 0.3    | 2.47   | 1.7     | 0.37    | 3.2    |      |     |
| Huevos de Helminthos                  | H/L          | N.E.                      | N.E.    | NA      | NA      | NA     | NA      | NA     | NA     | NA      | NA      | NA     |      |     |
| Coliformes fecales (media geométrica) | NMP / 100 ml | 1000                      | N.E.    | NA      | NA      | NA     | NA      | NA     | NA     | NA      | NA      | NA     |      |     |
| pH                                    |              | 5                         | 10      | 6       | 9       | 7.54   | 7.38    | 7.83   | 7.62   | 7.45    | 7.85    | 7.58   | 7.33 | 7.7 |
| Arsénico                              | mg/L         | 0.1                       | 0.2     | 0.002   | <0.001  | 0.004  | 0.003   | <0.001 | 0.012  | 0.003   | <0.001  | 0.012  |      |     |
| Cadmio                                | mg/L         | 0.1                       | 0.2     | 0.013   | <0.010  | 0.028  | 0.019   | <0.01  | 0.014  | 0.010   | <0.01   | 0.014  |      |     |
| Cianuros                              | mg/L         | 1                         | 1       | <0.02   | <0.02   | <0.02  | <0.02   | <0.02  | <0.02  | <0.02   | <0.02   | <0.02  |      |     |
| Cobre                                 | mg/L         | 4                         | 4       | <0.05   | <0.05   | <0.05  | <0.05   | <0.05  | <0.05  | 0.07    | <0.05   | 0.1    |      |     |

| Parámetro | Unidades | LMP<br>NOM-001-<br>SEMARNAT<br>-1996<br><br>PM | LP<br>NOM-001-<br>SEMARNA<br>T-2021<br><br>PM | 2019<br>PM |        |       | 2020<br>PM |        |        | 2021<br>PM |        |        |
|-----------|----------|--|---|------------|--------|-------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|
|           |          |  |   | Media      | Mín.   | Máx.  | Media      | Mín.   | Máx.   | Media      | Mín.   | Máx.   |
| Cromo     | mg/L     | 0.5  | 1   | <0.05      | <0.05  | <0.05 | <0.05      | <0.05  | <0.05  | 0.07       | <0.05  | 0.1    |
| Mercurio  | mg/L     | 0.005  | 0.01  | 0.0019     | <0.001 | 0.01  | 0.0011     | <0.001 | 0.002  | <0.001     | <0.001 | <0.001 |
| Níquel    | mg/L     | 2  | 2   | 0.0504     | <0.05  | 0.055 | 0.0558     | <0.05  | 0.1055 | 0.08       | <0.05  | 0.164  |
| Plomo     | mg/L     | 0.2  | 0.2   | <0.1       | <0.1   | <0.1  | <0.1       | <0.1   | <0.1   | <0.1       | <0.1   | <0.1   |
| Zinc      | mg/L     | 10   | 10  | 0.077      | 0.048  | 0.128 | 0.083      | <0.05  | 0.120  | 0.141      | <0.05  | 0.5133 |

N.E. No se especifica, NA. No se analiza. PM. Promedio mensual \* Permiso de descarga

## 2.5 Análisis de la información del Proceso

### 2.5.1 Análisis rutinarios

Dentro de las actividades que se realizan en la PTAR como parte de la operación se encuentran la toma de muestra en el influente y efluente de la planta, así como el análisis en el laboratorio.

Estos análisis se realizan diariamente, adicionales a los análisis mensuales realizados para comprobar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga establecidas por la Comisión Nacional del Agua en la concesión otorgada a SAPAL para la descarga de las aguas residuales tratadas.

Los análisis rutinarios incluyen la medición de temperatura y pH en el sitio, así como la obtención de muestras para el análisis de DBO<sub>5</sub>, SST, nitrógeno total, fósforo total, sólidos sedimentables, así como grasas y aceites. Cabe destacar que no se presentan datos de caudal.

Adicionalmente, se realizan pruebas de sedimentabilidad e IVL en el licor mezclado, medición de pH y oxígeno disuelto en los reactores biológicos, así como el registro del manto de lodos en los sedimentadores.

El personal de la PTAR compartió los resultados de los análisis de laboratorio que se realizan diariamente en el influente y efluente de la PTAR desde mayo de 2020 a junio de 2021 para el influente y, de junio de 2020 a julio de 2021 para el efluente. En la Tabla 227 se presentan los promedios mensuales obtenidos en los análisis de laboratorio realizados el influente y en la Tabla 228 los correspondientes al efluente. Estos datos fueron determinados mediante el análisis de los resultados diarios para cada uno de los meses que se presentan.

**Tabla 227. Promedios mensuales de parámetros de calidad del agua obtenidos en los análisis rutinarios del influente de la PTAR**

| Fecha                   | Temperatura | pH   | DBO <sub>5</sub> | SST    | NT    | PT    | SS    | CyA    |
|-------------------------|-------------|------|------------------|--------|-------|-------|-------|--------|
|                         | °C          | UpH  | mg/L             | mg/L   | mg/L  | mg/L  | ml/L  | mg/L   |
| <b>Promedio Mensual</b> | 24.10       | 7.32 | 457.00           | 457.00 | 60.90 | 16.70 | 15.30 | 299.00 |
| <b>Promedio Diario</b>  | -           | 7.20 | 399.00           | 391.00 | 55.00 | 15.40 | 11.40 | 272.00 |
| Mayo 2020               | 24.12       | 8.06 | 311.40           | 381.89 | 44.25 | 7.56  | 7.14  | 29.50  |
| Junio 2020              | 24.78       | 8.26 | 255.98           | 334.32 | 30.73 | 5.28  | 7.29  | 17.29  |
| Julio 2020              | 23.83       | 7.94 | 297.85           | 365.71 | 36.01 | 5.55  | 6.98  | 19.03  |
| Agosto 2020             | 23.84       | 7.83 | 284.47           | 382.33 | 37.31 | 5.03  | 7.78  | 18.10  |
| Septiembre 2020         | 23.98       | 7.93 | 360.38           | 405.16 | 46.11 | 6.11  | 8.29  | 42.84  |

| Fecha          | Temperatura | pH   | DBO <sub>5</sub> | SST    | NT    | PT   | SS    | CyA   |
|----------------|-------------|------|------------------|--------|-------|------|-------|-------|
|                | °C          | UpH  | mg/L             | mg/L   | mg/L  | mg/L | ml/L  | mg/L  |
| Octubre 2020   | 23.93       | 8.07 | 331.49           | 353.63 | 47.99 | 5.81 | 9.52  | 27.48 |
| Noviembre 2020 | 23.91       | 7.97 | 360.06           | 366.52 | 48.97 | 6.52 | 7.64  | 36.06 |
| Diciembre 2020 | 23.86       | 7.66 | 334.90           | 378.19 | 47.69 | 7.45 | 11.94 | 37.77 |
| Enero 2021     | 24.03       | 7.92 | 348.56           | 354.93 | 51.31 | 7.61 | 8.93  | 32.57 |
| Febrero 2021   | 23.94       | 7.78 | 393.74           | 486.55 | 59.53 | 8.54 | 14.32 | 46.03 |
| Marzo 2021     | 24.88       | 7.51 | 403.61           | 526.83 | 55.52 | 8.17 | 16.93 | 51.14 |
| Abril 2021     | 24.28       | 7.58 | 431.59           | 540.06 | 60.05 | 8.61 | 12.82 | 48.87 |
| Mayo 2021      | 24.50       | 7.75 | 316.60           | 464.23 | 45.95 | 5.92 | 10.30 | 39.90 |
| Junio 2021     | 24.14       | 8.14 | 215.59           | 415.48 | 31.38 | 3.69 | 5.89  | 22.97 |

**Tabla 228. Promedios mensuales de parámetros de calidad del agua obtenidos en los análisis rutinarios del efluente de la PTAR**

| Fecha                   | Temperatura | pH  | DBO <sub>5</sub> | SST   | NT   | PT   | SS   | CyA  |
|-------------------------|-------------|-----|------------------|-------|------|------|------|------|
|                         | °C          | UpH | mg/L             | mg/L  | mg/L | mg/L | ml/L | mg/L |
| <b>Promedio Mensual</b> | <40         | -   | 75.0             | 75.0  | 40.0 | 20.0 | 1.0  | <15  |
| <b>Promedio Diario</b>  | <40         | -   | 150.0            | 125.0 | 60.0 | 30.0 | 2.0  | <25  |
| Junio 2020              | 24.9        | 7.9 | 47.2             | 36.1  | 29.9 | 3.1  | 0.2  | 5.9  |
| Julio 2020              | 25.4        | 8.1 | 50.0             | 44.4  | 19.8 | 2.0  | 0.3  | 4.1  |
| Agosto 2020             | 24.8        | 7.8 | 70.0             | 51.9  | 23.7 | 2.3  | 0.2  | 5.1  |
| Septiembre 2020         | 24.9        | 7.7 | 61.2             | 49.7  | 22.7 | 2.2  | 0.1  | 4.9  |
| Octubre 2020            | 25.0        | 7.8 | 70.2             | 55.7  | 29.7 | 2.8  | 0.1  | 5.9  |
| Noviembre 2020          | 25.0        | 8.0 | 70.7             | 42.4  | 35.0 | 3.2  | 0.0  | 5.3  |
| Diciembre 2020          | 24.8        | 8.0 | 62.4             | 41.4  | 31.9 | 2.9  | 0.0  | 5.9  |
| Enero 2021              | 24.8        | 7.6 | 69.5             | 50.2  | 31.9 | 3.8  | 0.0  | 5.1  |
| Febrero 2021            | 24.9        | 7.9 | 50.0             | 31.5  | 33.1 | 2.2  | 0.0  | 6.9  |
| Marzo 2021              | 24.9        | 7.7 | 66.9             | 42.1  | 37.1 | 4.0  | 0.0  | 6.3  |
| Abril 2021              | 25.8        | 7.5 | 66.9             | 40.6  | 38.9 | 3.6  | 0.0  | 5.3  |
| Mayo 2021               | 25.2        | 7.6 | 68.2             | 45.6  | 37.4 | 3.3  | 0.1  | 5.1  |
| Junio 2021              | 25.7        | 7.7 | 54.7             | 36.1  | 30.4 | 1.9  | 0.0  | 5.5  |
| Julio 2021              | 24.9        | 8.0 | 31.4             | 25.3  | 18.8 | 0.5  | 0.0  | 6.2  |

En los resultados de los análisis rutinarios de laboratorio muestran que el efluente cumple, durante el periodo que se presentaron resultados, con la calidad establecida en las condiciones particulares de descarga. En lo que respecta al influente, se observa que entre febrero y mayo de 2021 se recibieron cargas altas de SST, que se encuentran por encima del promedio

mensual que estableció como límite la PTAR. A pesar de lo anterior, el efluente cumple con lo establecido en la normatividad oficial vigente.

A continuación, se presentan las tenencias de los parámetros que se analizan diariamente (Figura 662 a la Figura 669).

### a) Temperatura

La temperatura del efluente en el periodo reportado (junio 2020 – julio 2021) no sobrepasa 26 °C, presentando temperaturas máximas de 25.8 °C y mínimas de 24. °C (Figura 13).

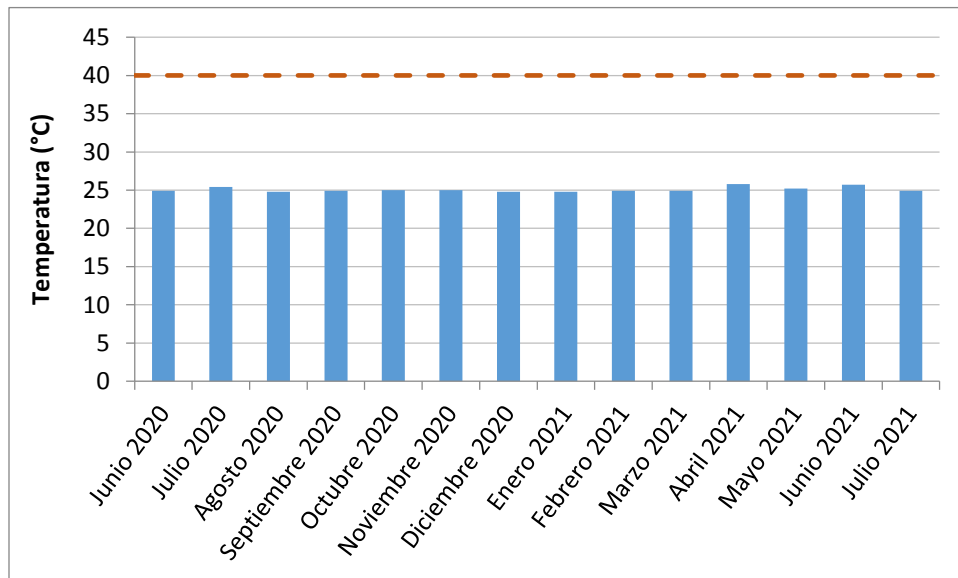


Figura 662. Temperatura en el efluente (análisis rutinarios)

### b) pH

El pH en el efluente osciló entre 7.5 y 8.1 unidades, presentando valores constantes con variaciones menores a una unidad (Figura 663). Los valores presentados se encuentran dentro del rango de pH que se recomienda para un proceso de lodos activados (6 – 8.5) y por dentro de lo establecido como límites permisibles en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021.

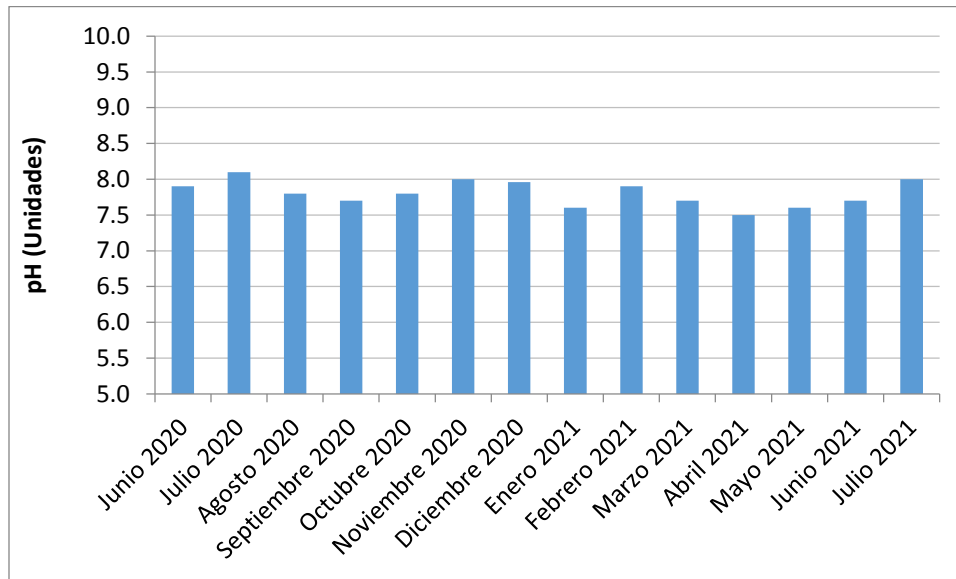


Figura 663. pH en el efluente (análisis rutinarios)

**c) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La DBO<sub>5</sub> osciló en un rango entre 31.4 y 70.7 mg/L (Figura 664), cumpliendo con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996. Sin embargo, se presentaron valores promedio por encima de 65 mg/L, que son cercanos al límite establecido. Adicionalmente, se debe incluir en los análisis rutinarios de laboratorio la DQO, para cumplir con la actualización de la norma

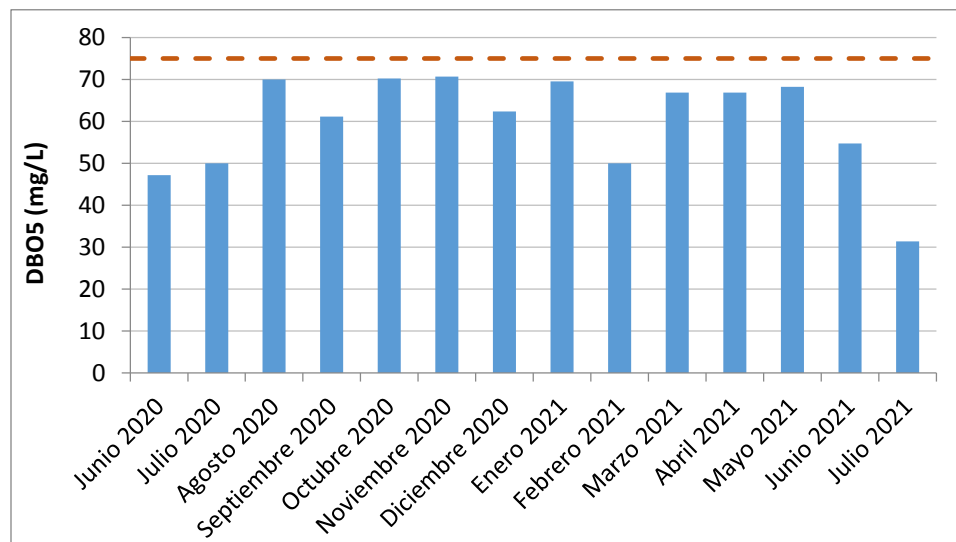
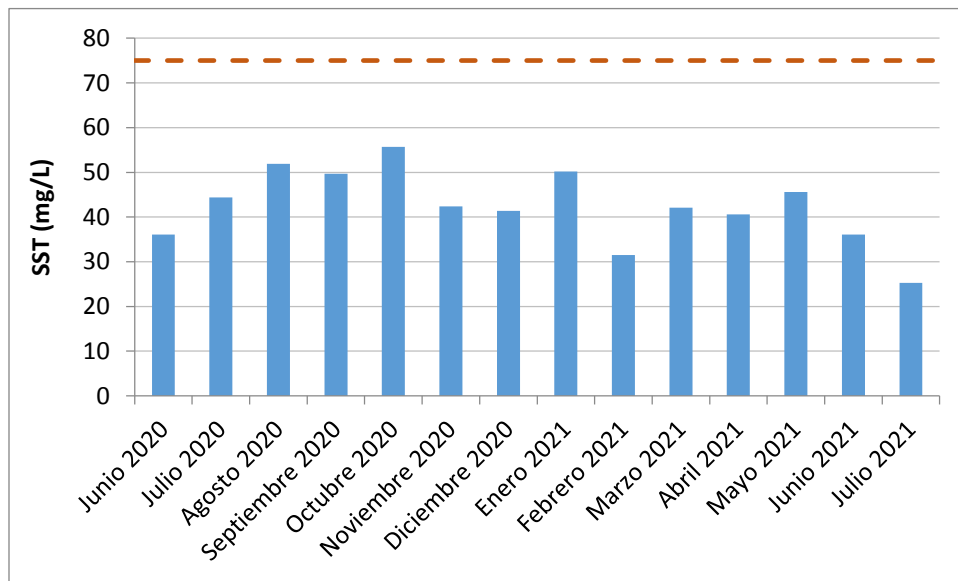


Figura 664. DBO<sub>5</sub> en el efluente (análisis rutinarios)

**d) Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

Los promedios mensuales de los SST en el efluente de la PTAR se presentan en la Figura 665. Se observa que los valores están dentro del rango entre 25.3 a 55.7 mg/L, que está por debajo del límite establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y 2021.



**Figura 665. SST en el efluente (análisis rutinarios)**

### e) Nitrógeno Total (N<sub>T</sub>)

Los promedios mensuales de nitrógeno total en el efluente oscilan entre 18.8 y 38.9 mg/L (Figura 666), que se encuentran por debajo del límite establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996. Sin embargo, en la actualización de la norma (NOM-001-SEMARNAT-2021), el límite permisible para descarga a ríos (en este caso río Santiago), promedio mensual de NT, es de 25 mg/L, por lo que el efluente de la PTAR sólo cumpliría en 4 de los 14 meses en los que se presentaron resultados. Esto puede deberse a que el proceso se diseñó para la eliminación de materia carbonácea y buscando evitar la nitrificación en el sistema. Por lo anterior, se recomienda realizar adecuaciones en el proceso para cumplir con los límites establecidos en la normatividad, respecto a la concentración de nitrógeno total en el efluente de la PTAR.

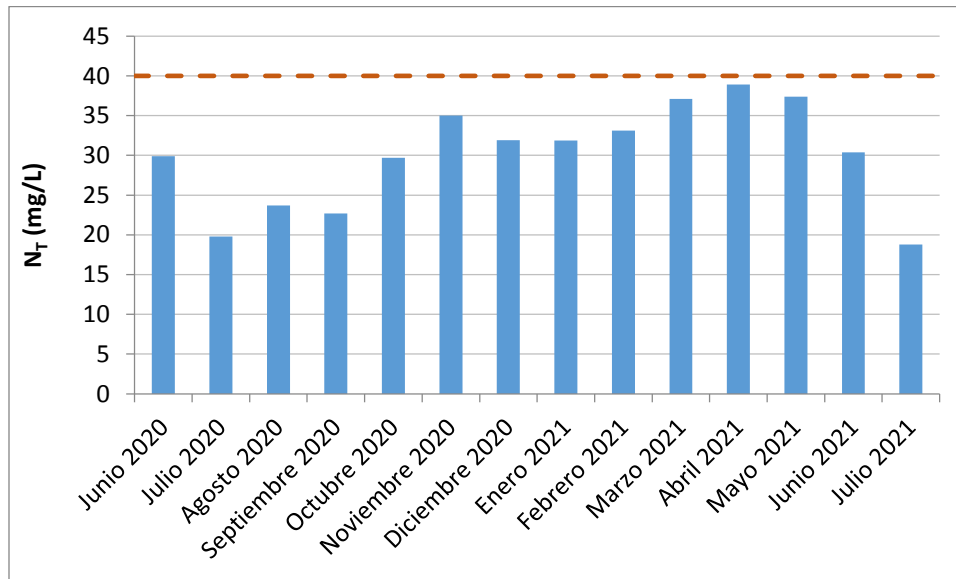


Figura 666. N<sub>T</sub> en el efluente (análisis rutinarios)

**f) Fósforo Total (P<sub>T</sub>)**

El fósforo total en el efluente de la PTAR se encontró por debajo de 5 mg/L, de acuerdo a las concentraciones promedio mensual presentadas por la PTAR, como resultado de los análisis de rutina (Figura 667). El efluente de la PTAR cumple con el límite permisible en la NOM-001-SEMARNAT-1996 (20 mg/L) y 2021 (15 mg/L), respecto a la concentración de fósforo total.

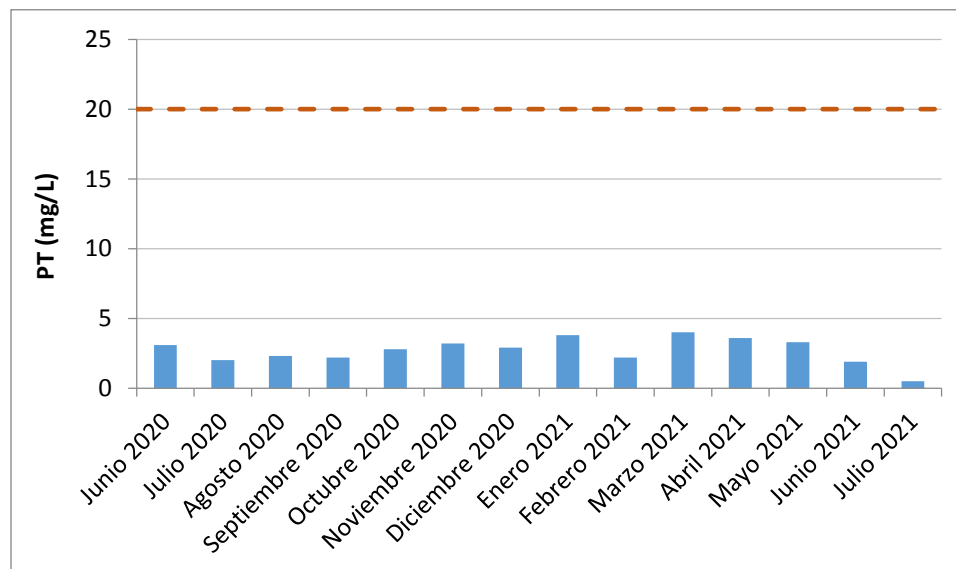
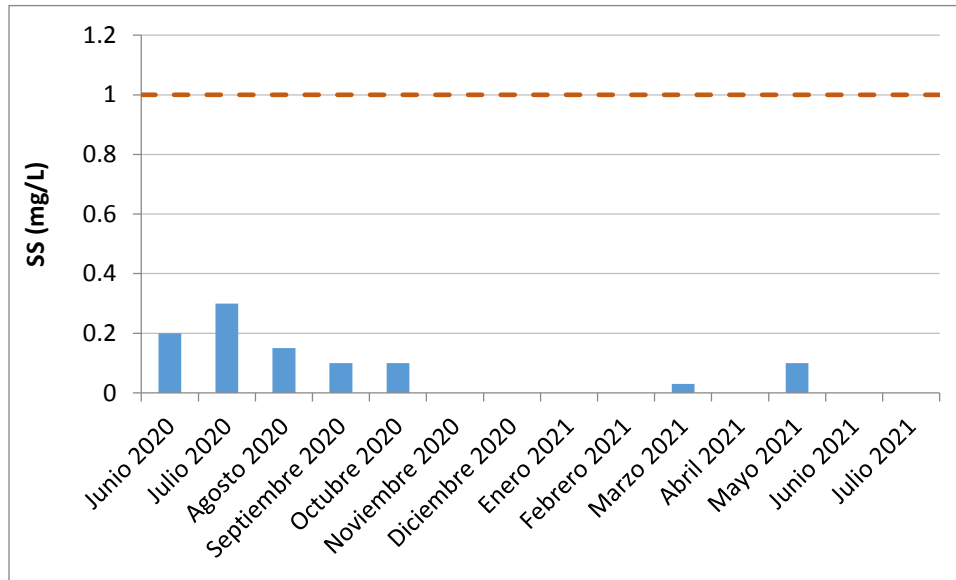


Figura 667. P<sub>T</sub> en el efluente (análisis rutinarios)

**g) Sólidos Sedimentables (SS)**



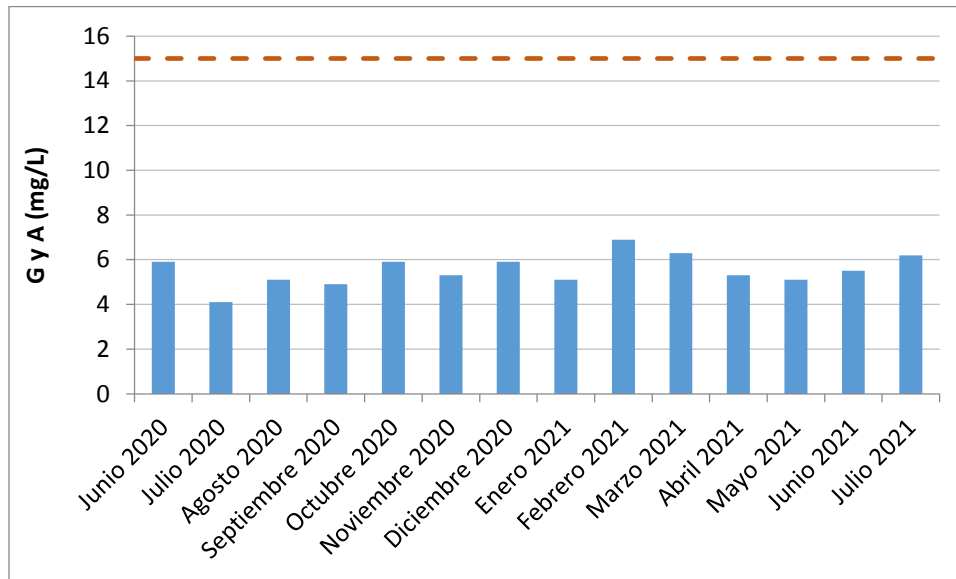
Los promedios mensuales de las concentraciones de sólidos sedimentables se presentan en la Figura 668. En las condiciones particulares de descarga se establece una concentración máxima (promedio mensual) de 1 mg/L. Sin embargo, las concentraciones determinadas durante los análisis rutinarios se encuentran por debajo de 0.3 mg/L, por lo que se cumple con lo establecido.



**Figura 668. SS en el efluente (análisis rutinarios)**

#### **h) Grasas y Aceites (GyA)**

En las condiciones particulares de descarga, así como en la NOM-001-SEMARNAT-2021 se establece concentración promedio (mensual) máxima de grasas y aceites en el efluente de la PTAR de 15 mg/L. En los análisis rutinarios se presentan concentraciones (promedio mensual) que oscilan entre 4.1 y 6.9 mg/L (Figura 669). Por lo que el efluente de la PTAR, cumplió durante el periodo reportado, en lo que respecta a la concentración de GyA.



**Figura 669. GyA en el efluente (análisis rutinarios)**

## 2.5.2 Manual de operación

La PTAR cuenta con un manual de operación, elaborado en el año 2012. Dicho manual consta de 44 páginas en las que se realiza la descripción del proceso dividido en: Tren de agua y Tren de lodos.

Se incluye información sobre las condiciones de operación continua de la Planta, es decir, los caudales que maneja y la derivación con la que cuenta.

Este documento no cuenta con la descripción de las actividades que se deben realizar, las recomendaciones de seguridad e higiene que se deben seguir, las instrucciones para actuar en caso de emergencias ni los aspectos relacionados a la operación rutinaria de la PTAR. Sin embargo, adicionalmente cuentan con un documento titulado "Filosofía de control", elaborado en el año 2011 y que consta de 8 capítulos.

Cada capítulo corresponde a un área de la planta:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Servicios y reactivos
- Espesamiento de lodos
- Digestión de lodos
- Deshidratación

- Monorrelleno

En dichos capítulos se describe las unidades y equipos con las que contará la PTAR, ya que son documentos elaborados para el proceso constructivo. También, se describen las características de los procesos y de las unidades.

Debido a lo anterior, se recomienda elaborar un Manual de operación que contenga, no solo la descripción de las unidades, sino una descripción detallada de las actividades que se deben realizar para realizar una operación correcta de la planta. Asimismo, debe contener identificación de las áreas de riesgo, las medidas y equipos de seguridad que se deben utilizar, los análisis rutinarios que se realizarán, así como la frecuencia de los mismos.

Además, debe contener una guía de los problemas más recurrentes que pueden suceder y las posibles soluciones.

### **2.5.3 Reportes de operación (bitácoras)**

La PTAR presentó su reporte diario de operación de julio a diciembre de 2020 y de enero a julio de 2021, que contiene:

- Fecha
- Volúmenes tratados del influente y del efluente, al inicio y fin del día de operación
- Horas de operación
- Flujo promedio.
- Parámetros del influente y efluente: DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y NT.
- Flujo de biogás al generador, especificando los MW generados y los Mw entregados por la Comisión General de Electricidad (CFE)
- -Góndolas a mono relleno
- Toneladas de lodo deshidratado.

En los reportes de operación no se registran las actividades realizadas en cada turno, el tiempo de purga, las cantidades de residuos que se producen, las fallas identificadas en el turno, así como las actividades pendientes por realizar al finalizar cada turno. Por lo que se recomienda que se modifique el reporte de operación, de manera que se puede realizar un mejor seguimiento a las actividades realizadas y a la operación de la PTAR.

## **2.5.4 Mantenimiento**

### **2.5.4.1 Programa**

La tratadora de aguas de Zapopan SA de CV proporcionó el calendario de mantenimiento preventivo programado contra real. En esta hoja se detalla el equipo y su identificación, la frecuencia, los días programados y los días en los que se efectuó el mantenimiento cada mes. Es decir, el mantenimiento se programa mensualmente. Se puede observar que están incluidos todos los equipos de la planta.

### **2.5.4.2 Reportes**

En la información proporcionada se presentó el historial de mantenimientos preventivos y correctivos realizados durante el año 2021.

El reporte histórico presentado del mantenimiento preventivo es una bitácora de 864 hojas, que presenta: Fecha, Nombre e Identificación del equipo, número de la orden de trabajo, descripción del mantenimiento preventivo, fecha de realización y tiempo real.

El reporte histórico del mantenimiento correctivo es una bitácora que presenta: Fecha, Nombre del equipo e identificación, el síntoma/revisión, fecha de realización y tiempo real.

### 3 ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

#### 3.1 Descripción del proceso

##### PRETRATAMIENTO

##### Desbaste grueso

El agua residual proveniente del Canal de la CFE se recibe en el canal de distribución a rejillas gruesas (CA-101), el cual alimenta al sistema de cribado grueso automático.



**Figura 670. Canal de la CFE y caja de distribución hacia el sistema de pretratamiento**

El sistema de cribado grueso está conformado por seis (6) rejillas gruesas automáticas (RA-103 A hasta F) de tipo vertical (inclinado) de barras paralelas con una separación entre barras de 38 mm y fabricadas en acero inoxidable 304L (Figura 671). El sistema de cribado grueso cuenta con la flexibilidad necesaria para manejar el caudal nominal máximo (15,300 L/s) con una unidad de cribado fuera de servicio o en reserva.

Los sólidos producto del cribado se descargan en la banda transportadora (BT-104) para ser conducidos hacia el compactador (CB-105) tipo tornillo y

posteriormente a la banda transportadora a contenedores (BT-106), para ser finalmente enviados a los contenedores (TQ-111 A-B). El contenido mínimo de sequedad en los sólidos compactados producto del cribado es del 55%. El camión para sólidos y arenas (CM-122) es el encargado de disponer los residuos fuera de la planta. A caudal promedio, la generación de sólidos del cribado grueso es de aproximadamente 4,436 litros por día (equivalente 10.125 litros/ 1,000 m<sup>3</sup> de agua residual). Se cuenta con una tubería para inyectar aire y quitar las arenas acumuladas entre las rejillas gruesas y finas.



**Figura 671. Cribado grueso**

### **Cribado fino**

El agua proveniente del desbaste grueso fluye por gravedad hacia la etapa de desbaste fino (Figura 672).

El sistema de cribado fino consta de ocho (8) rejillas automáticas (RA-108 A hasta H) con una separación entre elementos de 3 mm y fabricadas en acero inoxidable 304L. El sistema de cribado fino cuenta con la flexibilidad necesaria para manejar el caudal máximo (15,300 L/s) con una unidad de cribado fuera de servicio o en reserva.

Los sólidos colectados se descargan en la banda transportadora (BT-109) para ser conducidos hacia el compactador (CB-110) tipo tornillo y posteriormente a la banda transportadora a contenedores (BT-106) para ser finalmente enviadas al contenedor (TQ-111 A-B). El contenido mínimo de sequedad en los sólidos compactados producto del cribado es del 55%. De la misma manera que el cribado grueso, el camión para sólidos y arenas (CM-122) es el encargado de transportar los contenedores hacia el sitio de disposición fuera de la planta. La captación estimada de sólidos provenientes de los equipos de cribado fino a caudal nominal promedio, antes de compactar, es de aproximadamente 66,922 litros por día, lo que equivale a un factor de (91.125 litros de sólidos/ 1,000 m<sup>3</sup>) de agua recibida en la PTAR.



**Figura 672. Cribas finas**

### **Desarenado y desengrasado.**

El objetivo principal de esta etapa de tratamiento consiste en lograr la remoción de arena, grasas y aceites contenidos en la corriente de agua residual alimentada a la PTAR.

El agua residual proveniente de la etapa de desbaste fino se conduce mediante canal a gravedad hacia el medidor de flujo ultrasónico (MF-112), donde se mide el caudal. En este punto también se encuentran instalados los medidores en línea para monitoreo de pH, temperatura, conductividad, SST, DQO y un medidor de toxicidad para detectar en tiempo real cualquier sustancia que pueda afectar la biomasa de los reactores aerobios.

Después de su paso a través del medidor de flujo, el agua residual se mezcla con el agua recuperada proveniente de los espesadores y filtros prensa, así como de la corriente de lixiviados del monorrelleno. Otras contribuciones menores de corrientes de retorno que son adicionadas en este punto son los efluentes recuperados de los equipos de pretratamiento como compactadores de sólidos y clasificadores de arenas, así como el agua de retrolavado de los filtros multimedia de servicios y agua recuperada de los intercambiadores de calor, siendo estas últimas contribuciones esporádicas.

La mezcla de agua se distribuye hacia seis equipos de desarenado-desengrasado (DA-113 A hasta F) de tipo cámara aireada. Las seis unidades pueden manejar el caudal nominal máximo de la planta (15,300 L/s) y cuatro unidades el caudal nominal promedio (8,500 L/s). El aire para estos equipos lo suministran sopladores de desplazamiento positivo (SO-114 A-B-C).

La arena acumulada en el fondo de las cámaras es extraída por medio del mecanismo de “*Air-lift*” con que cuenta este sistema, el cual se encuentra sujeto al puente viajero instalado en cada par de desarenadores, facilitando así la extracción de las arenas a todo lo largo del tanque y enviándolas al clasificador de arenas (CL-117 A-B-C). El aire para este equipo lo suministran los sopladores tipo centrífugo (SO-115 A hasta F/G). Las arenas se descargan en una canaleta principal y se conduce a los clasificadores de arenas (CL-117 A-B-C) donde se lavan con agua filtrada y desinfectada para decir su contenido de orgánicos. La generación de arenas tiene un factor de (35 litros / 1,000 m<sup>3</sup> de agua residual). Posteriormente las arenas pasan a los contenedores de arena (TQ-118 A hasta D) y posteriormente se llevan al sitio de disposición.

Las grasas, aceites y material flotante separado de los equipos de desarenado-desengrasado se descargan al concentrador de grasas y aceites (CG-121), donde por separación de fases se recupera grasas y aceites al 50% de concentración. Las natas y flotantes se descargan al contenedor (TQ-123) y posteriormente al sitio de disposición.

La grasas y aceites recuperados se descargan al tanque (TQ-119) y posteriormente por medio de bombas de cavidad progresiva (BP-120 A/B) se descargan al tanque de digestión de lodos (TQ-601).

El agua recuperada de los clasificadores de arena, del concentrador de grasas y aceites, y del tanque de grasas y aceites se envía por gravedad hacia el cárcamo de agua recuperada (TQ-506) para su reintegración al proceso. El efluente desarenado y desengrasado se descarga por gravedad a la caja de distribución (CD-116) para posteriormente dirigirse al tratamiento primario.





**Figura 673. Sistema de desarenado-desengrasado**

## TRATAMIENTO PRIMARIO

El efluente desarenado y desengrasado proveniente de la caja de distribución (CD-116) se conduce mediante un canal central a los diferentes módulos de tratamiento primario.

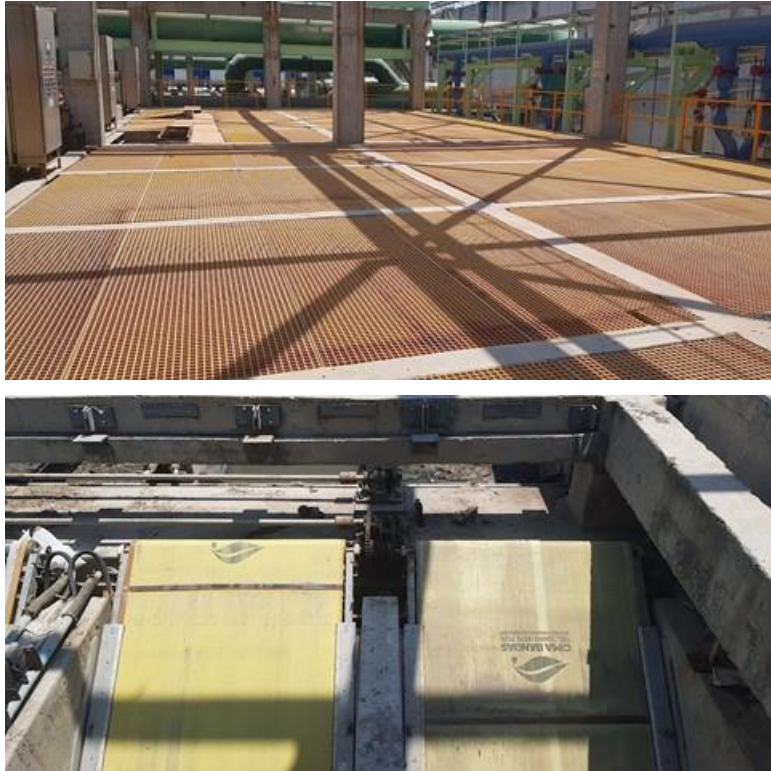
El sistema de tratamiento primario está conformado por ocho módulos de tratamiento (ETP-201 A...H), cada uno de ellos conformado por dos unidades lógicas de filtración (ULF). A su vez, cada unidad lógica de filtración (ULF) consta de seis unidades individuales de filtración (UIF) del tipo banda filtrante sin fin a gravedad. Este sistema posee la capacidad hidráulica de manejar el flujo máximo de 15,300 L/s, con una unidad lógica de filtración (ULF) fuera de servicio o en reserva. El agua desarenada y filtrada, se transporta por medio de canales hacia el cárcamo de bombeo de efluente primario (TQ-205).

Los lodos primarios separados por las unidades de filtración se transportan hacia un sistema de limpieza neumático para su limpieza. Se utilizan sopladores centrífugos (SO-303 A hasta D/E). Posteriormente, son desplazados por una serie de transportadores de tornillo (TT-211 A. D; TT-212 A. D y TT-213 A. D) hacia los tanques de lodo primario (TQ-202 A-B).

El lodo colectado en cada tanque de lodo primario se envía mediante bombas centrífugas tipo maceradoras (BC-204 A/B, C/D), hacia los equipos de tamizados de lodo primario (TM-207 A/B) para separar y retirar los sólidos mayores a 2.5 mm antes de enviarlos a espesamiento.

Dentro de cada tanque de lodo primario se tiene instalado un agitador sumergible (AS-203 A-B/C), para mantener los sólidos en suspensión. Los tanques de lodo primario reciben contribución de alguna de las ULF en forma continua. La concentración de SST esperada en el lodo primario es de 6%. El efluente proveniente de los equipos de tratamiento primario (ETP-

201 A hasta H) pasa a través de ventanas en el muro divisorio hacia el cárcamo de bombeo de efluente primario (TQ-205)



**Figura 674. Sistema de tratamiento primario**

### **BOMBEO DEL EFLUENTE DE LOS SEDIMENTADORES PRIMARIOS**

El efluente proveniente de los equipos de tratamiento primario (ETP-201 A hasta H) se alimenta por gravedad al cárcamo de bombeo de efluente primario (TQ-205).

El sistema de bombeo de efluente primario está conformado por 23 bombas sumergibles las cuales están divididas en siete grupos (BS-206 A-B/C, BS-206 D-E, BS-206 F...I, BS-206 J-K/L, BS-206 M...P/Q, BS-206 R-S/T, BS-206 U-V/W). Bajo condiciones de caudal máximo, 18 bombas pueden manejar el flujo de 15,300 L/s, quedando cinco en reserva.



**Figura 675. Sistema de bombeo de sedimentadores primarios**

## REACTORES AEROBIOS

El sistema de tratamiento secundario está conformado por nueve módulos, compuestos cada uno de ellos por un reactor aerobio (RB-301 A hasta I), una cámara de desgasificación (TD-305 A hasta I) y un sedimentador secundario (CS-304 A hasta I), así como por los equipos auxiliares de bombeo y aireación. El efluente primario es alimentado a cada reactor aerobio mediante dos bombas bajo condiciones de caudal máximo o por una bomba bajo condiciones de caudal promedio.

El sistema de tratamiento biológico corresponde al tipo de lodos activados, bajo la modalidad de mezcla completa y tiene flexibilidad para manejar hidráulicamente el flujo máximo de 15,300 L/s. EL caudal de diseño es de 0.94 m<sup>3</sup>/s para cada módulo. Cada módulo tiene un largo de 55.1 m con un ancho de 47.2 m y una profundidad del agua de 8.5 m dando un TRH de diseño de 6.53 h.

El suministro de aire para los reactores aerobios está conformado por el sistema de difusores de burbuja fina (SD-302 A hasta I) y por los sopladores tipo centrífugos de una etapa (SO-303 A hasta D/E), los cuales adicionalmente proporcionan el aire requerido para el sistema de limpieza de bandas de los equipos de tratamiento primario

Después de su paso por los reactores aerobios, la mezcla de agua residual con licor mezclado pasa a la cámara de desgasificación (TD-305 A hasta I) a través de la apertura ubicada en la parte del fondo del baffle (BF-308 A hasta F) instalado entre el reactor aerobio y la cámara de desgasificación para posteriormente ser alimentada a través de ventanas hacia los clarificadores secundarios correspondientes. La cámara de desgasificación tiene la función de eliminar las burbujas de gases para evitar la flotación del

lodo en los clarificadores secundarios debido a la presencia de dichos gases en el licor mezclado.



**Figura 676. Sistema de tratamiento secundario**

### **SEDIMENTADORES SECUNDARIOS**

El licor mezclado proveniente de la cámara de desgasificación llega a los sedimentadores secundarios correspondiente mediante ventanas ubicadas en la pared compartida entre ambas estructuras. La planta cuenta con nueve sedimentadores secundarios (CS-304 A hasta I) tipo rectangular a gravedad con puente viajero de succión y mecanismos de desnatado. Se diseñaron para manejar en conjunto el caudal nominal promedio de 8,500 L/s. El agua clarificada es colectada mediante tuberías perforadas instaladas al final del tanque sedimentador. Los sedimentadores secundarios tienen un largo de 47.5 m y ancho de 56.25 m con una profundidad del agua de 4.0 m.



**Figura 677. Sedimentadores secundarios**

Los lodos que sedimentan en el sedimentador se succionan mediante un efecto sifón y se descargan en canaletas que se encuentran ubicadas en la parte central, en orientación longitudinal a cada clarificador y posteriormente se llevan a los cárcamos de lodo secundario (TQ-306 A. hasta I). Dentro de estos cárcamos de lodo secundario se encuentran instaladas las bombas de recirculación de lodos (BS-307 A-B/C, DE/F, G-H/I, J-K/L, M-N/O, P-Q/R, S-T/U, V-W/X, Y-Z/AA) tipo sumergibles de hélice. Cada clarificador secundario cuenta con su propio cárcamo de lodo secundario donde están instaladas tres bombas. La capacidad de recirculación con dos bombas es del 100%.

Las natas provenientes de cada uno de los clarificadores secundarios serán colectadas en el cárcamo colector de natas (TQ-315) para ser posteriormente enviadas ya sea al tanque de lodos a digestión (TQ-601) o al tanque de lodos a espesamiento (TQ-501) a decisión del operador. Esto se hará mediante las bombas de natas a digestión (BS-316 A/B) tipo centrífuga sumergible. La carga de sólidos a los sedimentador considerando un flujo nominal de 8,500 L/s es de 5.25 kg/m<sup>2</sup> h. La concentración de SST en el lodo secundario es de 1 a 1.2%.

El efluente de los sedimentadores secundarios se conduce mediante canales hacia el cárcamo de agua tratada para servicios (TQ-309) y después al medidor de flujo de agua tratada (MF-310). Posteriormente el efluente tratado se conduce mediante dos tuberías de descarga al canal de CFE. La

PTAR no cuenta con un proceso de desinfección por lo que se descarga directamente al cuerpo receptor sin la adición de un agente desinfectante.



**Figura 678. Descarga final de la PTAR Agua Prieta**

### **AGUA DE SERVICIOS**

El agua de servicios internos de la PTAR se toma del cárcamo de agua tratada para servicios (TQ-309), y se utiliza en los siguientes servicios:

- Limpieza en área de rejillas gruesas automáticas.
- Limpieza de compactador de sólidos de rejillas gruesas.
- Limpieza en área de rejillas finas automáticas.
- Limpieza de compactador de sólidos de rejillas finas.
- Limpieza de desarenador-desengrasador.
- Lavado de arenas en clasificadores de arenas.
- Limpieza de equipo de tamizado de lodos primarios.
- Limpieza en área de rectores biológicos.
- Lavado de bandas de espesadores.
- Limpieza de filtros prensa.
- Flush de bombas de lodos.

- Flush de intercambiadores de calor.
- Preparación y dilución de polímero.
- Riego de áreas verdes, entre otros.

El agua de servicios es tomada por las bombas de agua de servicios a filtros multimedia (BC-311 A/B) del cárcamo de agua tratada para servicios (TQ-309) para ser enviada a los filtros multimedia (FM-401 A hasta C) y posteriormente al sistema de luz ultravioleta (LUV-402 A/B) para su desinfección. El agua desinfectada se guarda en el tanque de agua filtrada (TQ-404). Actualmente, las lámparas de luz UV se encuentran fuera de servicio.



**Figura 679. Agua de servicios**



**Figura 680. Unidad de desinfección con luz ultravioleta**

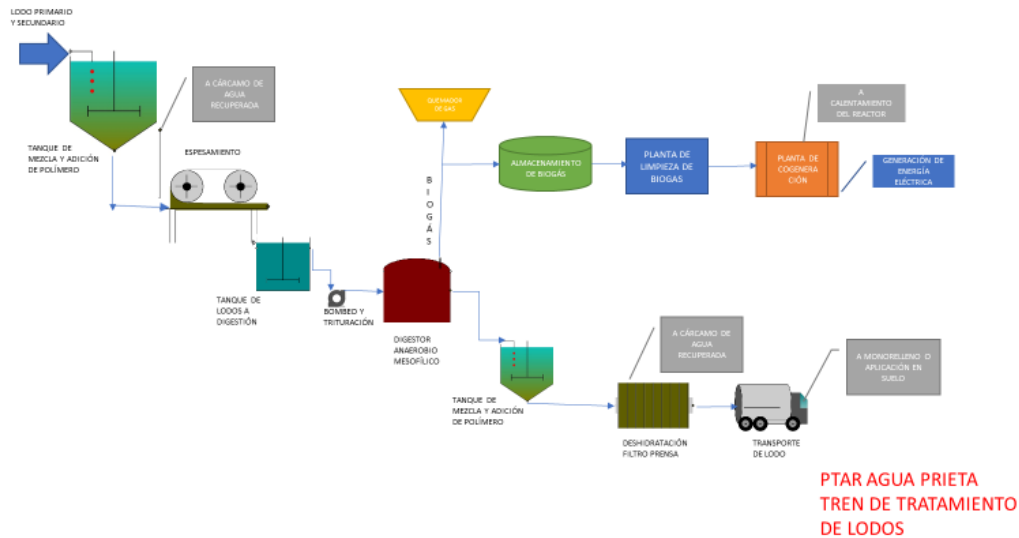
## **TRATAMIENTO DE LODOS**

El tren para el tratamiento de lodos se divide en las siguientes etapas:

- Espesamiento de lodos con espesadores tipo banda.
- Digestión anaeróbica mesofílica.
- Deshidratación de lodos con filtros prensa.
- Preparación y dosificación automática de polímero.
- Sistema de cogeneración de energía eléctrica.
- Colección y disposición de lodos deshidratados (monorrelleno)

Un diagrama de flujo del proceso de lodos residuales se muestra en la Figura 681.





Fuente: Elaboración propia

**Figura 681. Tren de tratamiento de lodos residuales.**

### 3.2 Estado de las unidades de proceso

Actualmente la PTAR recibe un flujo promedio de 1,435.8 L/s el cual se encuentra muy por debajo de su capacidad de tratamiento (8,500 L/s). De acuerdo al gerente de la PTAR, se está rehabilitando un canal de la CFE, por lo que la CFE solo les permite tomar cierta cantidad de agua residual cruda. La PTAR no está operando de la manera correcta y presenta deficiencias en su operación, lo que genera que se obtenga un efluente tratado de mala calidad. Una de los mayores problemas que presenta la PTAR es la acumulación de arenas en todas sus unidades de proceso provocando que las condiciones de operación no se encuentren en las condiciones de diseño.

#### 3.2.1 Pretratamiento

Las rejillas gruesas y finas se encontraron en funcionamiento. El estado civil, equipos y estructuras metálicas se hallaron en buen estado. En uno de los canales donde se localizan las rejillas gruesas se encontró saturado de lodos y basura gruesa acumulada. En las rejillas finas se encontraron con sólidos atascados entre las rejillas.



**Figura 682. Rejillas gruesas**





**Figura 683. Rejillas finas**

Después de las rejillas finas, el agua residual se conduce a través de un canal hacia los desarenadores-desgrasadores. Este sistema para la separación principalmente de arenas se encuentra en mal estado con problemas de operación y mantenimiento provocando una eliminación parcial de las arenas. Se observó una excesiva aireación sobre los canales desarenadores generado la presencia de espumas de color blanca. Se observó también una gran cantidad de sólidos flotantes y pelambre en todos los canales desarenadores.





**Figura 684. Desarenadores-desgrasadores**

Actualmente los clasificadores de arena se encuentran parcialmente en funcionamiento no se encuentran bien operadas.



**Figura 685. Clasificadores de arenas**

### 3.2.2 Tratamiento primario

Después de los desarenadores el agua residual se envía a un sistema de tratamiento primario que está conformado por unidades lógicas de filtración (ULF). A su vez, cada unidad lógica de filtración (ULF) consta de seis unidades individuales de filtración (UIF) del tipo banda filtrante sin fin a gravedad. Todas estas unidades de filtración se encuentran fuera de operación, ninguna se encontró en funcionamiento generándose que todos los sólidos y arenas no queden retenidos en el tratamiento primario y pasen libremente al proceso biológico. Todos los componentes mecánicos y eléctricos que conforman el tratamiento primario están fuera de servicio.

Prácticamente, la etapa de tratamiento primario se encuentra desmantelada.



**Figura 686. Unidad de tratamiento primario conformado por bandas filtrantes**

El efluente del tratamiento primario se envía hacia el cárcamo de bombeo en donde se observó una gran cantidad de lodos flotantes de color negro con olores sépticos y sólidos de gran tamaño. Posiblemente existe una gran acumulación de lodos en el fondo del tanque del cárcamo de bombeo. Existen condiciones inseguras en el cárcamo de bombeo debido a que los cables que suministran la electricidad a los tableros de control de las bombas se encuentran expuestos.

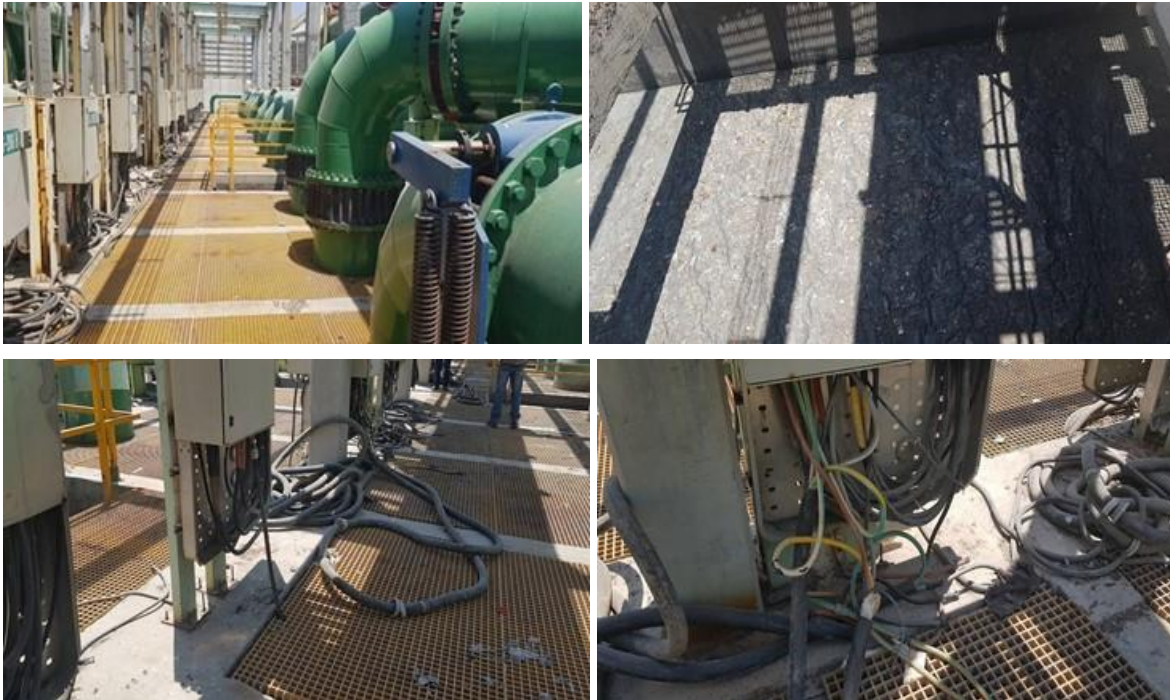


Figura 687. Cárcamo de bombeo

### 3.2.3 Sistema de lodos activados

El agua residual es bombeada al proceso de lodos activados, los cuales se encuentran en muy malas condiciones de operación. De los nueve módulos de lodos activados que conforman al sistema biológico solo tres se encontraron en operación (D, F y G) y de estos tres reactores solo uno se encontró operando parcialmente (módulo F). Dos módulos se encontraron fuera de operación debido a la acumulación de arenas (módulo E e I). Cuatro módulos se encontraron en un proceso de arranque y formación de la biomasa (A, B, C y H). El reactor que se encontró operando parcialmente contenía una excesiva cantidad de espumas color café claro que cubría toda la superficie del reactor (módulo F) (Figura 688). En este reactor se percibió un olor a tierra mojada. El color del licor mezclado fue de color café claro.

Debido a que el agua residual que alimenta a los reactores biológicos contiene una gran cantidad de arenas y lodos sépticos provoca una desestabilización del proceso. Además, la acumulación de las arenas en el fondo de los tanques provoca que se disminuya el volumen útil de tratamiento de los reactores incrementándose los TRH provocando lodos muy viejos. Actualmente, el caudal que alimenta a cada módulo de lodos activados es de  $0.48 \text{ m}^3/\text{s}$  (Q de diseño:  $0.94 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Con estas condiciones

actuales se tiene un TRH de operación de 12.8 h. En la Tabla se encuentran los TRH de diseño y operación. Dos de los módulos de lodos activados se encontraron en condiciones sépticas con un color del licor mezclado negro y alta cantidad de espumas blancas (módulo D y G) (Figura 689). En las líneas de recirculación de lodos el licor mezclado es de color negro.



**Figura 688. Reactor de lodos activados operando parcialmente**



**Figura 689. Reactores de lodos activados en malas condiciones de operación**

Debido a la acumulación de arenas en el fondo de los reactores aerobios existe obstrucción de los difusores probando una mala distribución del aire en el tanque (Figura 690). Se observó alta presencia de espumas y sólidos

flotantes color negro. Además, se encontró bastante acumulación de sólidos de gran tamaño en los reactores biológicos (Figura 691). Uno de los módulos biológicos se encontró vacío (E) y se pudo apreciar excesiva acumulación de arenas en el fondo de alrededor de tres metros (Figura 692). Esta gran cantidad de arenas generó un rompimiento del sistema de distribución del aire y de los difusores. En ese momento, el módulo se encuentra en reparación (Figura 693).



**Figura 690. Rotura de difusores en los reactores de lodos activados**



**Figura 691. Acumulación de sólidos y basura en el reactor biológico**







**Figura 692. Acumulación de arenas en el fondo de un reactor de lodos activados**

**Tabla 229. TRH de diseño y operación**

| Módulo | Q diseño<br>(m <sup>3</sup> /s)              | Q operación<br>(m <sup>3</sup> /s) | TRH de diseño<br>(h) | TRH de operación<br>(h) |
|--------|--|------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| A      | Fuera de operación                           |                                    |                      |                         |
| B      | Fuera de operación                           |                                    |                      |                         |
| C      | Fuera de operación                           |                                    |                      |                         |
| D      | 0.94   | 0.48                               | 6.53                 | 12.8                    |
| E      | Fuera de operación por acumulación de arenas |                                    |                      |                         |
| F      | 0.94   | 0.48                               | 6.53                 | 12.8                    |
| G      | 0.94   | 0.48                               | 6.53                 | 12.8                    |
| H      | Fuera de operación                           |                                    |                      |                         |
| I      | Fuera de operación                           |                                    |                      |                         |



**Figura 693. Reactor de lodos activados fuera de operación**

### 3.2.4 Sedimentadores secundarios

Debido al mal funcionamiento de los reactores de lodos activados y a la inadecuada operación del proceso, los sedimentadores secundarios no se encontraron trabajando correctamente (Figura 694). A pesar de que los lodos biológicos presentaron buena sedimentación, el sobrenadante es de un color café claro, con bastante turbiedad con presencia de sólidos suspendidos y olor a amoniacal, señales de que el proceso biológico no está degradando la materia orgánica y el nitrógeno amoniacal. Además, en el efluente de los sedimentadores se detectó gran cantidad de espumas derivado del mal funcionamiento de la etapa biológica (Figura 695).



**Figura 694. Sedimentadores secundarios operando ineficientemente**



**Figura 695. Efluente de los sedimentadores secundarios**

Se observó la presencia de natas, grasas y aceites sobre la superficie de los sedimentadores (Figura 696). Además, se detectó la presencia de una gran cantidad de lodos flotantes color negro y burbujas indicando que el lodo es muy viejo provocando una desnitrificación en los fondos de los sedimentadores secundarios (Figura 697). Se observó que los lodos no se extraen adecuadamente y no se realizan purgas constantes de lodos. El nivel del manto de lodos en los sedimentadores que se encontraron en funcionamiento fue de un promedio de 2 m indicando una gran acumulación de lodos en los sedimentadores



**Figura 696. Presencia de natas y grasas y aceites en los sedimentadores secundarios**



**Figura 697. Presencia de burbujeo y sólidos flotantes en los sedimentadores secundarios**

En la entrada de los sedimentadores secundarios se encontró una gran cantidad de sólidos acumulados provocando una mala distribución del agua residual hacia los sedimentadores. Se logró observar en sedimentadores fuera de operación una gran cantidad de arenas y sólidos acumulados en el fondo de los sedimentadores (Figura 698 y Figura 699). Esta acumulación provoca cambios en los TRH y cargas hidráulicas superficiales de los sedimentadores. El TRH y la carga hidráulica superficial actual de operación son de 6.18 h y 15.52 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d respectivamente, los cuales son el doble de los valores de diseño (Tabla 230).



**Figura 698. Sólidos acumulados en las entradas de los sedimentadores secundarios**



**Figura 699. Sólidos y arenas acumuladas en el fondo de los sedimentadores secundarios**

**Tabla 230. Cargas hidráulicas de diseño y operación en los sedimentadores secundarios**

| Sedimentador | Q<br>diseño | Q<br>operación | Carga<br>hidráulica | Carga<br>hidráulica | TRH<br>diseño | TRH<br>operación |
|--------------|-------------|----------------|---------------------|---------------------|---------------|------------------|
|--------------|-------------|----------------|---------------------|---------------------|---------------|------------------|

| secundario | (m <sup>3</sup> /s)                          | (m <sup>3</sup> /s) | superficial<br>diseño<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d) | superficial<br>operación<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d) | (h)  | (h)  |
|------------|--|---------------------|--|---|------|------|
| <b>A</b>   | Fuera de operación                           |                     |  |   |      |      |
| <b>B</b>   | Fuera de operación                           |                     |  |   |      |      |
| <b>C</b>   | Fuera de operación                           |                     |  |   |      |      |
| <b>D</b>   | 0.94   | 0.48                | 30.4   | 15.52   | 3.15 | 6.18 |
| <b>E</b>   | Fuera de operación por acumulación de arenas |                     |  |   |      |      |
| <b>F</b>   | 0.94   | 0.48                | 30.4   | 15.52   | 3.15 | 6.18 |
| <b>G</b>   | 0.94   | 0.48                | 30.4   | 15.52   | 3.15 | 6.18 |
| <b>H</b>   | Fuera de operación                           |                     |  |   |      |      |
| <b>I</b>   | Fuera de operación                           |                     |  |   |      |      |

En la Figura 700 se muestran algunas imágenes de los sedimentadores fuera de operación. En la Figura 701 se muestra el sedimentador secundario F el cual se encontró trabajando eficientemente generando un sobrenadante de buena calidad.

La PTAR no tiene un proceso de desinfección. La calidad del efluente permite descargar el agua a un cuerpo receptor tipo "B" por lo que la CFE que utiliza las aguas tratadas para la generación de electricidad señala que el agua no tiene que llevar algún tipo de agente oxidante. Debido a la baja eficiencia de operación de la PTAR y a la mala operación de la misma, la descarga final presenta una gran cantidad de espumas blancas, color y turbiedad (Figura 702).





**Figura 700. Sedimentadores secundarios fuera de operación**



**Figura 701. Sedimentador secundario F operando eficientemente**





**Figura 702. Descarga final de la PTAR Agua Prieta**

### **3.2.5 Equipos electromecánicos**

Se realizó el levantamiento de los equipos electromecánicos de la PTAR Agua Prieta (Figura 703). La etapa de tratamiento primario se encuentra prácticamente desmantelada, por lo que no se localizaron los equipos electromecánicos de dicha sección, como se evidenció en la sección 3.2.2.

Los equipos electromecánicos de los trenes de tratamiento correspondientes al pretratamiento y a los sedimentadores secundarios se localizaron en su totalidad y se encuentran operando. Adicionalmente, la PTAR cuenta con un programa de mantenimiento que habilita los equipos para su correcto funcionamiento.

En los reactores biológicos, los equipos electromecánicos de los reactores E e I no se localizaron o se encuentran dañados, debido a la falta de operación de dichas unidades. En los reactores biológicos restantes, los equipos electromecánicos se localizaron en su totalidad y se encuentran funcionando correctamente.

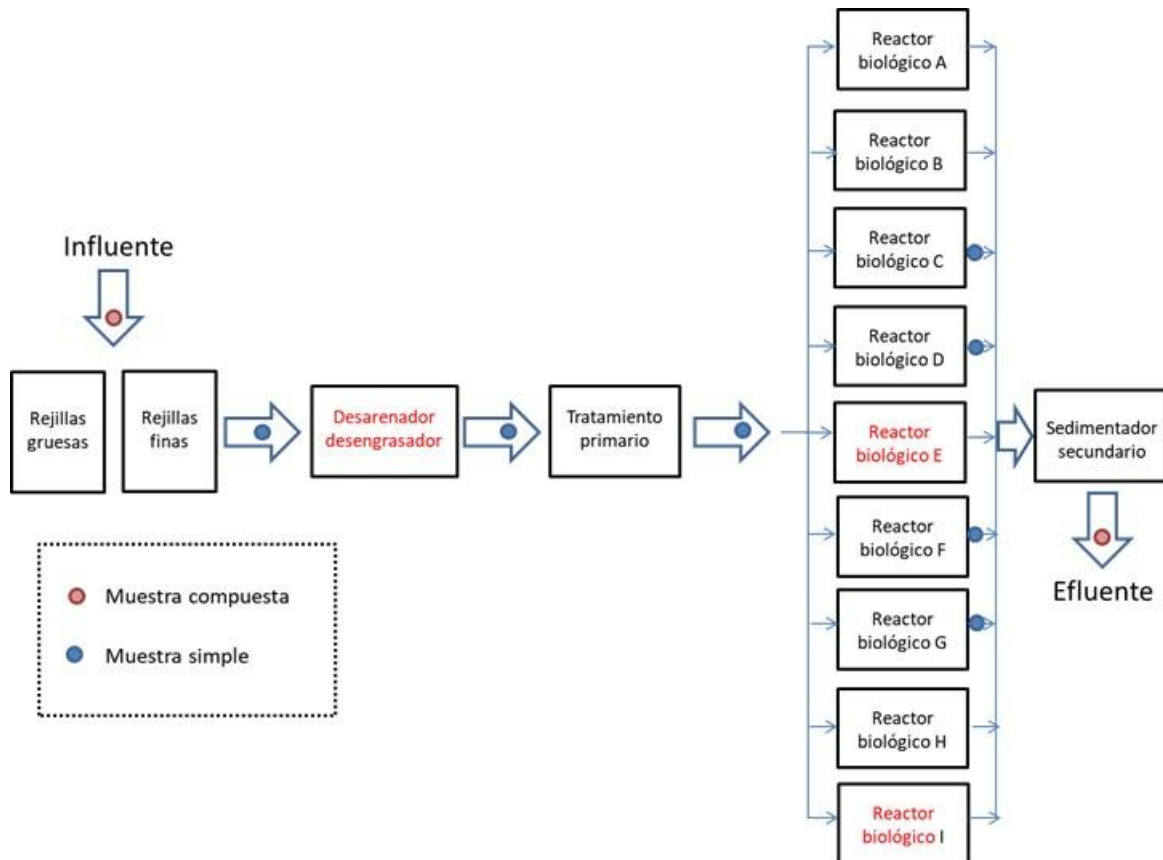




**Figura 703. Estado físico de los equipos electromecánicos.**

### **3.3 Muestreo y calidad del agua residual**

Se realizó una visita prospectiva a la PTAR Agua Prieta con el objetivo de conocer la planta, sus características y al personal que opera la misma. Adicionalmente, se verificó el proceso de tratamiento y se definieron los puntos de muestreo, de acuerdo a la configuración de la PTAR, así como a las condiciones de acceso y seguridad a los sitios de muestreo. Los puntos seleccionados se muestran en la Figura 704.



**Figura 704. Puntos de muestreo definidos para la caracterización del agua residual de la PTAR.**

Se definieron muestreos compuestos (6 muestras en 24 h) en el influente y efluente de la PTAR, de acuerdo a los parámetros establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021 para conocer el cumplimiento del efluente producido con la normatividad oficial vigente y las condiciones particulares de descarga fijadas por la Conagua.

Asimismo, se obtuvieron siete muestras simples: a la salida de las rejillas finas, después del desarenador/desengrasador, a la salida del tratamiento primario y a la salida de los reactores biológicos aerobios C, D, F y G, que eran los reactores que presentaban efluente al momento de la visita de diagnóstico. Las muestras simples fueron analizadas en laboratorio acreditado ante la EMA para DBO<sub>5</sub>, DQO y SST. Adicionalmente, en las muestras obtenidas del efluente de los reactores biológicos se analizó fósforo total y nitrógeno total. El análisis de las muestras simples nos permite evaluar la eficiencia actual de las unidades de tratamiento con las que cuenta la PTAR.

En la Tabla 231 se presenta el resumen de los parámetros analizados en cada muestra, indicando el parámetro analizado, el tipo de muestra obtenida y la normatividad que limita dicho parámetro.

En la muestra compuesta del influente se obtuvieron los siguientes caudales:

- P1: 2,310 L/s
- P2: 2,320 L/s
- P3: 2,170 L/s
- P4: 1,955 L/s
- P5: 1,937 L/s
- P6: 1,840 L/s

Mientras que en la obtenida del efluente presento los siguientes caudales:

- P1: 2,010 L/s
- P2: 1,610 L/s
- P3: 1,530 L/s
- P4: 2,350 L/s
- P5: 1,910 L/s
- P6: 1,893 L/s

**Tabla 231. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua**

| Norma                   | Parámetro        | Influyente | Pre tratamiento | Desarenador | Tratamiento primario | Reactor biológico C | Reactor biológico D | Reactor biológico F | Reactor biológico G | Efluente  |
|-------------------------|------------------|------------|-----------------|-------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------|
| NOM-001-SEMARNAT-1996   | pH               |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
|                         | T                |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
|                         | Materia flotante |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
|                         | GyA              |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
|                         | SST              |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
|                         | DBO <sub>5</sub> |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
|                         | NT               |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
|                         | PT               |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
|                         | Metales          |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
|                         | HH               |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
| CF                      |                  |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
|                         | Cloro residual   |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
| NOM-001-SEMARNAT-2021   | DQO              |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
|                         | Toxicidad aguda  |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
|                         | Color verdadero  |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
|                         | E. Coli          |            |                 |             |                      |                     |                     |                     |                     |           |
| <b>Tipo de muestreo</b> |                  | Compuesto  | Simple          | Simple      | Simple               | Simple              | Simple              | Simple              | Simple              | Compuesto |

### 3.3.1 Resultados del muestreo compuesto

En la Tabla 232 se muestran los resultados del muestreo compuesto realizados en la PTAR. De acuerdo al título de descarga de la PTAR, las aguas residuales tratadas se vierten a un cuerpo receptor tipo “B” que correspondería, para la actualización de la norma a: “Ríos, arroyos, canales y drenes”.

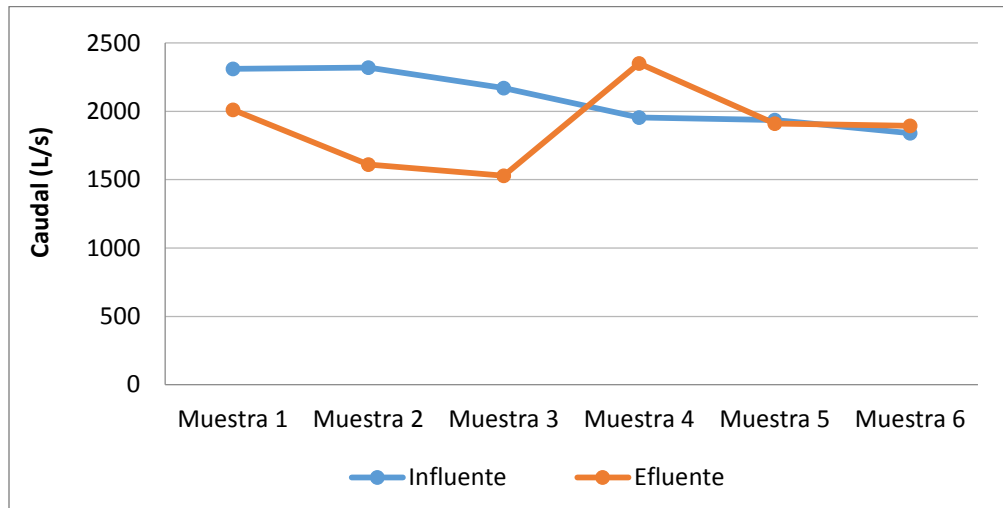
De acuerdo a los límites permisibles en la NOM-001-SEMARNAT-1996, el efluente generado en la PTAR **no cumple** con los parámetros: **grasas y aceites, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total y coliformes fecales**. Con respecto a la NOM-001-SEMARNAT-2021, se encuentran fuera de rango, adicionalmente: **E. Coli** y **toxicidad aguda**.

**Tabla 232. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT 1996 y 2021.**

| Parámetro                | Unidades | Compuesto       |               | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Cuerpo receptor tipo B (PM) | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Ríos, arroyos, canales, drenes (PM) |
|--------------------------|----------|-----------------|---------------|--|--|
|                          |          | Influyente (PM) | Efluente (PM) |  |  |
| pH                       | UpH      | 7.4             | 7.8           | 5 - 10   | 6 - 9  |
| Temperatura              | °C       | 25.5            | 26            | 40   | 35   |
| G y A promedio ponderado | mg/L     | 59.0            | 16.7          | 15   | 15   |
| Material Flotante        | A / P    | Presente        | Ausente       | Ausente  | NA   |
| SST                      | mg/L     | 175             | 88            | 75   | 60   |
| DBO <sub>5</sub>         | mg/L     | 228             | 17            | 75   | NA   |
| NT                       | mg/L     | 47              | 40.7          | 40   | 25   |
| PT                       | mg/L     | 4.84            | 1.44          | 20   | 15   |
| As                       | mg/L     | 0.0042          | <0.0045       | 0.1  | 0.2  |
| Cd                       | mg/L     | <0.030          | <0.030        | 0.1  | 0.2  |
| Cu                       | mg/L     | 0.131           | <0.05         | 4.0  | 4.0  |
| Cr                       | mg/L     | <0.10           | <0.10         | 0.5  | 1.0  |
| Hg                       | mg/L     | 0.0005          | <0.0005       | 0.005  | 0.01   |
| Ni                       | mg/L     | 0.1             | <0.10         | 2.0  | 2.0  |

| Parámetro               | Unidades      | Compuesto             |                        | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Cuerpo receptor tipo B (PM) | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Ríos, arroyos, canales, drenes (PM) |
|-------------------------|---------------|-----------------------|------------------------|--|--|
|                         |               | Influyente (PM)       | Efluente (PM)          |  |  |
| Pb                      | mg/L          | <0.10                 | <0.10                  | 0.2  | 0.2  |
| Zn                      | mg/L          | 0.35                  | 0.13                   | 10.0   | 10.0   |
| CF media geométrica     | NMP/100 ml    | 1.94x 10 <sup>7</sup> | 1.4x 10 <sup>7</sup>   | 1000   | NA   |
| HH                      | H/L           | Cero                  | Cero                   | 1  | NA   |
| DQO                     | mg/L          | 613                   | 93.3                   | NA   | 150  |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 ml    | 1.94x 10 <sup>7</sup> | 9.69 x 10 <sup>4</sup> | NA   | 250  |
| Color                   | Long. De onda |                       |                        | NA   | Coefficiente absorción Espectral máximo                      |
|                         | 436 nm        | 3.8                   | 1.6                    |  | 7.0 m <sup>-1</sup>  |
|                         | 525 nm        | 1.9                   | 0.5                    |  | 5.0 m <sup>-1</sup>  |
|                         | 620 nm        | 1.3                   | 0.3                    |  | 3.0 m <sup>-1</sup>  |
| Toxicidad aguda         | UT 15 min     | 20.62                 | 5.29                   | NA   | 2  |

El caudal del influente y el efluente se determinó durante 24 h, para conocer su variación, obteniendo 6 mediciones, es decir, cada 4 h. Los resultados obtenidos y las variaciones del caudal en el influente y efluente de la PTAR se muestran en la Figura 705.



**Figura 705. Variación del caudal en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto.**

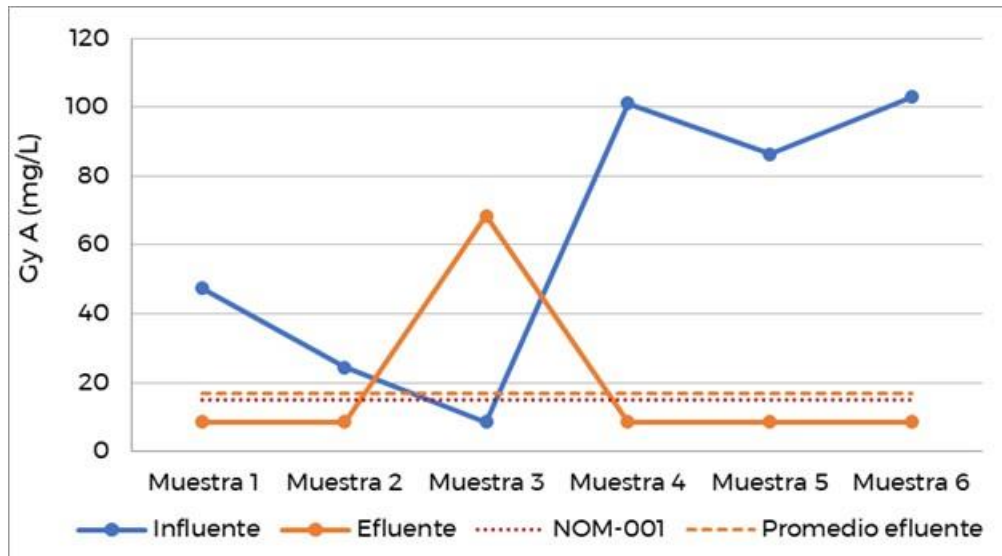
Se observa que el caudal del influente oscila entre 1,840 y 2,320 L/s, presentando el valor más bajo en el 6 muestreo, es decir en la madrugada y el máximo caudal en el segundo muestreo, cercano a medio día.

El caudal promedio determinado fue de 2,088.7 L/s, que corresponde a 24.6 % del caudal medio de diseño de la PTAR, lo que nos indica que la Planta opera por debajo del caudal mínimo de diseño.

Con respecto al efluente, el caudal medio fue de 1,883.8 L/s, con un máximo de 2,350 L/s y un mínimo de 1,530 L/s.

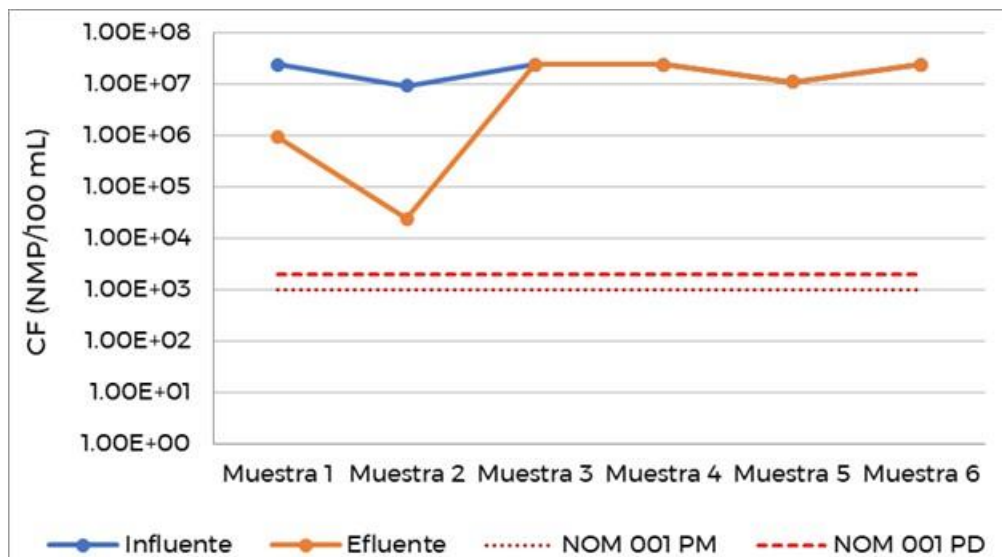
Las grasas y aceites en el influente presentaron valores desde menores al límite de detección (8.56 mg/L) en la tercera muestra, hasta 101 y 103 mg/L en las muestras 5 y 6 respectivamente (Figura 706). El promedio ponderado de GyA fue de 59.0 mg/L.

En lo que respecta al efluente, en las muestras 1, 2, 4, 5 y 6 la concentración está por debajo del límite de detección (8.54 mg/L). Sin embargo, en la muestra 3 se obtiene una concentración de 68.5 mg/L. El promedio ponderado es de 16.7 mg/L, que se encuentra por encima del límite permisible en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y 2021.



**Figura 706. Concentraciones de GyA en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto.**

Las concentraciones de coliformes fecales en el influente de la PTAR se mantuvieron por encima de  $1 \times 10^7$  NMP/100 mL, mientras que en el efluente se obtuvieron valores desde  $2.4 \times 10^4$ , en la muestra 2, hasta  $2.4 \times 10^7$ , obtenidas en las muestras 3, 4 y 6 (Figura 707). Dichas concentraciones sobrepasan el límite máximo permisible establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996, tanto para el promedio mensual como para el promedio diario (1,000 y 2,000 NMP/100 mL, respectivamente).

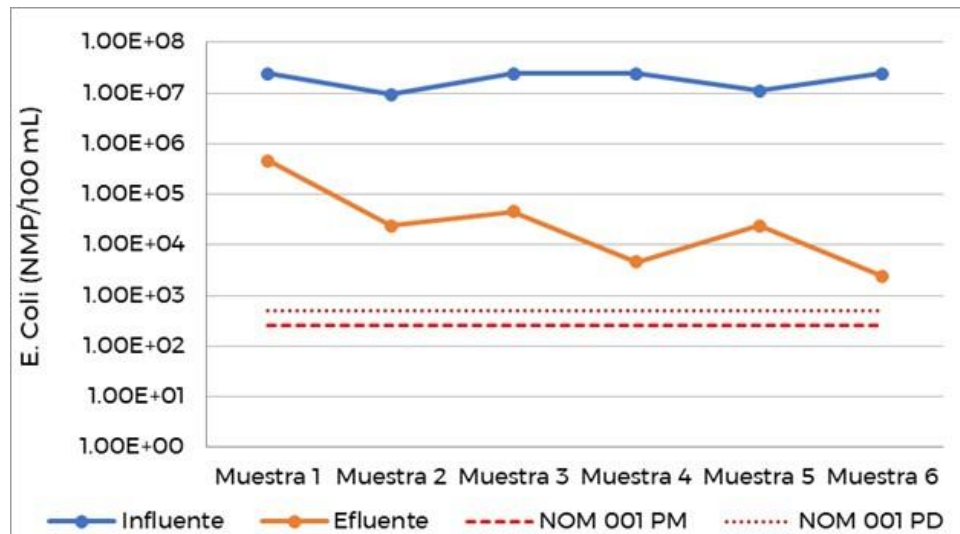


**Figura 707. Concentraciones de CF en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto.**



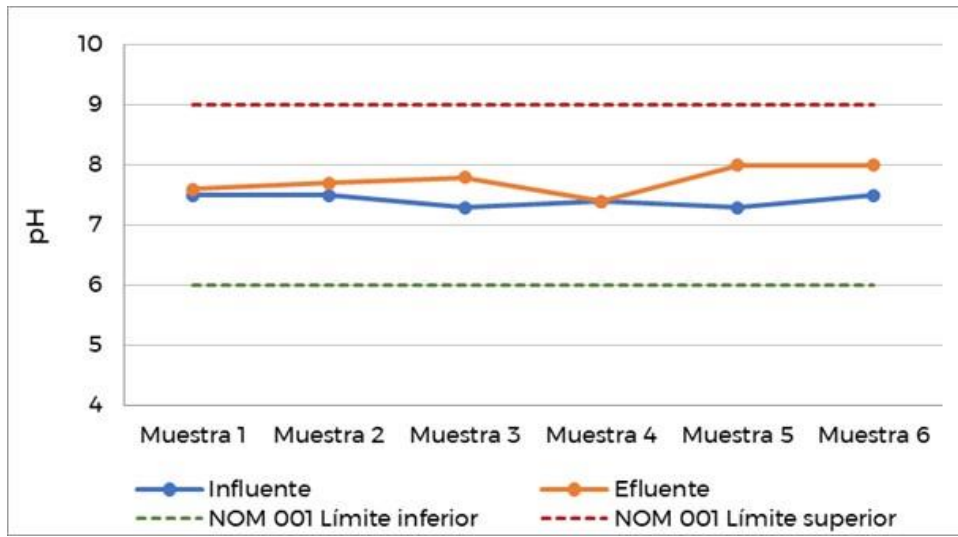
Con respecto a la concentración de *E. Coli*, en el influente se detectaron concentraciones desde  $9.3 \times 10^6$  NMP/100mL, hasta concentraciones de  $2.4 \times 10^7$  NMP/100mL, que se detectaron en las muestras 1, 3, 4, y 6 (Figura 708). Por otra parte, en el efluente se detectaron desde  $2.4 \times 10^3$  NMP/100mL hasta  $4.6 \times 10^5$  NMP/100mL. Estos valores sobrepasan el límite permisible en la NOM-001-SEMARNAT-2021, tanto para el promedio diario como para el promedio mensual.

Cabe señalar que debido a que el efluente producido en la PTAR Agua Prieta es utilizado por la CFE, el agua no puede ser clorada, por lo que no hay un proceso de desinfección de la misma, por la limitación para usar sustancias químicas.



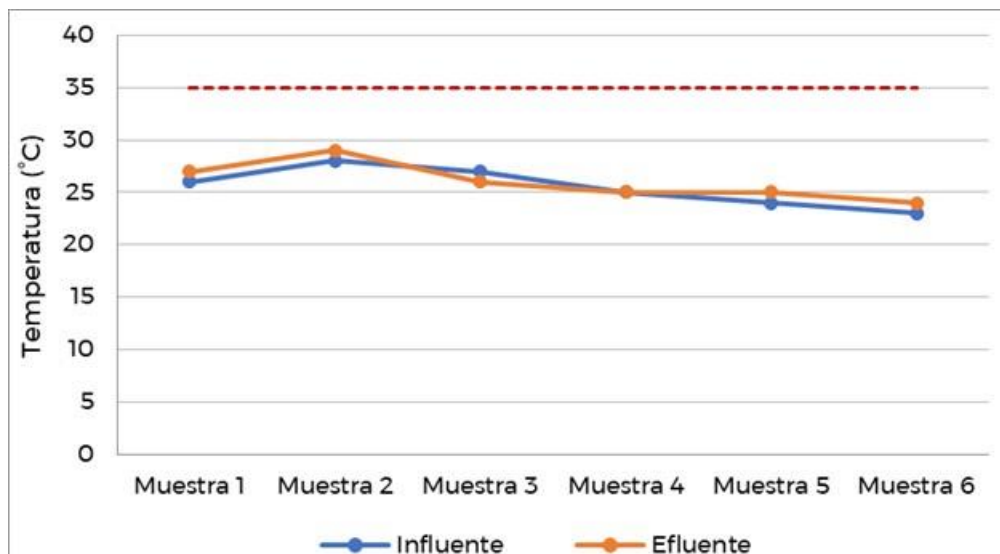
**Figura 708. Concentraciones de E. Coli en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto.**

El pH en el influente de la PTAR se encontró entre 7.3 y 7.5 unidades (Figura 709), rango que se encuentra dentro de lo recomendado para la supervivencia de los microorganismos encargados de llevar a cabo el proceso de degradación en reactores biológicos aerobios, por lo que no se requiere realizar ajustes de pH al influente. En lo que respecta al efluente, el rango de pH se detectó entre 7.4 y 8.0, que se encuentra dentro del límite permitidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021 (6 - 9 unidades).



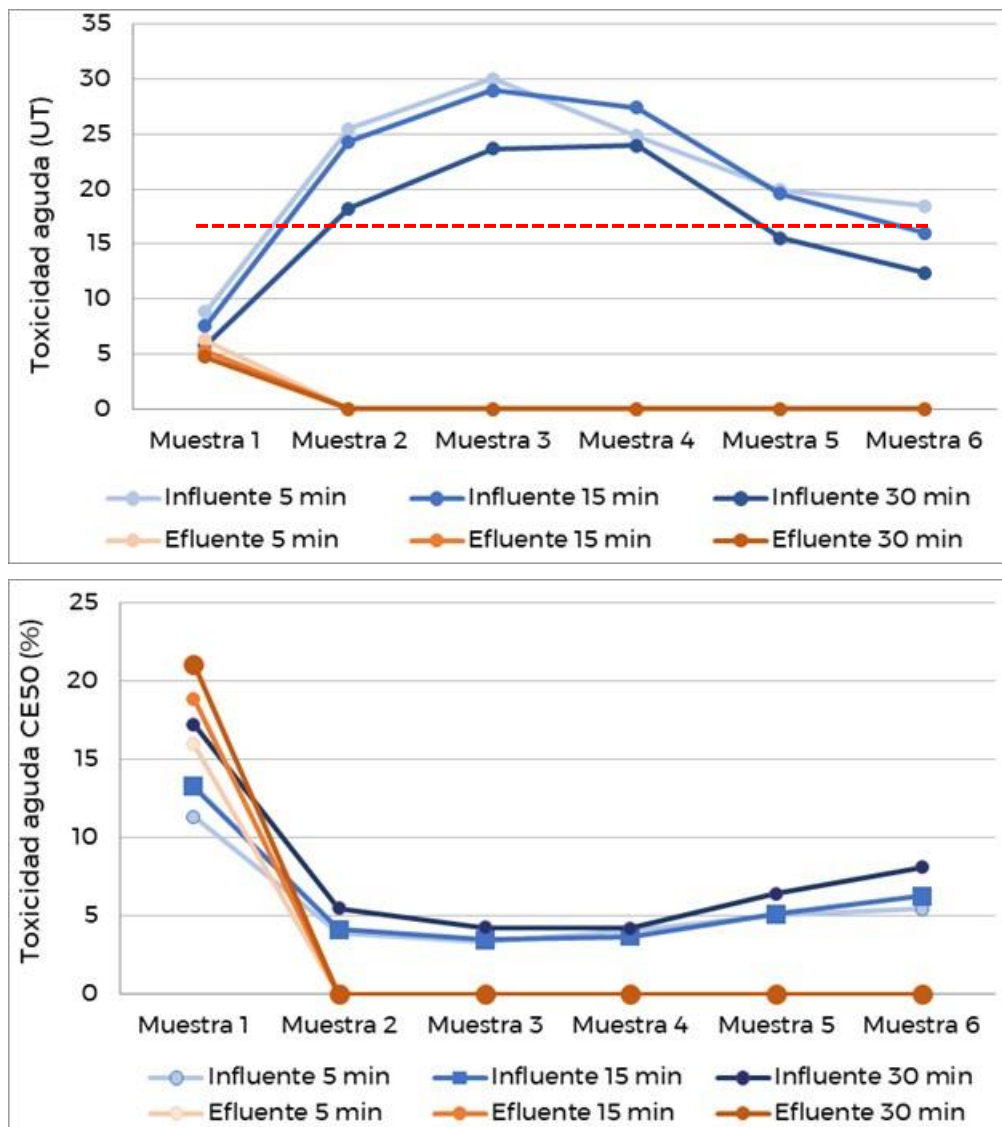
**Figura 709. Valores de pH en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto.**

La temperatura tanto del influente como del efluente muestra una ligera tendencia a la baja, pasando de 28 y 29 °C en las primeras muestras obtenidas en el influente y efluente, respectivamente, hasta 23 y 24 °C (Figura 710). La temperatura en el influente se encuentra dentro del rango recomendado para que el proceso de lodos activados se realice de manera eficiente, permitiendo un óptimo desempeño de los microorganismos involucrados en el proceso. Mientras que la temperatura en el efluente, se encuentra por debajo del límite permitido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.



**Figura 710. Temperaturas determinadas en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto.**

En la Figura 711 se presentan los resultados obtenidos de las muestras del influente y el efluente respecto a la toxicidad aguda determinada con *Vibrio Fischeri* a 5, 15 y 30 minutos. Se observa que la toxicidad en el influente oscila entre 7.53 y 28.97 UT a 15 minutos de exposición, indicando un influente tóxico, lo que podría indicar la presencia de aportaciones industriales dentro de las aguas residuales que llegan a la PTAR. Por otra parte, el efluente presenta una toxicidad de 5.29 UT a 15 minutos de exposición en la primera muestra, que sobrepasa el límite permitido de 2 UT a 15 min en la NOM-001-SEMARNAT-2021. Sin embargo, en las 5 muestras siguientes la toxicidad aguda en el efluente no fue detectada.



**Figura 711. Variación de la toxicidad aguda (*Vibrio fischeri*) en el influente y efluente de la PTAR Agua Prieta durante el muestreo compuesto.**

### 3.3.2 Resultados del muestreo simple

Los resultados de la caracterización de la calidad del agua en cada una de las etapas de proceso de la PTAR se presentan en la Tabla 233. Se observa que el proceso global tiene una eficiencia de 92.5, 84.8 y 49.7 % con respecto a la DBO<sub>5</sub>, DQO y SST. Se observa que la eficiencia de remoción de los SST es menor a 50 %, lo que puede atribuirse a los problemas que se tienen con la operación deficiente del pretratamiento y la falta del tratamiento primario. En lo que respecta a la eficiencia de remoción de los nutrientes en el proceso global, se encontró una eficiencia de 13.4 % para nitrógeno y 70.2 % para PT. La eficiencia de remoción de nitrógeno es baja, situación que se había descrito dentro de las secciones 3.2.3 y 3.2.4 y se atribuye a una mala operación en el pretratamiento, la falta de las unidades de tratamiento primario y la mala operación de los sedimentadores secundarios, que evitan una correcta asimilación y eliminación del nitrógeno en el sistema.

**Tabla 233. Resultados de laboratorio de las muestras simples obtenidas en los efluentes de los procesos.**

| Sitio de muestreo           | DBO <sub>5</sub><br>(mg/L) | DQO<br>(mg/L) | SST<br>(mg/L) | PT<br>(mg/L) | NT<br>(mg/L) |
|-----------------------------|----------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Influyente                  | 228                        | 613           | 175           | 4.84         | 47           |
| Salida rejillas finas       | 205                        | 453           | 103           |              |              |
| Salida tratamiento primario | 169                        | 468           | 136           |              |              |
| Salida de desarenador       | 166                        | 369           | 63.3          |              |              |
| Salida Reactor C            | 155                        | 395           | 135           | 8.41         | 46.1         |
| Salida Reactor D            | 15                         | 24.5          | 26            | 0.6          | 28.3         |
| Salida Reactor F            | 46                         | 173           | 35            | 2.5          | 41.2         |
| Salida Reactor G            | 20                         | 109           | 104           | 3.5          | 64           |
| Efluente                    | 17                         | 93.3          | 88            | 1.44         | 40.7         |

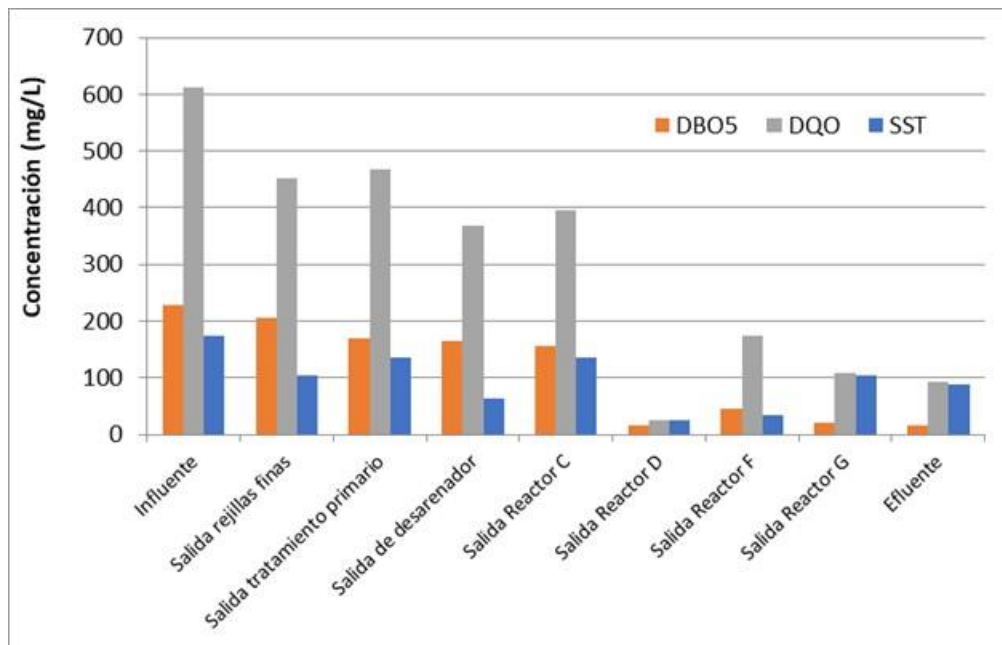
### 3.3.3 Eficiencia de las unidades de tratamiento

Con respecto a la eficiencia de remoción de materia orgánica en los reactores biológicos, se observan eficiencias de remoción muy variadas, ya que, a pesar de que el reactor C presenta un efluente, dicho reactor se encuentra en una etapa de arranque y formación de materia orgánica, por lo que sus eficiencias de remoción son bajas. Los reactores D, F y G, presentan eficiencias de remoción de DBO<sub>5</sub> de 91, 72.3 y 88.0 %, respectivamente. Se observa que las eficiencias en los reactores D y G son elevadas, mientras que el reactor F presenta una eficiencia de remoción

más baja, lo que corresponde con la información presentada anteriormente, donde se describía que el reactor F operaba parcialmente.

La variación de la DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en la salida de cada etapa de tratamiento se presentan en la Figura 712. Se observa que la DBO y DQO van disminuyendo a lo largo del tratamiento, hasta llegar a la etapa biológica en la que se presenta la mayor reducción de materia orgánica. La concentración entre el efluente de los reactores y el efluente general no varía significativamente, lo que puede deberse a la mala operación de los sedimentadores secundarios, lo que evita que se remueva parte de los lodos y sólidos de mayor tamaño. También se puede observar (en mayor proporción en la DQO) que el reactor biológico C no presenta una remoción significativa y que incluso se presentó un aumento de la DQO en el efluente de dicho reactor, lo que se atribuye a la mala operación de dicha unidad.

Con respecto a los SST se observa que, tanto a la salida del tratamiento primario, como en el efluente general, este parámetro aumenta. Este aumento, en la etapa primaria se atribuye al desmantelamiento y falta de operación de los desarenadores y del tratamiento primario. Este mismo comportamiento se observa en el efluente general, lo que se atribuye a la mala operación y acumulación de lodos en el sedimentador secundario.



**Figura 712. Variación de la DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en la PTAR Agua Prieta durante el muestreo simple.**

En lo que respecta a la eliminación de nutrientes, la evolución de las concentraciones de P<sub>T</sub> y N<sub>T</sub> se presenta en la Figura 713. El fósforo se asimila gradualmente a lo largo del proceso, viéndose una mayor remoción en la

etapa biológica. Sin embargo, en el reactor C se presenta un aumento de la concentración atribuible a la falta de operación de dicha unidad. Por su parte, el nitrógeno total presenta una disminución en el reactor D, respecto al influente. Este comportamiento no se observa en el reactor C y F, lo que indica una operación deficiente, posiblemente debida a que los reactores se encontraban en etapa de estabilización. También se puede observar que, en el efluente, la concentración de nitrógeno alcanza 40.7 mg/L, que se atribuye a la acumulación de lodos y al proceso de desnitrificación que se lleva a cabo en los sedimentadores secundarios, debido a la mala operación y acumulación de lodos, que resulta benéfica para la eliminación de desnitrificación, a pesar que esta no es la función de dicha unidad.

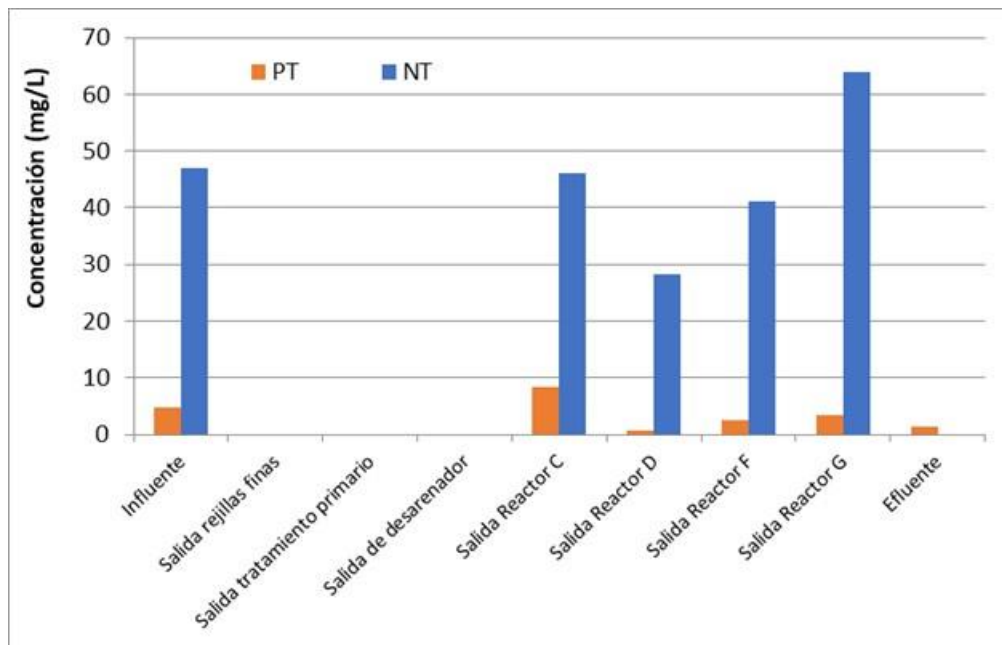


Figura 713. Variación de nutrientes ( $P_T$  y  $N_T$ ) en la PTAR Agua Prieta durante el muestreo simple.

### 3.3.4 Influencia industrial

Con respecto a la relación  $DQO/DBO_5$ , se encuentra en 2.68 en el influente de la PTAR, indicando que la materia orgánica que llega a la Planta es poco biodegradable. La toxicidad aguda mostró valores elevados en el influente (20.62 UT a 15 min), lo que indica que el agua residual que llega a la PTAR es tóxica. Estos valores, son indicios de la existencia de aportación industrial en el agua residual en el influente.

### **3.4 Determinaciones de campo**

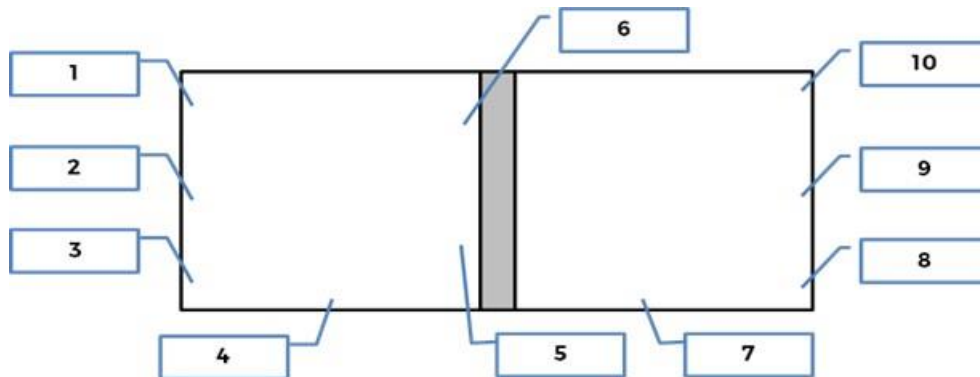
#### **a) Perfiles de pH, oxígeno disuelto, potencial redox, conductividad eléctrica y temperatura en diferentes puntos y profundidades**

Con el objeto de determinar la distribución del pH, oxígeno disuelto, potencial redox, conductividad eléctrica y temperatura en los reactores biológicos se realizaron mediciones en diferentes puntos y profundidades de los cuatro reactores que se encontraron en funcionamiento. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en cada reactor.

El pH de en los cuatro reactores varió entre 6.81 y 7.5. Las conductividades eléctricas fueron entre 1,220 y 1,627 mS/cm. El oxígeno disuelto en reactor F se encontró entre 1.96 y 4.46 mg/L lo cual indica una sobre aireación en el reactor o bajo consumo del OD. El ORP se encontró con valores positivos entre 94.1 y 126.9 mV. Sin embargo, no se encontró una disminución del pH a lo largo del reactor, lo que indica que no se está llevando a cabo un proceso de desnitrificación. Este comportamiento también se observa en el reactor G, donde se tienen pH entre 7.1 y 7.4 en la entrada de reactor y de 7.06 a 7.4 a la salida, indicando que el proceso de degradación no se está llevando a cabo de manera correcta.

Para los reactores C y D, el OD se encontró entre 0.3 y 1.9 mg/L con valores de ORP desde valores negativos (-6 mV) hasta valores positivos (39.2 mV). Esto indica que los reactores se encontraban en condiciones anóxicas. Para el reactor D que fue el reactor donde se encontraron condiciones sépticas, los valores de OD fueron desde 0 hasta 2.09 mg/L con ORP negativos entre -302.1 y -262.4 mV indicando que este reactor se encontró en condiciones anaerobias.

### REACTOR AEROBIO F

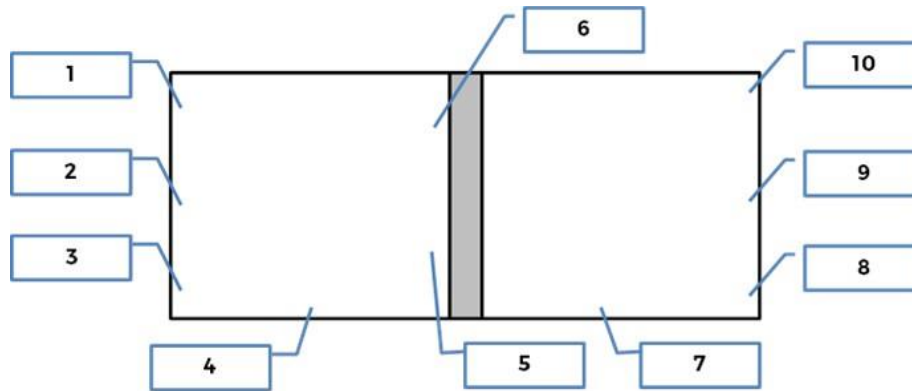


**Tabla 234. Resultados del perfil de pH y OD en el reactor F**

| PUNTO | PROFUNDIDAD (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) | Conductividad eléctrica (μS/cm) | T(°C) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|---------------------------------|-------|
| 1     | 1               | 7.32 | 2.51        | 126.9    | 1336                            | 26.7  |
|       | 4               | 7.33 | 3.18        | 118.3    | 1338                            | 26.7  |
| 2     | 1               | 7.34 | 2.11        | 55.4     | 1339                            | 26.6  |
|       | 4               | 7.31 | 1.96        | 55.6     | 1311                            | 26.6  |
| 3     | 1               | 7.32 | 4.36        | 94.1     | 1341                            | 26.7  |
|       | 4               | 7.34 | 4.29        | 93.0     | 1318                            | 26.7  |
| 4     | 1               | 7.33 | 4.32        | 104.5    | 1320                            | 26.7  |
|       | 4               | 7.34 | 4.46        | 104.9    | 1340                            | 26.7  |
| 5     | 1               | 7.0  | 2.76        | 131.4    | 1152                            | 26.7  |
|       | 4               | 7.01 | 2.86        | 135.2    | 1100                            | 26.7  |
| 6     | 1               | 7.0  | 1.15        | 185.4    | 1272                            | 26.7  |
|       | 4               | 7.02 | 1.15        | 117.4    | 1263                            | 26.7  |
| 7     | 1               | 7.01 | 2.51        | 147.1    | 1252                            | 26.7  |
|       | 4               | 6.94 | 2.86        | 141.7    | 1278                            | 26.7  |
| 8     | 1               | 7.26 | 1.24        | 97.4     | 1343                            | 26.7  |
|       | 4               | 7.3  | 1.30        | 107.2    | 1341                            | 26.7  |
| 9     | 1               | 7.27 | 0.77        | 86.3     | 1315                            | 26.7  |
|       | 4               | 7.25 | 0.70        | 92.6     | 1318                            | 26.7  |
| 10    | 1               | 6.96 | 0.35        | 53.1     | 1268                            | 26.7  |
|       | 4               | 7.00 | 0.37        | 40       | 1271                            | 26.7  |

### REACTOR AEROBIO G

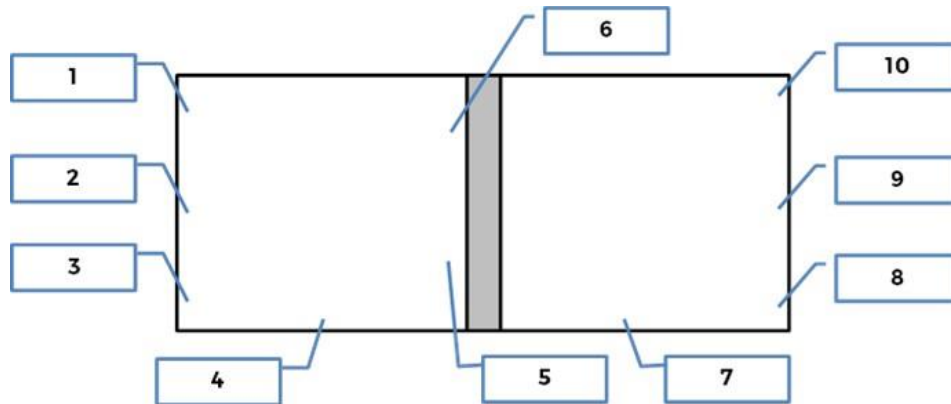




**Tabla 235. Resultados del perfil de pH y OD en el reactor G**

| PUNTO | PROFUNDIDAD (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) | Conductividad eléctrica (μS/cm) | T(°C) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|---------------------------------|-------|
| 1     | 1               | 7.11 | 2.45        | 65.7     | 1531                            | 27.7  |
|       | 4               | 7.02 | 2.07        | 69.3     | 1520                            | 27.7  |
| 2     | 1               | 7.09 | 2.29        | 71.7     | 1508                            | 27.7  |
|       | 4               | 7.04 | 1.93        | 71.4     | 1541                            | 27.7  |
| 3     | 1               | 7.11 | 2.41        | 73.0     | 1543                            | 27.8  |
|       | 4               | 7.08 | 1.98        | 76.5     | 1547                            | 27.8  |
| 4     | 1               | 7.12 | 1.75        | 64.6     | 1557                            | 27.8  |
|       | 4               | 7.1  | 1.10        | 35.7     | 1559                            | 27.8  |
| 5     | 1               | 7.35 | 1.91        | 25.4     | 1624                            | 27.7  |
|       | 4               | 7.4  | 1.64        | 28.1     | 1619                            | 27.7  |
| 6     | 1               | 7.42 | 0.67        | 3.5      | 1622                            | 27.7  |
|       | 4               | 7.41 | 0.92        | -4.5     | 1618                            | 27.7  |
| 7     | 1               | 7.38 | 1.38        | 28.6     | 1625                            | 27.7  |
|       | 4               | 7.41 | 1.63        | 39.2     | 1625                            | 27.7  |
| 8     | 1               | 7.39 | 1.42        | 30.6     | 1627                            | 27.7  |
|       | 4               | 7.36 | 1.1         | 30.1     | 1626                            | 27.7  |
| 9     | 1               | 7.38 | 1.02        | 23.1     | 1609                            | 27.7  |
|       | 4               | 7.4  | 0.96        | 29.3     | 1627                            | 27.7  |
| 10    | 1               | 7.43 | 1.79        | -6.1     | 1629                            | 27.7  |
|       | 4               | 7.39 | 1.4         | 8.2      | 1627                            | 27.8  |

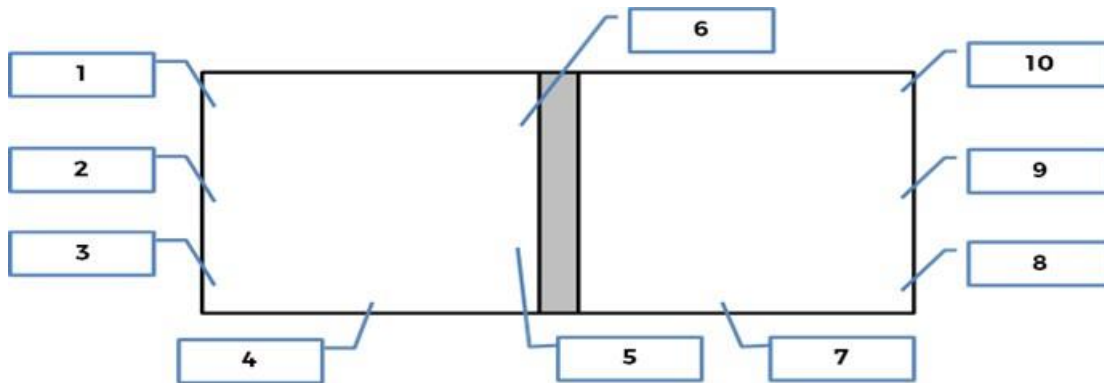
**REACTOR AEROBIO C**



**Tabla 236. Resultados del perfil de pH y OD en el reactor C**

| PUNTO | PROFUNDIDAD (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) | Conductividad eléctrica (µS/cm) | T(°C) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|---------------------------------|-------|
| 1     | 1               | 6.86 | 0.62        | -53.5    | 1220                            | 27.1  |
|       | 4               | 6.86 | 0.46        | -64.4    | 1294                            | 27.1  |
| 2     | 1               | 6.85 | 0.37        | -64.4    | 1293                            | 27.1  |
|       | 4               | 6.84 | 0.4         | -66.3    | 1292                            | 27.1  |
| 3     | 1               | 6.88 | 0.33        | -53.8    | 1292                            | 27.1  |
|       | 4               | 6.84 | 0.4         | -66.3    | 1296                            | 27.1  |
| 4     | 1               | 6.85 | 0.38        | -60.2    | 1283                            | 27.1  |
|       | 4               | 6.86 | 0.36        | -62.3    | 1290                            | 27.1  |
| 5     | 1               | 6.86 | 0.39        | -63.0    | 1282                            | 27.1  |
|       | 4               | 6.84 | 0.37        | -66.3    | 1284                            | 27.1  |
| 6     | 1               | 6.87 | 0.55        | -66.5    | 1282                            | 27.1  |
|       | 4               | 6.81 | 0.35        | -72.4    | 1290                            | 27.1  |
| 7     | 1               | 6.85 | 0.31        | -68.5    | 1291                            | 27.1  |
|       | 4               | 6.84 | 0.30        | -73.1    | 1290                            | 27.1  |
| 8     | 1               | 6.85 | 0.35        | -66.7    | 1292                            | 27.1  |
|       | 4               | 6.83 | 0.31        | -71.5    | 1291                            | 27.1  |
| 9     | 1               | 6.85 | 0.37        | -56.8    | 1282                            | 27.1  |
|       | 4               | 6.83 | 0.30        | -61.2    | 1285                            | 27.1  |
| 10    | 1               | 6.84 | 0.40        | -70      | 1249                            | 27.0  |
|       | 4               | 6.84 | 0.28        | -80      | 1290                            | 27.0  |

**REACTOR AEROBIO D**

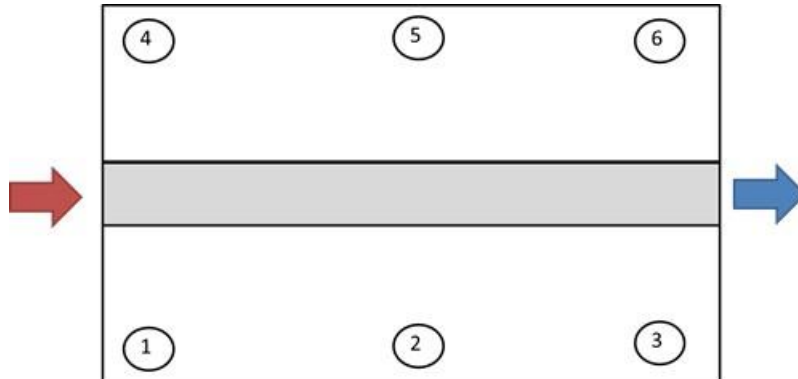


**Tabla 237. Resultados del perfil de pH y OD en el reactor D**

| PUNTO | PROFUNDIDAD (m) | pH   | O.D. (mg/L) | ORP (mV) | Conductividad eléctrica (µS/cm) | T(°C) |
|-------|-----------------|------|-------------|----------|---------------------------------|-------|
| 1     | 1               | 7.33 | 0.04        | -310     | 1375                            | 25.8  |
|       | 4               | 7.55 | -0.4        | -317     | 1370                            | 25.8  |
| 2     | 1               | 7.38 | 0.06        | -303.6   | 1361                            | 25.8  |
|       | 4               | 7.35 | 0.05        | -305.6   | 1361                            | 25.8  |
| 3     | 1               | 7.38 | 0.17        | -312.6   | 1361                            | 25.8  |
|       | 4               | 7.38 | 0.05        | -300.7   | 1359                            | 25.8  |
| 4     | 1               | 7.37 | 1.27        | -307.8   | 1364                            | 25.8  |
|       | 4               | 7.35 | 0.54        | -297.3   | 1361                            | 25.8  |
| 5     | 1               | 7.37 | 2.08        | -299.2   | 1365                            | 25.8  |
|       | 4               | 7.36 | 1.52        | -291.6   | 1364                            | 25.8  |
| 6     | 1               | 7.39 | 1.99        | -302.01  | 1364                            | 25.8  |
|       | 4               | 7.37 | 1.76        | -299.7   | 1350                            | 25.8  |
| 7     | 1               | 7.37 | 1.48        | -300.1   | 1366                            | 25.8  |
|       | 4               | 7.38 | 0.59        | -285.6   | 1364                            | 25.8  |
| 8     | 1               | 7.35 | 2.18        | -299.6   | 1351                            | 25.8  |
|       | 4               | 7.36 | 1.69        | -267.7   | 1351                            | 25.8  |
| 9     | 1               | 7.38 | 1.99        | -296.9   | 1369                            | 25.8  |
|       | 4               | 7.36 | 1.50        | -291.5   | 1370                            | 25.8  |
| 10    | 1               | 7.36 | 1.67        | -296.8   | 1395                            | 25.8  |
|       | 4               | 7.37 | 0.91        | -262.4   | 1377                            | 25.8  |

**b) Determinación del manto de lodos en los sedimentadores secundarios.**

Se determinó el manto de lodos en los sedimentadores secundarios que se encontraron en operación durante la visita de diagnóstico. Se analizaron 6 puntos en los reactores aerobios C, D, F y G de acuerdo a la Figura 714. El muestreo de la profundidad de lodos se realizó mediante un muestreador para manto de lodos (juez) de acrílico.



**Figura 714. Puntos de muestreo en los sedimentadores secundarios.**

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 238. Se observa que en los sedimentadores el manto de lodos es superior a 1 m en todos los puntos, a excepción del punto 3 del sedimentador D. Esto indica una mala operación de los sedimentadores secundarios, ya que se recomienda un manto de lodo máximo de 1 m para evitar acumulación de lodos, lo que produce diversos problemas operativos como son: envejecimiento de lodos, que llevan a un endurecimiento y posterior dificultad para su purga. Acumulación de sólidos que producen natas, la presencia de sólidos suspendidos y la producción de olores. Además, se inicia un proceso anaerobio de descomposición de lodos.

**Tabla 238. Resultados del muestreo de manto de lodos en sedimentadores secundarios.**

| Sedimentador secundario | Profundidad manto de lodos (m) |     |     |     |
|-------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|
|                         | C                              | D   | F   | G   |
| <i>Punto 1</i>          | 1.4                            | 1.9 | 1.8 | 1.7 |
| <i>Punto 2</i>          | 1.3                            | 1.7 | 2.1 | 2.0 |
| <i>Punto 3</i>          | 1.6                            | 0.8 | 1.8 | 1.8 |
| <i>Punto 4</i>          | 1.4                            | 1.8 | 1.9 | 1.9 |
| <i>Punto 5</i>          | 1.5                            | 1.8 | 2.2 | 2.1 |
| <i>Punto 6</i>          | 1.6                            | 1.9 | 1.8 | 1.8 |



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



## **4 DIAGNÓSTICO DE PERSONAL**

### **4.1 Recursos Humanos**

A continuación, se presenta el resultado del análisis del personal que labora en la PTAR Agua prieta. Esta información corresponde a la obtenida a través del FORMATO 03. RECURSOS HUMANOS que se encuentra en el ANEXO A.

La plantilla de la PTAR está conformada por 34 personas quienes se encargan de la operación y mantenimiento de la Planta.

- 5 administrativos
- 11 operadores
- 8 de mantenimiento
- 3 de laboratorio
- 7 otros puestos

Se observa que 6 operadores tienen más de 3 años de antigüedad laboral, 6 personas de mantenimiento tienen más de 3 años trabajando en la PTAR, destacando 3 personas con más de 8 años de experiencia. Los laboratoristas tienen más de 3 años de antigüedad, lo que refleja una continuidad en el personal que opera la Planta.

Se puede establecer que el personal cuenta con la experiencia suficiente para operar adecuadamente los procesos dentro de la PTAR y que se ha dado una continuidad a la plantilla laboral.

### **4.2 Evaluación de conocimientos**

Para la evaluación de conocimientos de la plantilla laboral se tomó como base el FORMATO 04 EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS, que se encuentra en el Anexo IV Formatos llenados en campo.

Durante la evaluación de conocimiento del personal que opera la PTAR, el personal administrativo no presentó la evaluación. Con respecto al personal operativo, laboratoristas y de mantenimiento sólo se presentaron 9 evaluaciones, en las que no se indicó el puesto del personal.

Los resultados de las evaluaciones recibidas arrojaron:

- 6 personas con calificación aprobatoria, destacando 3 personas con calificación muy buena. Asimismo, 3 personas respondieron muy pocas preguntas, lo que revela una falta de conocimientos sobre el tema.

Es importante mencionar que las personas con mayor experiencia son las que presentaron las mejores calificaciones, lo que revela su experiencia laboral. Asimismo, destaca una deficiencia en conocimientos sobre parámetros de control de los procesos biológicos, por lo que se recomienda realizar capacitación sobre control de procesos de lodos activados.

### **4.3 Capacitación**

#### **4.3.1 Cursos de capacitación recibidos**

El personal de la planta refirió haber recibido capacitación sobre diversos temas de calidad, seguridad e higiene y mantenimiento. Destacando los siguientes:

- ISO9001 2015
- Seguridad eléctrica
- Trabajo en espacios confinados
- Brigada de búsqueda y rescate
- Control de incendios
- Seguridad en laboratorio
- Integración y manejo de emergencias
- Manejo de residuos peligrosos
- LOTO

Es importante mencionar, que la mayoría de los cursos recibidos son sobre seguridad e higiene, por lo que destaca la ausencia de capacitación en temas de tratamiento, operación y mantenimiento, que resultan fundamentales para las actividades realizadas por el personal.

#### **4.3.2 Temas de capacitación solicitados**

Los temas de capacitación que se solicitaron por la mayoría del personal consultado fueron:

- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento mayor
- Tratamiento de aguas residuales
- Cogeneración de energía

- Operación FP
- Interpretación de resultados de laboratorio
- Programación PLC
- Combate de incendios
- Primeros auxilios
- Búsqueda y rescate
- Habilidades gerenciales
- Comunicación asertiva
- Compras y requisiciones
- Gestión de proyectos

El 50% de los cursos de capacitación solicitados son sobre temas de mantenimiento, tratamiento de aguas residuales, interpretación de resultados de laboratorio y programación en PLC, es decir, en temas relacionados con el qué hacer diario del personal, lo que concuerda con lo mencionado en los apartados anteriores.

El 25 % de los cursos solicitados tienen que ver con seguridad e higiene y el 25% con temas administrativos.

#### **4.3.3 Material didáctico entregado**

Para solventar un poco la problemática sobre material para la capacitación continua, se entregó el siguiente material didáctico en la PTAR.

- a) Manuales: El contenido de cada uno de ellos se encuentra en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1m9GYeDsYFscSYAuUpRM5BV8VBsYqT-o8?usp=sharing>
- b) Infografías
- c) Manual de ejercicios prácticos

Los Manuales constan de 6 tomos cuyas temáticas son las siguientes (Figura 715).

- a) Indicadores sensoriales
- b) Indicadores analíticos
- c) Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
- d) Calidad del agua
- e) Control del proceso
- f) Seguridad e higiene





**Figura 715. Portada de los manuales.**

Se elaboraron 15 infografías con la información de los manuales, las cuales se mencionan a continuación (Figura 716):

- a) Arranque de una PTAR de lodos activados
- b) Higiene y seguridad
- c) Indicadores analíticos A
- d) Indicadores analíticos B
- e) Indicadores sensoriales A
- f) Indicadores sensoriales B
- g) Índice volumétrico de lodos

- h) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-001-SEMARNAT-1996
- i) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-002-SEMARNAT-1996
- j) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-003-SEMARNAT-1997
- k) Parámetros de calidad del agua
- l) Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados
- m) Problemas frecuentes en un sistema de lodos activados
- n) Relación alimento/microorganismos
- o) Sistema mecanizado de tratamiento de aguas residuales

## ARRANQUE DE UNA PTAR DE Lodos Activados

**Revisión del equipo electromecánico**

Realizar un listado de todos los equipos electromecánicos por unidad de proceso. Realizar una prueba de arranque y paro, verificando el giro de motores y si es posible amperaje, esto con la finalidad de que no este obstruido o pegado el motor.

**Revisión hidráulica de los tanques**

- Realizar el llenado de las unidades para verificar que no existan fugas o grietas en las paredes.
- El agua será transferida de tanque en tanque.
- Para realizar esta actividad es necesario contar con planos de cada una de las unidades de proceso, para señalar o marcar y describir en estos las fallas que se consideren pertinentes.

**No arrancar si faltan equipos y detalles de construcción**

El arranque de un proceso de lodos activados, se lleva tiempo y deben tenerse ciertos cuidados para lograr su estabilización, así como un buen funcionamiento del proceso. Se recomienda realizarlo en verano.

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lodos activado se puede realizar bajo **dos escenarios, con y sin inóculo**, siendo considerado éste último como una situación difícil.

**ARRANQUE SIN INÓCULO**

**DÍAS**

- Introducir agua residual al reactor biológico hasta un cuarto de su capacidad y arrancar la unidad de aereación. Al no estar microorganismos en el sistema, se generará una gran cantidad de espuma.
- Llenar reactor biológico a un 50% y continuar con la aereación.
- Llenar reactor biológico a un 70% y continuar con la aereación.
- Llenar reactor biológico a un 100% y continuar con la aereación.
- Realizar con un flujo continuo de agua residual a 20% del flujo de diseño. Iniciar operación en el sedimentador secundario con recirculación al 100%. Analizar SOTL y DSVLM para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras del agua residual cruda y tratada para determinar DBO y DQO y SST, para establecer la eficiencia del proceso.
- Aumentar el flujo de agua residual al 50%.
- Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- Aumentar el flujo de agua residual al 70%.
- Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- Aumentar el flujo de agua residual al 100%.
- Calcular recirculación y purga de lodos y realizar los ajustes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**ARRANQUE CON INÓCULO**

**Cálculo de requerimiento de inóculo**

**Datos:**  
El reactor biológico tendrá 1 500 m<sup>3</sup>, (15 000 gal) de SOTL.M y un volumen de 8 354 m<sup>3</sup> (81 000 gal) de lodos proveniente de la recirculación, con una concentración de 8 760 mg/L (8.76 kg/m<sup>3</sup>).

**Cálculos:**  
Masa requerida = 3.5 kg/m<sup>3</sup> x 8 354 m<sup>3</sup> = 29 239 kg  
Volumen requerido = 29 239 kg / 8.76 kg/m<sup>3</sup> = 3 338 m<sup>3</sup>  
Se inoculará con el 30% = 9 815 m<sup>3</sup>. En la práctica como mínimo se recomienda no menos del 5%.

**DÍAS**

- Llenar el reactor biológico con agua residual, al mismo tiempo agregar el inóculo, y arrancar la unidad de aereación, iniciar con un flujo de agua residual del 20%. La recirculación en el sedimentador secundario debe ser del 100%. Monitorear la formación de la espuma y contener su desarrollo. Analizar SOTL.M y DSVLM para estimar el desarrollo de la biomasa. Tomar muestras del agua residual cruda y tratada para determinar DBO o DQO y SST, y establecer la eficiencia del proceso.
- Aumentar el flujo al 50%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- Aumentar el flujo al 100%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**Es difícil disminuir cuando termina el arranque y cuando inicia la operación normal.**

- Concentraciones de los parámetros de calidad del agua de efluente.
- Similares durante varios días, tal vez indican una operación normal.
- Disminuyen valores muy cercanos a los de diseño.
- Parámetros de control de operación muy cercanos a los de diseño.

## HIGIENE Y SEGURIDAD

La higiene y seguridad deben iniciar por uno mismo y mantenerse para prevenir enfermedades y accidentes en el lugar de trabajo.

**Comité de higiene y seguridad**

Las actividades del comité son:

- Realizar inspecciones
- Desarrollo del manual de higiene y seguridad
- Procesar y sugerir capacitación
- Conducir investigaciones de accidentes e lesiones

La capacitación es importante y sirve de medida preventiva contra accidentes e enfermedades.

**Programas**

Los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento:

- Políticas por escrito de higiene y seguridad
- Comités de higiene y seguridad
- Capacitación en higiene y seguridad

**Medidas de higiene**

**Hepatitis A**  
**Hepatitis B**  
**Influenza**  
**Sarampión**  
**Papera**  
**Neumonía**  
**Rubéola**  
**Tétanos**  
**Difteria**

**Norma Oficial Mexicana NOM-071-STPS-2001**  
Equipo de protección personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

**Objetivo:** Establecer los requisitos para la selección, uso y manejo de equipos de protección personal para proteger a las trabajadoras de los agentes del medio ambiente de trabajo que puedan dañar su salud.

**Propósito:** Promover a las trabajadoras el uso de protección personal que cumpla con las siguientes condiciones:

- Que atienda la exposición al trabajador con los agentes de riesgo.
- Que sea cómoda de usar personal.
- Que esté acorde a las necesidades físicas de las trabajadoras.
- Que cuente con las instrucciones, la información y los procedimientos del fabricante que en sus IDIOMAS, INSTRUCCIONES, INSTRUCCIONES, ENTRENAMIENTO, SEGURO Y EDUCACIÓN PPA.

**La mejor defensa contra infecciones virales y bacterianas es la observación de prácticas de higiene personal, por lo que se debe:**

- Mantener manos y dedos lejos de la nariz, boca, ojos y oídos.
- Usar guantes de hule cuando se limpien bombas o equipos, se maneje agua residual, efluentes, lodos o arena, u otras tareas que involucren contacto directo con las aguas residuales o lodos.
- Lavarse las manos con jabón, preferentemente con agua caliente, antes de comer o fumar y después de terminar los trabajos.
- Mantener las uñas cortas y remover los materiales extraños que se introducen en las uñas.
- Se recomienda al salir de las plantas usar trabajador una para guardar ropa de calle y limpia y usar la ropa de trabajo.
- Bañarse al finalizar su turno de trabajo.

| Clase y región anatómica | Clase y tipo                 | Tipo de riesgo en función de la actividad  |
|--------------------------|------------------------------|--|
| Cabeza                   | Casco contra impacto         | Golpeado por algo que sea una posibilidad de riesgo con suficiente energía para causar lesiones.                   |
| Ojos y cara              | Antifaz de protección        | En caso de estar expuesto a radiaciones en un área restringida de protección contra la radiación.                  |
| Oídos                    | Tapones auditivos            | Protección contra riesgo de pérdida de audición al estar expuesto a ruidos que excedan el nivel de exposición.     |
| Aparato respiratorio     | Respirador contra partículas | Protección contra polvo y partículas en el medio ambiente laboral para prevenir o mitigar la salud del trabajador. |
| Extremidades superiores  | Guantes                      | Protección contra riesgo de pérdida de función de las manos, brazos, muñecas, codo, antebrazo y dedos de la mano.  |
| Tronco                   | Overol                       | Protección de la piel en caso de exposición a sustancias que causen quemaduras o irritación de la piel.            |
| Extremidades inferiores  | Botas de seguridad           | Protección a la pierna contra golpes, voladuras, etc.  |

# INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para:

- Monitoriar el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

### DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (degradar) la materia orgánica.

Es la materia orgánica biodegradable (BOD) que entra en la PTAR.

Remoción de DBO >90% indica que la PTAR opera bien.

Remoción de DBO <80% danotan problemas en la PTAR.

Debe existir un balance entre la cantidad de alimento que entra y los microorganismos presentes en el reactor biológico.

### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica por medio de reacciones químicas.

La relación DQO/DBO se obtiene monitoreando los dos parámetros durante un largo periodo de tiempo para establecer su tendencia o comportamiento.

Con esta relación, y considerando la DBO se calcula la DBO, ahorros de cinco días de esperar.

DQO/DBO >2 indica desechos industrial pero biodegradable.

Tratamiento físico-químico.

DQO/DBO <2 indica desechos urbana biodegradable.

Tratamiento biológico.

### FLUJO DE AGUA

El operador tiene el control de la cantidad de agua que ingresa a la PTAR.

Se simplifica para el control del proceso para evaluar la carga orgánica, AM, TMO, TDA, y que la recirculación por la de todos y dosificación de productos químicos.

Contar con un "by pass", para poderle manejar si da diseño.

Se debe contar con un equipo medidor de gasto continuo.

### GRASAS Y ACEITES

En sueldos a los microorganismos, interfiriendo con la transferencia de materia orgánica soluble a través de su pared celular, por lo cual muestran por falta de alicornio.

Cu A entre 100 y 150 mg/L, empiezan a los lodos a la superficie del sedimentador secundario.

Cu A > 150 mg/L, se presenta aglomeración de lodos en el reactor biológico, lo que ocasiona pérdida de SOT y una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica.

### TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICO

Tiempo que permanece cierta cantidad de agua en un tanque.

En el tanque de aeración los microorganismos necesitan tiempo de retención para seguir y digerir la materia orgánica soluble.

| Unidad                  | Indicador                                    | TDR de diseño | Indicador         |
|-------------------------|--|---------------|-------------------|
| Reactor biológico       | Despección anómala de los sedimentarios      | 10 días       | Reactor biológico |
| Sedimentador secundario | Despección anómala de los SOT en el efluente | 10 días       | Reactor biológico |

# INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para:

- Monitoriar el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

### TEMPERATURA

Rango óptimo para la actividad bacteriana aerobia: 20 - 32°C

| Actividad de microorganismos | Alta      | Baja       |
|------------------------------|-----------|------------|
| Desarrollo                   | Rápido    | Lento      |
| En la actividad              | Disminuye | Incrementa |

El aire de un soplador puede incrementar la temperatura del agua hasta en 2°C. Se debe a que pueden salir alrededor de los 100°C.

En un proceso que nitrifica se espera un descenso de pH 0.2 a 0.5 unidades, entre el agua de entrada y la de salida.

### OXIGENO DISUELTUO (OD)

De 1 a 2 mg/L OD residual satisfacen el ingreso de una carga orgánica alta.

- La falta de un OD residual, inhibirá la actividad microbiana y disminuirá la remoción de materia orgánica.
- Un OD residual mayor a 3 mg/L, ocasionará problemas, ya que la mezcla rompe los flocos, esta situación desperdicia energía y dinero.

### pH

Rango óptimo para asegurar la actividad y el desarrollo de los microorganismos en tanques de aeración: 6.5 a 8.5 unidades.

Por arriba o por abajo de 5.0 a 10.0 unidades la población biológica muere.

| Actividad de microorganismos | Alta      | Baja       |
|------------------------------|-----------|------------|
| Desarrollo                   | Rápido    | Lento      |
| En la actividad              | Disminuye | Incrementa |

### CONSUMO DE OXÍGENO

Permite conocer la actividad microbiana en el reactor biológico al medir la velocidad de consumo de oxígeno.

- Actividad microbiana alta o ingreso una alta carga orgánica o hay demasiados microorganismos.
- Comportamiento ideal, consumo en los primeros minutos alto, pero con el tiempo se estabiliza y sin llegar a un valor de cero.
- Consumo de oxígeno lento y estabilizado se hace sostenido, denota presencia de pocos microorganismos, o una cantidad crítica que limita su respiración.
- El nivel consumo de oxígeno, la actividad microbiana se reduce, indica que ocurrió una toxicidad aguda.

### SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y VOLÁTILES

Los SST se emplean para los ajustes de recirculación y de purga de lodos.

Los SVI indican indirectamente la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de aeración.

Los SVI se emplean para calcular la relación de alimentos microorganismos (AM) y el tiempo de retención celular (TRMC).

# INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Material flotante

- Indicador de altas concentraciones de grasas y aceites.
- Interfiere con la sedimentación y puede causar bajas eficiencias de remoción de DBO.

### Acumulación de sólidos

- Su origen se debe a una operación ineficiente del desarenador o del sedimentador primario o secundario.
- Reduce el volumen efectivo de las unidades de proceso afectando su eficiencia.
- Generan zonas anaerobias que provocan problemas de sedimentación y mal olor.

### Traectoria de flujos

- La observación de la trayectoria del flujo se utiliza para detectar cortocircuitos.
- Los cortocircuitos son visibles al observar el movimiento de la espuma, sólidos suspendidos o material flotante.
- Problemas: reducción de tiempos de retención hidráulico, generando operación inadecuada.

### Mezcla y turbulencia

- Un tanque bien mezclado presenta uniformidad de concentraciones en todo su volumen.
- Indicadores de mezclado en el reactor biológico: formación de depósitos de sólidos en las esquinas. Zonas con concentraciones de OD de cero. Diferencia de concentraciones entre zonas en OD o de SVI.
- Turbulencias no uniformes o de baja turbulencia pueden ser causadas por: Difusores obstruidos, Difusores dañados, Exceso de aeración, Escalas de sarajón.

### Burbujeo

- En el sedimentador secundario indican que el lodo tiene mucho tiempo de retención (desnitrificación) se debe incrementar la recirculación de lodo.
- En canales, desarenadores y tanque de contacto de cloro con limpieza deficiente se presenta acumulación de sólidos y condiciones anaerobias, que generan burbujas y arrastre de sólidos.

# INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Color

- Lodo activado aerado en buenas condiciones: Color café ahumado.
- Es un indicativo del estado de salud del lodo.
- Las condiciones de alimento proporcionan diferentes tonalidades.
- Las condiciones ambientales le dan diferente tono de color café.

### Olor

- Una PTAR bien operada no genera malos olores.
- Un proceso de lodos activados saludable tiene un ligero olor a humedad (tierra mojada).
- Un lodo séptico, cambia su color a oscuro y el olor es similar al del huevo podrido.

### Tacto

- Una temperatura o vibración excesiva en equipos electrónicos y tuberías advierten un mal funcionamiento.

### Algas

- Su crecimiento en las paredes de los tanques o en las canalas recolectoras indica que altos niveles de nutrientes.

### Turbiedad del efluente

- Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario o en el tanque de contacto de cloro indican un mal funcionamiento de la PTAR.

### Espuma

- Color café obscuro: Se puede presentar en el reactor biológico y en el sedimentador secundario y se debe a un alto contenido de grasas y aceites que interfiere a los microorganismos y los flocos.
- Color café claro: Las rebabas de sólidos no son adecuadas. El lodo necesita la edad requerida, se joven.
- Color blanco: En tanque de regulación, reactor biológico y efluente alta concentración de detergentes. Es una condición específica del arranque de una planta. Se presenta en los reactores por las mañanas y con mayor impacto en invierno, debido a que la temperatura afecta la actividad metabólica de los microorganismos y no degradan los detergentes.

## ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)

- IVL (mL/g) = Volumen de lodos sedimentados (mL)/concentración de SSTLM (g/L)
- El volumen de lodos sedimentados se determina en una probeta de 1 L después de 30 minutos.
- Los valores de IVL están comprendidos dentro del intervalo 150 a 35 mL/g

**Demasiado joven**

- Aumentar la recirculación
- Eliminar la purga

**Edad adecuada**

**Demasiado viejo**

- Reducir al mínimo la recirculación
- Aumentar la purga

Tiempo (min)

Se registra el volumen del lodo cada 5 minutos

Los datos se graficarán para obtener una curva de sedimentabilidad, que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el reactor biológico.

Durante la prueba se podrá apreciar la forma del floculo, su color y olor

El aspecto final de la prueba da una idea de lo que se espera en el sedimentador secundario

La información de esta prueba ayudará a conocer el comportamiento del sistema y a detectar problemas operacionales

gob.mx/imta

# NORMATIVA MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

## NOM-001-SEMARNAT-1996

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

• Con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS

### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS

| PARÁMETROS                    | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES |      |                           |      |                        |      |                                 |      |                           |      |                        |      | AGUAS COSTERAS                                    |      |                |      | SUELO         |      | PARÁMETROS (*) | RÍOS                      |      |                         | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES |  |      | AGUAS COSTERAS            |      |                        |      | SUELO                           |      |                           |      |                        |      |   |      |                |      |               |      |                           |      |                         |    |    |    |     |
|-------------------------------|-----------------------------------|------|---------------------------|------|------------------------|------|---------------------------------|------|---------------------------|------|------------------------|------|---|------|----------------|------|---------------|------|----------------|---------------------------|------|-------------------------|-----------------------------------|--|------|---------------------------|------|------------------------|------|---------------------------------|------|---------------------------|------|------------------------|------|---|------|----------------|------|---------------|------|---------------------------|------|-------------------------|----|----|----|-----|
|                               | RÍOS                              |      | Uso en riego agrícola (A) |      | Uso público urbano (B) |      | Protección de vida acuática (C) |      | Uso en riego agrícola (B) |      | Uso público urbano (C) |      | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) |      | Recreación (B) |      | Estuarios (B) |      |                | Uso en riego agrícola (A) |      | Humedales Naturales (B) |                                   | Miligramos por litro, excepto cuando se especifique) |      | Uso en riego agrícola (A) |      | Uso público urbano (B) |      | Protección de vida acuática (C) |      | Uso en riego agrícola (B) |      | Uso público urbano (C) |      | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) |      | Recreación (B) |      | Estuarios (B) |      | Uso en riego agrícola (A) |      | Humedales Naturales (B) |    |    |    |     |
|                               | P.M.                              | P.D. | P.M.                      | P.D. | P.M.                   | P.D. | P.M.                            | P.D. | P.M.                      | P.D. | P.M.                   | P.D. | P.M.  | P.D. | P.M.           | P.D. | P.M.          | P.D. | P.M.           | P.D.                      | P.M. | P.D.                    | P.M.                              | P.D.   | P.M. | P.D.                      | P.M. | P.D.                   | P.M. | P.D.                            | P.M. | P.D.                      | P.M. | P.D.                   | P.M. | P.D.  | P.M. | P.D.           | P.M. | P.D.          | P.M. | P.D.                      | P.M. | P.D.                    |    |    |    |     |
| Temperatura (°C) (1)          | NA                                | NA   | 40                        | 40   | 40                     | 40   | 40                              | 40   | 40                        | 40   | 40                     | 40   | 40  | 40   | 40             | 40   | 40            | 40   | 40             | 40                        | 40   | 40                      | 40                                | 40   | 40   | 40                        | 40   | 40                     | 40   | 40                              | 40   | 40                        | 40   | 40                     | 40   | 40  | 40   | 40             | 40   | 40            | 40   | 40                        | 40   | 40                      | 40 | 40 |    |     |
| Grasas y Aceites (2)          | 15                                | 25   | 15                        | 25   | 15                     | 25   | 15                              | 25   | 15                        | 25   | 15                     | 25   | 15  | 25   | 15             | 25   | 15            | 25   | 15             | 25                        | 15   | 25                      | 15                                | 25   | 15   | 25                        | 15   | 25                     | 15   | 25                              | 15   | 25                        | 15   | 25                     | 15   | 25  | 15   | 25             | 15   | 25            | 15   | 25                        | 15   | 25                      | 15 | 25 | 15 | 25  |
| Materia Flotante (3)          | Ausente                           |      |                           |      |                        |      |                                 |      |                           |      |                        |      |   |      |                |      |               |      |                |                           |      |                         |                                   |  |      |                           |      |                        |      |                                 |      |                           |      |                        |      |   |      |                |      |               |      |                           |      |                         |    |    |    |     |
| Sólidos Sedimentables (mg/l)  | 1                                 | 2    | 1                         | 2    | 1                      | 2    | 1                               | 2    | 1                         | 2    | 1                      | 2    | 1   | 2    | 1              | 2    | 1             | 2    | 1              | 2                         | 1    | 2                       | 1                                 | 2  | 1    | 2                         | 1    | 2                      | 1    | 2                               | 1    | 2                         | 1    | 2                      | 1    | 2   | 1    | 2              | 1    | 2             | 1    | 2                         | 1    | 2                       | 1  | 2  | 1  | 2   |
| Sólidos Suspendidos Totales   | 150                               | 200  | 75                        | 125  | 40                     | 60   | 75                              | 125  | 40                        | 60   | 75                     | 125  | 40  | 60   | 75             | 125  | 40            | 60   | 75             | 125                       | 40   | 60                      | 75                                | 125  | 40   | 60                        | 75   | 125                    | 40   | 60                              | 75   | 125                       | 40   | 60                     | 75   | 125   | 40   | 60             | 75   | 125           | 40   | 60                        | 75   | 125                     | 40 | 60 | 75 | 125 |
| Demanda Bioquímica de oxígeno | 150                               | 200  | 75                        | 150  | 30                     | 60   | 75                              | 150  | 30                        | 60   | 75                     | 150  | 30  | 60   | 75             | 150  | 30            | 60   | 75             | 150                       | 30   | 60                      | 75                                | 150  | 30   | 60                        | 75   | 150                    | 30   | 60                              | 75   | 150                       | 30   | 60                     | 75   | 150   | 30   | 60             | 75   | 150           | 30   | 60                        | 75   | 150                     | 30 | 60 | 75 | 150 |
| Nitrógeno Total               | 40                                | 60   | 40                        | 60   | 15                     | 25   | 40                              | 60   | 15                        | 25   | 40                     | 60   | 15  | 25   | 40             | 60   | 15            | 25   | 40             | 60                        | 15   | 25                      | 40                                | 60   | 15   | 25                        | 40   | 60                     | 15   | 25                              | 40   | 60                        | 15   | 25                     | 40   | 60  | 15   | 25             | 40   | 60            | 15   | 25                        | 40   | 60                      | 15 | 25 | 40 | 60  |
| Fósforo Total                 | 20                                | 30   | 20                        | 30   | 5                      | 10   | 20                              | 30   | 5                         | 10   | 20                     | 30   | 5   | 10   | 20             | 30   | 5             | 10   | 20             | 30                        | 5    | 10                      | 20                                | 30   | 5    | 10                        | 20   | 30                     | 5    | 10                              | 20   | 30                        | 5    | 10                     | 20   | 30  | 5    | 10             | 20   | 30            | 5    | 10                        | 20   | 30                      | 5  | 10 | 20 | 30  |

(1) Instantáneo (2) Muestra Simple Promedio Ponderado (3) Asentamiento al Método de Trübs del lodo en la NMX-AA-005-PD-1996 (4) No se aplica (5) Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos (6) Medida de manera total

- pH de 5 a 10
- Para determinar la contaminación por patógenos: Coliformes Fecales, LMP para descargas a aguas y bienes nacionales y para las vertidas al suelo (riego agrícola):
  - 1000 NMP/100 ml. como P.M.
  - 2000 NMP/100 ml. como P.D.
- Para determinar la contaminación por parásitos: Huevos de Helminto, LMP para descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola):
  - 1 H.H. para riego no restringido (CUALQUIER CULTIVO)
  - 5 H.H. para riego restringido (excepto legumbres y verduras que se consumen crudas)

## NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

NOM-002-SEMARNAT-1996

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal

Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y en observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C.

Los límites máximos permisibles para los parámetros DBO y SST son los establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997.



El rango permisible de pH de 10 y 5.5 unidades.

La materia flotante debe estar ausente.

No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos considerados peligrosos, conforme a la regulación.

### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

| Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | Promedio mensual | Promedio diario | Instantáneo |
|---|------------------|-----------------|-------------|
| Grasas y aceites  | 50               | 75              | 100         |
| Sólidos sedimentables (mililitros por litro)                          | 5                | 7.5             | 10          |
| Arsénico total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cadmio total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cianuro total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Cobre total   | 10               | 15              | 20          |
| Cromo hexavalente   | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Mercurio total  | 0.01             | 0.015           | 0.02        |
| Níquel total  | 4                | 6               | 8           |
| Plomo total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Zinc total  | 6                | 9               | 12          |

## NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

NOM-003-SEMARNAT-1997

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público

Con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.

**REUSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO**  
Es el que se destina a actividades donde el público usuario está expuesto directamente o en contacto físico. Se consideran los siguientes reusos:

**REUSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL**  
Es el que se destina a actividades donde el público en general está expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. Se consideran los siguientes reusos:



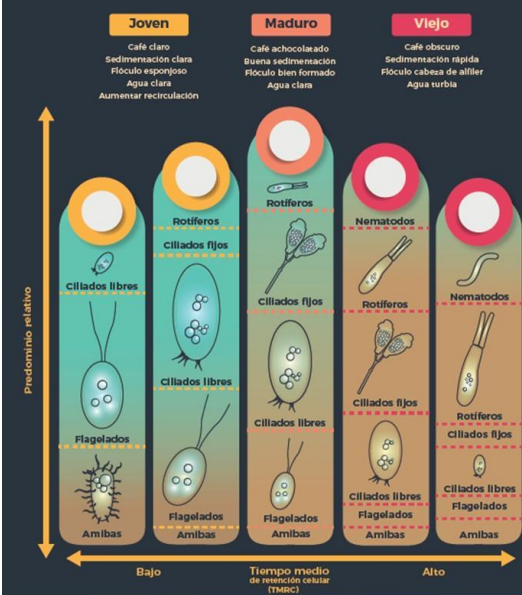
| TIPO DE REUSO   | PROMEDIO MENSUAL               |                         |                         |                         |            |
|---|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
|   | Coliformes Fecales (NTU/100ml) | Número de Hechizo (P/N) | Grasas y aceites (mg/l) | DBO <sub>5</sub> (mg/l) | SST (mg/l) |
| Servicios al público con contacto directo               | 240                            | ≤ 1                     | 15                      | 20                      | 20         |
| Servicios al público con contacto indirecto u ocasional | 1,000                          | ≤ 5                     | 15                      | 30                      | 30         |

- La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada.
- El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

## PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

| PARÁMETRO                      | ABREVIACIÓN   | IMPORTANCIA  |  |
|--------------------------------|---|--|--|
| Sólidos totales                | ST  | Para evaluar el uso potencial de un agua residual y residual tratada, y determinar el posible tipo de operación o proceso para su tratamiento.   |  |
| Sólidos volátiles totales      | SVT   |  |  |
| Sólidos fijos totales          | SFT   |  |  |
| Sólidos suspendidos totales    | SST   |  |  |
| Sólidos suspendidos volátiles  | SSV   |  |  |
| Sólidos suspendidos fijos      | SSF   |  |  |
| Sólidos disueltos totales      | SDT   |  |  |
| Sólidos disueltos volátiles    | SDV   |  |  |
| Sólidos sedimentables          | Ssed  |  |  |
| Turbiedad                      | T   |  | Su determinación es por gravedad por un periodo específico de tiempo.                        |
| Color                          | C   | Usado para evaluar la calidad del agua residual tratada.   |  |
| Oloro                          | O   | Para evaluar las condiciones del agua.   |  |
| Temperatura                    | T   | Para determinar si el olor puede ser un problema.  |  |
| Conductividad                  | CE  | Es importante en el diseño y operación de procesos de tratamiento biológico.   |  |
| Amoníaco libre                 | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | Importancia para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.   |  |
| Nitrogeno orgánico             | N Org   | Empleados como una medida de nutrientes presentes y del grado de descomposición en el agua residual. Las formas oxidadas pueden ser tomadas como una medida del grado de oxidación.                                      |  |
| Nitrogeno total Kjeldahl       | NTK   |  |  |
| Nitritos                       | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  |  |  |
| Nitrosos                       | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  |  |  |
| Nitrogeno total                | NT  |  |  |
| Fósforo inorgánico             | P Inorg   |  |  |
| Fósforo total                  | PT  |  |  |
| Fósforo orgánico               | P Org   |  |  |
| pH                             |   |  | Importante para el desarrollo de los microorganismos en un proceso de tratamiento biológico. |
| Alcalinidad                    |   |  | Una medida de la capacidad de amortiguamiento del agua en un proceso de tratamiento.         |
| Cloruro                        | Cl <sup>-</sup>   | Empleado para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.  |  |
| Sulfato                        | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>                                       | Para evaluar la potencialidad de generar olores y su impacto en el tratamiento de lodos residuales.  |  |
| Metales                        | Ag, As, Cd, Ca, Cl, Cu, Fe, Pb, Hg, Mn, Ni, P, K, Mo, N, Se, Sb, Zn | Para evaluar la potencialidad de reuso del agua residual tratada y sus efectos tóxicos en el tratamiento. Cantidades traza pueden ser importantes para el desarrollo de los microorganismos en un tratamiento biológico. |  |
| Demanda bioquímica de oxígeno  | DBO   | Cantidad de oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica biodegradable.  |  |
| Demanda química de oxígeno     | DQO   | A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO. Puede ser usado junto con la DBO para determinar la materia orgánica no biodegradable.  |  |
| Carbono orgánico total         | COT   | A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO.   |  |
| Toxicidad                      |   | Toxicidad aguda o crónica ocasionada por presencia de metales o COV.   |  |
| Compuestos orgánicos volátiles | COV   | Para determinar la presencia de compuestos orgánicos específicos y evaluar si se requerirán medidas especiales de diseño para su remoción.   |  |
| Organismos coliformes          | CT, CF  | Para evaluar la presencia de bacterias patógenas y la efectividad del proceso de desinfección.   |  |
| Microorganismos específicos    | Bacterias, protozoarios, helmintos, virus                           | Evaluación de la presencia de organismos específicos en un proceso de tratamiento biológico.   |  |

## Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados



## PROBLEMAS FRECUENTES EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

| Problema  | Causas   | Observación  |
|---|--|--|
| Efluente turbio, ausencia de flocúlos sedimentables o dispersos en el medio, o esponjosos   | Alta A/M, elevada temperatura de entrada, fase inicial del sistema, elevada DBO                            | Ausencia de flocúlos, células dispersas en el medio líquido, no ocurre biofloculación  |
| Pérdida permanente de pequeños flocúlos con el efluente final, IVL bajo (<100 mL/g)   | Excesiva turbulencia o tiempo de retención celular elevado, lodo mineralizado, baja F/M                    | Flocúlos muy pequeños, débiles, como cabeza de alfiler   |
| Estrato de lodo espeso en la superficie del sedimentador  | Surgimiento del lodo desde el fondo del sedimentador por desnitrificación, exceso de turbulencia, algas    | Flocúlos ricos en burbujas de gas con o sin filamentos, espuma y lodo de igual aspecto   |
| Espuma sutil, blanquecina, inestable sobre la superficie del agua   | Presencia de sustancias difícilmente biodegradables, tensioactivas   | Ninguna influencia sobre las estructuras de los flocúlos   |
| Espuma espesa amarillada, estable principalmente en el tanque aerobio   | Presencia de bacterias filamentosas u hongos actinomicetos. Formación de espuma                            | Espuma rica de Nocardio, Microthrix parvicella o Tipo 1863   |
| Lodo de consistencia gelatinosa, IVL alto, espuma grisácea en el tanque aerobio, pérdida de flocúlos en el efluente final   | Agglomerado viscoso o no filamentosos, carencia de nutrientes y alto F/M                                   | Flocúlos ricos en formas zoogleales y presencia de polisacáridos exocelulares evidenciados con la prueba de tinta china. Presencia de Thrauxia sp.   |
| IVL alto o muy alto (>150 mL/g), dificultad para separar fase líquida de sólida, inicio con un efluente limpio de excelente calidad hasta la pérdida masiva de flocúlos. Lodo de recirculación poco concentrado | Presencia de bacterias filamentosas en exceso. Las causas varían en relación al tipo de organismo presente | Flocúlos con crecimiento de filamentosas desde la periferia hacia el líquido circundante, puentes entre flocúlos o filamentosos creciendo en el interior y definiendo la forma de los flocúlos, o en tramas que dejen espacios vacíos en su estructura |

## RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

**Flocúlo disperso**

- Sedimentación pobre
- Falta alimento
- Exceso de SSV
- Aumentar purga

**Lodo floculante**

- Intervalo óptimo de sedimentación

**Lodo esponjoso**

- Sedimentación pobre
- Sobra alimento
- Faltan SSV
- Aumentar recirculación

$$\frac{A}{M} = \frac{\text{kgDBO}}{\text{kgSSVd}}$$

Lodos activados convencional

Lodos activados aeración extendida

## SISTEMA MECANIZADO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

**FUNCIÓN**

**INFLUENTE**

Remoción de sólidos gruesos (basura) → **REJILLAS**

Remoción de gravas y → **DESARENADOR**

Regulación del gasto de entrada, homogeneización de la calidad del agua → **REGULACIÓN**

Medición de la cantidad de agua que ingresa → **MEDICIÓN**

Remoción de material flotante y sedimentable → **SED. PRIMARIO**

Estabilización biológica de la materia orgánica → **REACTOR BIOLÓGICO**

Clarificación del agua residual tratada → **SED. SECUNDARIO**

Eliminación de bacterias patógenas (coliformes fecal-) → **DESINFECCIÓN**

**EFLUENTE**  
DISPOSICIÓN O REÚSO

**TRATAMIENTO**

**PRE**

**PRIMARIO** → **ESPEADOR**

**SECUNDARIO** → **DIGESTOR**

**TERCIARIO** → **DESHIDRATACIÓN**

**DISPOSICIÓN O REÚSO**

**FUNCIÓN**

- Eliminación de agua
- Concentración de sólidos
- Estabilización biológica
- Mineralización de microorganismos
- Eliminación de agua
- Concentración de sólidos

Figura 716. Infografías.

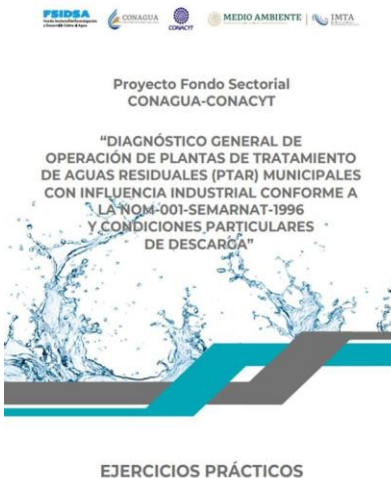
En el Manual de ejercicios prácticos (Figura 717) se presentan una serie de ejercicios prácticos que están clasificados por niveles, de tal manera que el operador podrá resolverlos inicialmente por él mismo. Posteriormente, la complejidad de los ejercicios le requerirá hacer uso de materiales de apoyo, o recurrir a sus colegas para dar una solución adecuada, y finalmente en un nivel superior, para poder resolver el ejercicio tendrá que recurrir a la ayuda del instructor.

Para la ejecución de estos ejercicios se hará uso de:

- Preguntas de opción múltiple
- Preguntas directas
- Presentación de problemas operacionales
- Preguntas de reflexión, con problemas que desde un punto de vista pueden presentar múltiples interacciones entre los procesos.

Estos ejercicios están relacionados a su vez con conocimientos generales, teóricos y prácticos de la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por lo anterior, lo que pretende este manual es que el operador al final cuente con los conocimientos que le permita discernir los niveles de problemas operacionales que se pueden presentar en una PTAR y, a su vez, tener una herramienta que le permita jerarquizarlos para obtener la mejor y correcta solución.



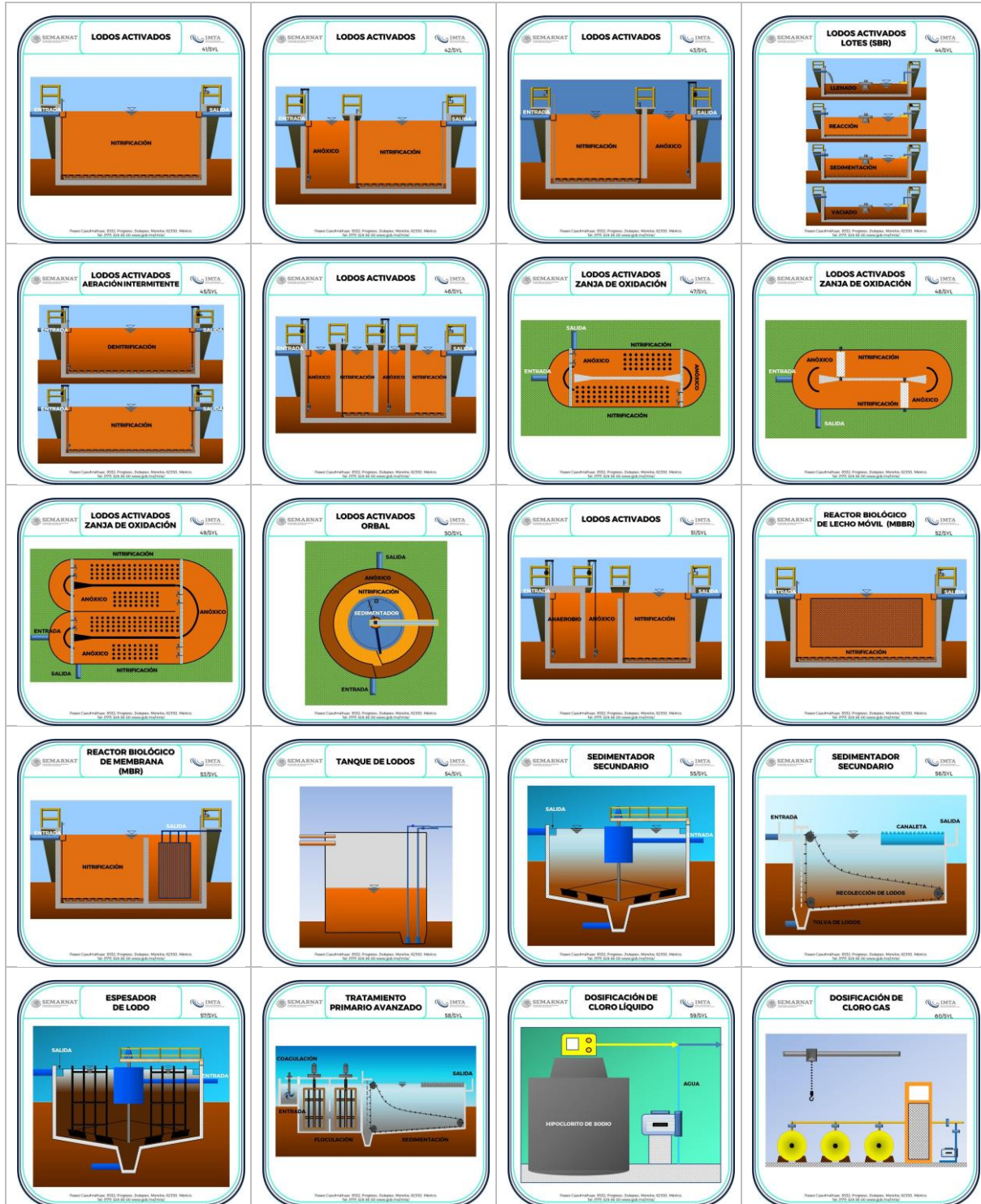
**Figura 717. Manual de ejercicios prácticos.**

Este manual va acompañado de un kit de imágenes (Figura 69) que representan todos los posibles procesos que pueden estar presentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.









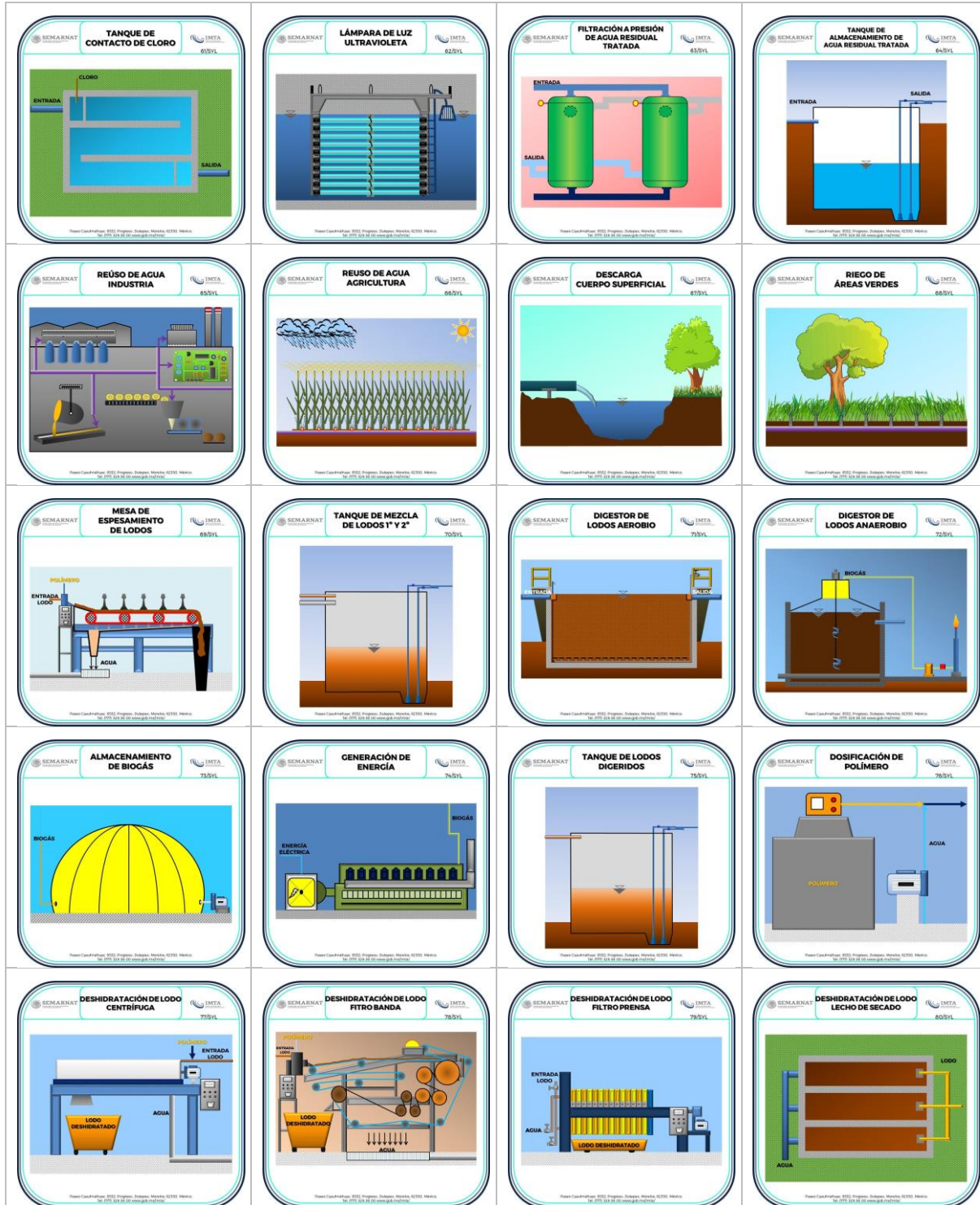




Figura 718. Kit de figuras.

En la Figura 719 se muestra el oficio de entrega recepción del material didáctico durante la visita realizada por personal del IMTA a la PTAR.

**CARTA DE ENTREGA Y RECEPCIÓN**

**MATERIAL DE APOYO TÉCNICO IMPRESO**

El que suscribe Geovani Alonso Gomez Haro en representación de la **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Agua prieta"**, ubicada en Zapopan, Jalisco, manifiesta recibir de conformidad el material de apoyo técnico impreso en perfecto estado, consiste en:

1. Infografía
2. Manual:
  - a. Seguridad e higiene
  - b. Control de proceso
  - c. Calidad del agua
  - d. Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
  - e. Indicadores sensoriales
  - f. Indicadores analíticos
  - g. Ejercicios prácticos
3. Kit de imágenes de proceso

Dicho material impreso está relacionado con las actividades del proyecto Fondo Sectorial CONAGUA-CONACYT "DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA"

Se firma la presente carta de entrega y recepción del material de apoyo técnico impreso a los 6 días del mes de Abril de 2022.

**Recibe de conformidad**

1

Figura 719. Entrega de material didáctico.

En la Figura 720, se muestra la entrega del material didáctico.



**Figura 720. Entrega y recepción de materiales de apoyo técnico impreso**

## 5 SEGURIDAD E HIGIENE

El responsable de la seguridad e higiene en la PTAR es el Ing. Francisco Javier Pérez Bernal, quien colaboró en el llenado del FORMATO 15. SEGURIDAD E HIGIENE.



**Figura 721. Equipo de protección personal y atención de emergencias**

También, se verificó la existencia de brigadas de evacuación, primeros auxilios, prevención y combate de incendio, búsqueda y rescate, así como una brigada de manejo de materiales peligrosos y una brigada de comunicación.

Respecto a los riesgos generales a los que se encuentra expuesto el personal que labora en la Planta, se tienen identificados los riesgos infecciosos, daños físicos, exposición a agentes químicos, gases y vapores tóxicos y descargas eléctricas, caídas. Además, se cuenta con medidas preventivas para cada uno de estos.

Durante el recorrido que se llevó a cabo en la PTAR se identificaron señales de seguridad e higiene, así como señalamiento de las áreas que requieren de equipo de protección especial obligatorio.

Asimismo, se identificó el uso del código de colores para señalar las tuberías de transporte de fluidos que se encuentran dentro de la PTAR y la señalización de los recipientes que contienen sustancias químicas o residuos que son clasificados como peligrosos.

Con respecto a la atención médica, las instalaciones no cuentan con servicio de enfermería, médico o paramédico en la planta ni un espacio físico destinado a estas actividades.

## 6 LABORATORIO

La PTAR cuenta con un laboratorio de análisis (Figura 722) utilizado para tener un control interno de parámetros que sirven para monitorear el funcionamiento de la planta. El laboratorio cuenta con 3 personas que trabajan como analistas, los cuales realizan muestreo y análisis mensuales de DQO, DBO<sub>5</sub>, SST y Coliformes Fecales.



**Figura 722. Laboratorio de análisis**

Como se hace constar en el FORMATO 16. BUENAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO, el laboratorio se encuentra limpio y ordenado, cuenta con instalaciones, equipos, cristalería y materiales adecuados para su operación. Asimismo, se constató que se cuenta con manual de procedimientos, manual de análisis y manuales de equipos. Sin embargo, es necesario que se implemente un manual de buenas prácticas de laboratorio, bitácora de uso y mantenimiento de equipos, así como de una carpeta que conjunte las hojas de datos de seguridad de los reactivos utilizados en el laboratorio.

Respecto a la seguridad en el laboratorio, se tienen señalizaciones y ruta de evacuación identificada. Asimismo, se cuenta con el equipo de protección personal necesario, extintor y botiquín de primeros auxilios.

En resumen, se cuenta con un laboratorio en buenas condiciones, con los equipos, materiales, medidas de seguridad adecuados, así como personal suficiente para desarrollar las tareas requeridas en la Planta.

## 7 CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR

### 7.1 Causas

Para poder ponderar las causas que influyen de manera negativa en el desempeño de la PTAR, se hace uso de una clasificación que consta de tres niveles de impacto, a saber:

#### Nivel I

Son los que presentan un mayor efecto y con problemas físicos difíciles de resolver de las unidades de proceso más importantes.

#### Nivel II

Son los que contribuyen rutinariamente al bajo desempeño o producen mayores efectos en una base periódica o estacional.

#### Nivel III

Son los que presentan mínimos efectos, fáciles y económicos de resolver, Normalmente de operación y administración.

Así, tomando como base la información obtenida de los capítulos anteriores, y la clasificación de las causas que influyen en el desempeño de la PTAR, se elabora la Tabla 239.

**Tabla 239. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR**

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño  | Atención    |
|-----|-------|--|-------------|
| 1   | I     | Caudal de tratamiento bajo, menor al 50 % de la capacidad de tratamiento de la PTAR  | Corto plazo |
| 2   |       | Rehabilitación y puesta en marcha del tratamiento primario, ya que se encuentra desmantelado y evita el correcto funcionamiento del tratamiento secundario | Corto plazo |
| 3   |       | Rehabilitación y puesta en marcha, con una operación correcta del desarenador/desengrasador  | Corto plazo |



| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño  | Atención      |
|-----|-------|--|---------------|
| 4   |       | Reparación del sistema eléctrico de las bombas en el cárcamo de bombeo   | Corto plazo   |
| 1   | II    | Rehabilitación de los reactores biológicos E e I, los cuales tienen acumulación excesiva de sólidos y crecimiento de malezas y plantas en su interior  | Corto plazo   |
| 2   |       | Verificación y sustitución de las membranas de los difusores del sistema de aireación de los reactores biológicos que presentan problemas de aireación | Mediano plazo |
| 3   |       | Desazolve del cárcamo de bombeo del tratamiento primario   | Mediano plazo |
| 4   |       | Desazolve de los reactores biológicos y sedimentadores secundarios   | Corto plazo   |
| 1   | III   | Reparación del clasificador de arena   | Largo plazo   |
| 2   |       | Mejorar el programa de limpieza del sistema de cribado para evitar acumulación de sólidos en los canales, así como en las rejillas                     | Largo plazo   |
| 3   |       | Limpieza del sistema de distribución de agua en el influente de los sedimentadores secundarios   | Mediano plazo |
| 4   |       | Implementación de mejoras en la operación y en el proceso para cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021 respecto a DQO, NT y toxicidad                 | Mediano plazo |

## 7.2 Descripción de las causas y recomendaciones

### 7.2.1 Nivel I

| Causa  | Recomendación  |
|--|--|
| <p><b>1. Caudal de tratamiento bajo, menor al 50 % de la capacidad de tratamiento de la PTAR</b></p> <p>El sistema de tratamiento se diseñó para el tratamiento de un caudal medio de 8,500 L/s, con lo que, de acuerdo al diseño, se cumple un TRH que permite el tratamiento adecuado de agua residual y se suministra una carga de nutrientes a los microorganismos que permiten su supervivencia y el cumplimiento de sus funciones metabólicas. Si se continua la operación de la PTAR con un caudal 50 % más bajo, que el caudal medio de diseño, se limita la carga de nutrientes que reciben los microorganismos, evitando su maduración. Asimismo, se subutiliza la infraestructura, aumentando el tiempo de tratamiento y propiciando el deterioro de las unidades como el descrito en el documento.</p> | <p>Gestionar con las autoridades estatales, federales, así como con la CFE para rehabilitar tan pronto como sea posible, la infraestructura que permite la llegada de un mayor caudal de aguas residuales.</p> |
| <p><b>2. Rehabilitación y puesta en marcha del tratamiento primario, ya que se encuentra desmantelado y evita el correcto funcionamiento del tratamiento secundario</b></p> <p>El tratamiento primario compuesto por unidades lógicas de filtración se encuentra prácticamente desmantelado. Este sistema tiene como objetivo evitar la llegada de sólidos suspendidos de mayor tamaño al reactor aerobio, por lo que la falta de dicho tratamiento limita el funcionamiento del sistema de tratamiento secundario, que es el proceso principal dentro de la PTAR.</p>   | <p>Se recomienda realizar un inventario de los equipos y aditamentos que hacen falta en esta unidad, adquirirlos y rehabilitar el sistema para un correcto funcionamiento de la PTAR</p>                       |

| <b>Causa</b>  | <b>Recomendación</b>  |
|---|---|
| <p><b>3. Rehabilitación y puesta en marcha, con una operación correcta del desarenador/desengrasador</b></p> <p>La unidad compuesta por un desarenador/desengrasador se encuentra con acumulación de sólidos y natas, además se nota un abandono que evita su funcionamiento.</p>   | <p>Se recomienda el desazolve y rehabilitación de esta unidad. Asimismo, la revisión del manual de operación y mantenimiento de la unidad, revisando a detalle las actividades que se deben realizar y su periodicidad con los operadores.</p>                      |
| <p><b>4. Reparación del sistema eléctrico de las bombas en el cárcamo de bombeo</b></p> <p>El sistema eléctrico (cableado) de la bomba se encuentra expuesto y en malas condiciones, lo que podría limitar el funcionamiento del cárcamo de bombeo. A pesar de no limitar el desempeño de la unidad, esta falla podría causar un accidente, por lo que se clasifica como prioritario.</p> | <p>Se debe revisar el cableado y sustituirlo para evitar fallas en el funcionamiento de las bombas, así como que sea la causa de un accidente.</p> <p>Adicionalmente, se deberá revisar la instalación correcta de la línea de cableado evitando su exposición.</p> |

## 7.2.2 Nivel II

| <b>Causa</b>  | <b>Recomendación</b>   |
|---|--|
| <p><b>1. Rehabilitación de los reactores biológicos E e I, los cuales tienen acumulación excesiva de sólidos y crecimiento de malezas y plantas en su interior</b></p> <p>A pesar de que los reactores biológicos, en su mayoría operan ineficientemente, las unidades E e I presentan evidencia de abandono, con una excesiva acumulación de sólidos que evidencia varios meses en esas condiciones, así como el crecimiento de malezas y plantas de gran tamaño que han dañado la infraestructura de los reactores.</p> | <p>Se requiere la limpieza y desazolve de las unidades de tratamiento aerobio E e I. Posteriormente, se deberá realizar un diagnóstico de la infraestructura, así como las tuberías, equipos electromecánicos y materiales requeridos para su operación. Reparando y sustituyendo aquellas que requieran su rehabilitación.</p> <p>Posteriormente, se deberá iniciar el arranque y estabilización de los sistemas, para evitar que las unidades sigan dañándose por la falta de uso y mantenimiento.</p> |
| <p><b>2. Verificación y sustitución de las membranas de los difusores del sistema de aireación de los</b></p>   | <p>Se debe revisar el sistema de aireación de las unidades que componen el tratamiento</p>   |

| <b>Causa</b>  | <b>Recomendación</b>  |
|---|---|
| <p><b>reactores biológicos que presentan problemas de aireación</b></p> <p>Debido al excesivo paso de arenas a los reactores biológicos y a un deficiente programa de mantenimiento, la acumulación de arenas en dichas unidades ha dañado las membranas de los difusores del sistema de aireación, que se evidencia por una incorrecta aireación. Esto, produce zonas mal mezcladas, así como zonas con deficiencia de oxígeno, lo que limita el funcionamiento de las unidades.</p>   | <p>secundario, sustituyendo o reparando las tuberías dañadas, así como las membranas rotas o que han terminado su vida útil. Posteriormente, se deberá revisar el programa de operación y mantenimiento del sistema de aireación en conjunto con los operadores de la PTAR, de manera que se asegure la correcta operación del sistema biológico.</p>   |
| <p><b>3. Desazolve del cárcamo de bombeo del tratamiento primario</b></p> <p>Debido al mal funcionamiento del desarenador y del tratamiento primario, el cárcamo de bombeo que recibe el efluente del tratamiento primario se encuentra con un alto contenido de arenas y lodos en el fondo, lo que limita el volumen de la unidad y presenta un riesgo sobre el funcionamiento del sistema de bombeo</p>   | <p>Se recomienda desazolvar y limpiar el cárcamo de bombeo, retirando el exceso de lodo y arena. Posteriormente, se deberá revisar en conjunto con los operadores de la PTAR, el programa de operación y mantenimiento, estableciendo los tiempos adecuados en los que se deberá realizar la limpieza y desazolve rutinario del cárcamo.</p>  |
| <p><b>4. Desazolve de los reactores biológicos y sedimentadores secundarios</b></p> <p>Debido a la deficiente operación del pretratamiento y el tratamiento primario, existe una alta acumulación de arenas y lodos en los reactores biológicos y en los sedimentadores secundarios, lo que limita no solo el volumen útil de trabajo, sino que causa un deficiente funcionamiento de estas etapas, al generar flujos preferenciales, taponamientos, daño en la infraestructura, así como liberación de sólidos suspendidos que bajan la eficiencia de tratamiento. Este problema se potencia debido a una deficiente</p> | <p>Se debe programar el desazolve y limpieza de las unidades, revisando la infraestructura, accesorios, materiales y equipo electromecánico para detectar desgaste o mal funcionamiento debido al tiempo que han operado con un exceso de sólidos acumulados en las unidades.</p> <p>Asimismo, se deberá revisar el programa de operación, limpieza y mantenimiento de las unidades, junto con los operadores de la PTAR, para establecer los periodos adecuados en que se deben realizar dichas actividades, así como la programación de mantenimientos menores y mayores.</p> |

| Causa  | Recomendación |
|--|---------------|
| operación de las unidades y a un incorrecto programa de mantenimiento. |               |

### 7.2.3 Nivel III

| Causa   | Recomendación   |
|---|---|
| <p><b>1. Reparación del clasificador de arena</b></p> <p>El clasificador de arenas no funciona correctamente, esto no influye directamente en el tratamiento de las aguas residuales, pero si evita la correcta disposición de los residuos sólidos generados en la PTAR, por lo que es una causa de nivel III con una prioridad baja.</p>  | <p>Programar la reparación del clasificador de arenas</p>   |
| <p><b>2. Mejorar el programa de limpieza del sistema de cribado para evitar acumulación de sólidos en los canales, así como en las rejillas</b></p>   | <p>Se debe revisar el manual de operación, en conjunto con los operadores de la PTAR, para establecer los periodos de limpieza de las rejillas gruesas y finas, ya que no debe encontrarse un exceso de sólidos en las mismas.</p> <p>Asimismo, se debe revisar el sistema de cribado para detectar si existe una falla en el funcionamiento, que ocasiona el exceso de basura atorado en las rejillas.</p> |
| <p><b>3. Limpieza del sistema de distribución de agua en el influente de los sedimentadores secundarios</b></p> <p>El sistema de conducción del efluente de los reactores biológicos hacia los sedimentadores secundarios, que, a su vez, distribuye el gasto de entrada en los sedimentadores se encontró con una acumulación excesiva de basura, natas y lodo, lo que causa una mala distribución del agua y la formación de flujos preferentes dentro de las unidades.</p> | <p>Se debe realizar la limpieza del sistema de conducción y distribución de agua que llega a los sedimentadores biológicos y se debe revisar el manual de operación y mantenimiento, en conjunto con los operadores para definir si la periodicidad de la limpieza y el mantenimiento es adecuada, de acuerdo a la carga de basura y arena que recibe diariamente el sistema.</p>                           |

| Causa   | Recomendación  |
|---|--|
| <p><b>4. Implementación de mejoras en la operación y en el proceso para cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021 respecto a DQO, NT y toxicidad</b></p> <p>A pesar de que el efluente de la PTAR cumple con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996. Se puede observar que tendrá dificultad para el cumplimiento de los parámetros establecidos en la actualización de dicha norma. Principalmente en los parámetros DQO, NT y toxicidad.</p> | <p>Se recomienda llevar a cabo las mejoras descritas en los numerales anteriores para poder realizar una evaluación del desempeño de la PTAR operada con un caudal de tratamiento adecuado, así como con las unidades de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y sedimentadores secundarios. De esta manera, se podrá conocer si la PTAR se encuentra en condiciones de cumplir con las disposiciones establecidas en la NOM-001-SEMARNAT-2021.</p> <p>Actualmente, no es posible realizar una recomendación sobre modificaciones en el proceso, ya que no se conocen las capacidades operacionales de la PTAR bajo las condiciones de diseño y con una correcta operación de la misma.</p> |

## 7.3 RESUMEN

### 1) Título de concesión de descarga

Se cuenta con un permiso para descargar aguas residuales con un volumen total de 734,400 m<sup>3</sup>/d (8,500 L/s), con descarga al cuerpo receptor río Santiago, clasificado como cuerpo receptor tipo “B”.

Las condiciones particulares de descarga contemplan los parámetros establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996. Sin embargo, debido a que la CFE utiliza el efluente, se solicita que no se agreguen químicos adicionales (cloración) en el efluente. Por lo que no se cuenta con un sistema de desinfección.

### 2) Memoria de cálculo

Solamente se proporcionó la memoria de cálculo del tratamiento secundario, sin incluir ninguna etapa de tratamiento de agua residual anterior o posterior.

La memoria de cálculo se realizó de acuerdo a la referencia mencionada como MOP 8. Sin embargo, se presentan distintas deficiencias en el documento:

- No se presentan los datos de diseño iniciales, ni las concentraciones o caracterización del influente que se tratará
- Se utilizan referencias que no se describen adecuadamente, por lo que no se justifica el uso de valores seleccionados por el diseñador.
- Se proporcionan cálculos que posteriormente no se utilizan, al sustituirlos valores obtenidos por recomendaciones de literatura no referenciada adecuadamente.
- No se presentan las ecuaciones completas que se utilizan por lo que varios valores se presentan sin mencionar su origen.
- El cálculo del requerimiento de nutrientes se realiza sin utilizar los resultados para llevar a cabo un balance de nutrientes y determinar si se requiere agregar algún suplemento nutritivo en el influente de los reactores biológicos.
- No se define ni se justifica el número de cifras significativas (decimales) que se utiliza para realizar los cálculos en la memoria, por lo que utilizando los valores que se presentan en el documento, se encuentran resultados significativamente diferentes.

### 3) Información histórica de calidad del agua

Se proporcionó información que se reportó a la Comisión Nacional del Agua entre enero de 2019 y julio de 2021.

La PTAR en este periodo ha operado a un caudal menor al 50% del caudal medio de diseño, que es de 8,500 L/s.

La PTAR tiene permitida una descarga máxima de agua residual tratada de 8,500 L/s, de acuerdo con su permiso de descarga. Se reportó un caudal promedio de 4,366 L/s de agua residual tratada descargada, lo que representa alrededor del 50%, con picos máximos de 5,634 L/s y mínimos de 3,459 L/s. Estos valores son muy bajos, lo que ocasiona una subutilización de la PTAR y ocasiona problemas operativos y sobre la infraestructura de la PTAR.

La temperatura, pH, grasas y aceites, materia flotante, sólidos suspendidos totales, DBO<sub>5</sub>, nitrógeno total, fósforo total y metales cumple con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Con respecto al cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021, la DQO y el nitrógeno total presenta valores durante algunos meses que sobrepasan el límite permitido.

No se reportan parámetros microbiológicos debido a la restricción mencionada anteriormente, que impone la CFE para realizar cloración del efluente.

#### **4) Información del Proceso**

Se realizan análisis rutinarios diarios del influente y el efluente, en el laboratorio de la PTAR que incluyen pH, temperatura, sólidos sedimentables, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total y fósforo total, parámetros que cumplen con la normatividad en el periodo en que se compartieron datos (2019 - 2021). Adicionalmente, se realiza análisis rutinarios en las unidades biológicas que incluyen temperatura, pH y oxígeno disuelto, así como la determinación de IVL y la medición del manto de lodos en los sedimentadores secundarios.

Las bitácoras describen los caudales que ingresan diariamente, y las actividades que deben realizar los operadores. Sin embargo, no incluye una sección para el reporte de fallas del proceso observadas durante el turno y pendientes que se dejan al terminar el turno. Tampoco se describen las características y parámetros de operación que se registran en las unidades de tratamiento de la PTAR.

El programa de mantenimiento incluye los procesos de tratamiento, equipo electromecánico, subestación eléctrica y se estipula que se realice semestralmente. Sin embargo, no se realiza mantenimiento a la infraestructura, por lo que se recomienda robustecer el programa. Asimismo, se recomienda revisar la periodicidad de las actividades de limpieza y desazolve de las unidades de tratamiento.



Se cuenta con la documentación del historial de mantenimientos preventivos y correctivos realizados durante el último año de operación en la PTAR.

### **5) Funcionamiento de la PTAR**

El estado de la obra civil del pretratamiento es bueno, las rejillas finas y gruesas se encuentran en buen estado y funcionando. Sin embargo, se requiere revisar el manual de operación para identificar mejoras en la limpieza y operación de los sistemas y evitar la acumulación de sólidos en las rejillas.

La obra civil del desarenador / desengrasador se encuentra en buen estado. Sin embargo, se detectaron diferentes fallas en la operación y mantenimiento, que es necesario revisar.

El sistema de clasificación de arena se encuentra fuera de funcionamiento.

La obra civil del tratamiento primario se encuentra en buenas condiciones. Sin embargo, las unidades están prácticamente desmanteladas y fuera de operación, lo que causa problemas en las unidades de tratamiento posterior, limitando el funcionamiento y eficiencia de tratamiento de la PTAR.

Los cárcamos de bombeo se encuentran en buenas condiciones respecto a obra civil. Sin embargo, no operan adecuadamente y requieren limpieza y desazolve.

En su mayoría, los reactores biológicos presentan un buen estado respecto a la obra civil. Sin embargo, se requiere realiza una limpieza y desazolve de los reactores E e I para posteriormente revisar si no existe daño en la obra civil. Los reactores biológicos operan deficientemente debido a las dificultades que presenta el pretratamiento y tratamiento primario, lo que ocasiona la llegada de un exceso de arenas y sólidos, que limitan el desempeño del tratamiento.

Los reactores que se encuentran en funcionamiento, están en una etapa de arranque y estabilización, lo que limita el funcionamiento y desempeño de la PTAR.

Los sedimentadores secundarios operan deficientemente, con exceso de lodo acumulado y un mal programa de operación que evita el retiro en tiempo y forma del lodo residual. Esto ocasiona un efluente turbio con presencia de gases y malos olores.

Cabe destacar que el funcionamiento de la PTAR se encuentra comprometido por el bajo caudal de agua residual que recibe,

problemática que se deberá atender y resolver a la brevedad, para evitar que la PTAR continúe deteriorándose.

## **6) Muestreo**

Se realizó un muestreo compuesto de 24 h al influente y efluente general de la PTAR, considerando los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y de la NOM-001-SEMARNAT-2021.

El caudal de operación de la PTAR se encuentra entre 1,840 a 2,320 L/s con un promedio de 2,088.7 L/s.

Todos los parámetros cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996, excepto para GyA, SST, NT para cuerpos receptores tipo B.

Todos los parámetros excepto GyA NT y la toxicidad cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ríos, arroyos, canales y drenes.

Se tomaron muestras simples a la salida del pretratamiento, a la salida tratamiento primario, en el efluente del desarenador, a la salida de los 4 reactores que presentaban efluente para analizar DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, así como PT y NT en la entrada y salida de los reactores biológicos.

## **7) Determinaciones de campo**

Se determinó el perfil de pH y oxígeno disuelto en los reactores biológicos encontrando una sobre aireación en los reactores, que se atribuye a un deterioro de los difusores del sistema de aireación por falta de mantenimiento. El perfil de pH indicó condiciones adecuadas para el desarrollo del proceso de lodos activados. Sin embargo, el perfil indica que no se lleva a cabo el proceso de nitrificación.

Con respecto a los sedimentadores secundarios, se determinó el manto de lodos encontrando acumulación de lodos en todos los sedimentadores mayores a 1 m. Lo que indica un exceso de lodo atribuible a una mala operación y a un deficiente retiro de lodos, lo que altera el desempeño de las unidades y disminuye la eficiencia de tratamiento de la PTAR.

## **8) Influencia industrial**

Con respecto a la relación DQO/DBO<sub>5</sub>, se encuentra en 2.68 en el influente de la PTAR, indicando que la materia orgánica que llega a la Planta es poco biodegradable. La toxicidad aguda mostró valores elevados en el influente (20.62 UT a 15 min), lo que indica que el agua residual que llega a la PTAR es tóxica. Estos valores, son indicios de la existencia de aportación industrial en el agua residual en el influente.

## **9) Evaluación de conocimientos**

El personal que labora en la PTAR cuenta con la experiencia suficiente para operar adecuadamente los procesos dentro de la PTAR debido a que se ha dado continuidad a la plantilla laboral.

Las personas con mayor experiencia presentaron calificaciones muy buenas en las evaluaciones, mientras que las personas con menor antigüedad presenta deficiencias en conocimiento, por lo que se recomienda reforzar la capacitación de las personas que ingresan a laborar en la PTAR.

### **10) Seguridad e higiene**

Se cuenta con el personal y las brigadas para atención de emergencias dentro de la PTAR. Los riesgos generales se encuentran identificados.

En general, la PTAR cuenta con señalización y medidas de seguridad e higiene que resultan adecuadas.

### **11) Laboratorio**

La PTAR cuenta con un laboratorio de análisis con instalaciones adecuadas, así como materiales y equipos requeridos y en buenas condiciones. En el laboratorio laboran 3 personas, lo que se considera una plantilla suficiente.

### **12) Causas que limitan el desempeño de la PTAR**

Las principales causas que limitan el desempeño de la PTAR y que se deben atender a la brevedad son:

El bajo caudal de agua residual que llega a la PTAR.

La rehabilitación del pretratamiento, desarenador y tratamiento primario.

Desazolve, limpieza y mantenimiento de las unidades de bombeo, desarenado, tratamiento biológico y sedimentadores secundarios.

Rehabilitación de los reactores que se encuentran fuera de funcionamiento.

Verificación y sustitución de los difusores del sistema de aireación de los reactores biológicos que se encuentran dañados.

Mejoras al manual de operación y mantenimiento de las unidades de mantenimiento, ya que existe evidencia de que podrían operarse de manera deficiente.

Para dar cumplimiento a los límites de DQO, NT y toxicidad aguda establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021 se deberá realizar un análisis del desempeño de la PTAR una vez que se encuentre operando correctamente y que se hayan atendido las causas que limitan el desempeño de la PTAR.

## 8 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos al analizar los datos históricos del efluente de la PTAR de agua Prieta se concluye que la planta cumple con todos los LMP de la NOM-001-Semarnat-1996.

Respecto al cumplimiento de la NOM-001-Semarnat-2021 de los parámetros analizados en este trabajo se concluye que el efluente puede cumplir con todos los parámetros con excepción de la DQO y el nitrógeno total (NT). Para el cumplimiento de estos parámetros la operación de la planta debe vigilarse continuamente ya que estos parámetros se encuentran en concentraciones muy próximas a los LP que marca la norma de 150 mg/L para la DQO y 25 mg/L de NT. Se debe analizar la eficiencia del proceso de tratamiento para determinar si es necesario realizar alguna modificación técnica con el fin de cumplir satisfactoriamente con el LP de nitrógeno total.

Se deberá atender las siguientes causas que limitan el desempeño para mejorar la eficiencia de tratamiento de la PTAR:

- La planta debe incrementar el caudal de tratamiento de agua residual ya que cuenta con infraestructura para tratar un promedio de 8500 L/s y solo actualmente recibe aproximadamente el 50% de este caudal. Esto conlleva a un uso ineficiente y al deterioro de la infraestructura existente.
- Se debe rehabilitar y modificar el programa de operación del desarenador desengrasador. Así como, el tratamiento primario que se encuentra desmantelado actualmente, y los reactores biológicos y sedimentadores secundarios que se encuentran fuera de servicio y en condiciones que aparentan abandono.
- Se debe desazolvar y limpiar las unidades de tratamiento que presentan acumulación excesiva de lodo y basura.
- Se debe reparar el sistema de aireación y sustituir los difusores que se encuentran dañados.
- Se debe mejorar el programa de operación y mantenimiento de la PTAR para evitar problemas en las unidades debidos a una mala operación.

Se deberán atender las causas que se mencionan anteriormente y realizar la operación de la PTAR con mejores condiciones para conocer el potencial de la Planta para cumplir con los límites establecidos para DQO, NT y toxicidad aguda, en la NOM-001-SEMARNAT-2021.

## **PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

### **PROYECTO No.309621**

# **“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA”**

## **DIAGNÓSTICO DE LA PTAR**

### **“Fideicomiso del sistema de aguas residuales del Alto Río Blanco (FIRIOB)”**

**Orizaba, Ver.**

## ÍNDICE

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 1     | INFORMACIÓN DE LA PTAR .....                                   | 1413 |
| 1.1   | Datos generales.....   | 1413 |
| 1.2   | Ubicación.....   | 1418 |
| 1.3   | Descripción del proceso .....                                  | 1420 |
| 2     | REVISIÓN DOCUMENTAL .....                                      | 1449 |
| 2.1   | Planos.....  | 1449 |
| 2.2   | Permiso de descarga .....                                      | 1451 |
| 2.3   | Análisis de la memoria de cálculo.....                         | 1457 |
| 2.4   | Análisis de la información histórica de calidad del agua ..... | 1465 |
| 2.4.1 | pH.....  | 1466 |
| 2.4.2 | Grasas y Aceites .....   | 1467 |
| 2.4.3 | Sólidos suspendidos totales (SST).....                         | 1467 |
| 2.4.4 | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....                       | 1468 |
| 2.4.5 | Nitrógeno Total (NT) .....                                     | 1469 |
| 2.4.6 | Fósforo Total (PT) .....                                       | 1470 |
| 2.4.7 | Demanda Química de Oxígeno (DQO).....                          | 1471 |
| 2.5   | Análisis de la información del Proceso.....                    | 1476 |
| 2.5.1 | Análisis rutinarios .....                                      | 1476 |
| 2.5.2 | Manual de operación.....                                       | 1476 |
| 2.5.3 | Reportes de operación (bitácoras) .....                        | 1476 |
| 2.5.4 | Mantenimiento.....   | 1477 |
| 3     | ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR.....               | 1482 |
| 3.1   | Descripción de las unidades de proceso .....                   | 1482 |
| 3.1.1 | Pretratamiento.....  | 1483 |
| 3.1.2 | Tratamiento anaerobio.....                                     | 1489 |
| 3.1.3 | Tratamiento aerobio .....                                      | 1493 |
| 3.1.4 | Desinfección .....   | 1501 |

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 3.1.5 | Estado físico de las unidades de proceso .....   | 1505 |
| 3.1.6 | Equipos electromecánicos .....                   | 1508 |
| 3.2   | Muestreo y calidad del agua residual.....        | 1512 |
| 3.2.1 | Resultados del muestreo compuesto .....          | 1517 |
| 3.2.2 | Resultados de muestreo simple .....              | 1527 |
| 3.3   | Influencia industrial.....                       | 1532 |
| 4     | DIAGNÓSTICO DE PERSONAL.....                     | 1533 |
| 4.1   | Recursos Humanos.....                            | 1533 |
| 4.2   | Evaluación de conocimientos .....                | 1534 |
| 4.3   | Capacitación .....                               | 1534 |
| 4.3.1 | Cursos de capacitación recibidos.....            | 1534 |
| 4.3.2 | Temas de capacitación solicitados .....          | 1535 |
| 4.3.3 | Material didáctico entregado .....               | 1536 |
| 5     | SEGURIDAD E HIGIENE .....                        | 1550 |
| 6     | LABORATORIO.....                                 | 1559 |
| 7     | CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR ..... | 1561 |
| 7.1   | Causas.....                                      | 1561 |
| 7.2   | Descripción de la causa y recomendaciones.....   | 1562 |
| 7.2.1 | Nivel I .....                                    | 1562 |
| 7.2.2 | Nivel II.....                                    | 1562 |
| 7.2.3 | Nivel III .....                                  | 1563 |
| 8     | RESUMEN.....                                     | 1564 |
| 9     | CONCLUSIONES.....                                | 1566 |
|       | Anexo A. Formato 03. Recursos Humanos.....       | 1568 |

## TABLAS

|   |      |
|---|------|
| Tabla 1. Datos generales .....  | 1417 |
| Tabla 2. Empresas que descargan a PTAR FIRIOB .....   | 1417 |
| Tabla 3. Ubicación y contacto .....   | 1419 |
| Tabla 4. Flujos de alimentación a los reactores anaerobios.....   | 1444 |
| Tabla 5. Contenido de la carpeta de planos funcionales .....  | 1449 |
| Tabla 6. Contenido de la carpeta de planos arquitectónicos.....   | 1450 |
| Tabla 7. Contenido de la carpeta de planos hidráulicos.....   | 1450 |
| Tabla 8. Títulos de los permisos de descarga asociados a la PTAR FIRIOB .....                           | 1451 |
| Tabla 9. Resumen de información del REPDA de los permisos de descarga .....                             | 1454 |
| Tabla 10. Condiciones específicas y particulares para el permiso de descarga de aguas residuales.....   | 1455 |
| Tabla 11. Características del agua cruda .....  | 1457 |
| Tabla 12. Efluente de la laguna .....   | 1458 |
| Tabla 13. Agua tratada (NOM-001-ECOL-1996 para cuerpo receptor).....                                    | 1459 |
| Tabla 14. Estadísticos de los análisis históricos de calidad del agua cruda y tratada.....              | 1465 |
| Tabla 15. Estadísticas del cociente DQO/DBO.....  | 1473 |
| Tabla 16 Caudal promedio tratado por año.....   | 1474 |
| Tabla 17. Manuales de operación por área de tratamiento.....  | 1476 |
| Tabla 18. Altura de azolve en el tanque de contacto.....  | 1505 |
| Tabla 19. Equipo electromecánico .....  | 1509 |
| Tabla 20. Parámetros evaluados .....  | 1514 |
| Tabla 21. Valores promedio, mínimos y máximos.....  | 1517 |
| Tabla 22. Valores promedio, mínimos y máximos para grasas y aceites, coliformes fecales y E. coli ..... | 1520 |
| Tabla 23. Resultados de laboratorio de muestra compuesta.....   | 1523 |



|  |      |
|--|------|
| Tabla 24. Resultados obtenidos de las muestras puntuales .....                 | 1529 |
| Tabla 25. Resultados de las muestras del módulo piloto.....                    | 1531 |
| Tabla 26. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR ..... | 1561 |

## **FIGURAS**

|   |      |
|---|------|
| Figura 1. Plano general de la planta Fideicomiso del Alto Río Blanco (PTAR FIRIOB).....   | 1414 |
| Figura 2. Ubicación de las empresas que descargan a la PTAR FIRIOB. ..                    | 1420 |
| Figura 3. Caja derivadora y válvula de by-pass para excedencias.....                      | 1421 |
| Figura 4. Vertedor de demasías. ....  | 1421 |
| Figura 5. Medidor influente. ....   | 1422 |
| Figura 6. Muestreador automático. ....  | 1422 |
| Figura 7. Colector general (influyente) de la PTAR FIRIOB.....                            | 1422 |
| Figura 8. Pretratamiento: rejillas gruesas. ....  | 1423 |
| Figura 9. Pretratamiento: desarenador aireado y soplador. ....                            | 1423 |
| Figura 10. Pretratamiento: rejillas finas de tambor rotatorio. ....                       | 1424 |
| Figura 11. Laguna de homogenización en mantenimiento correctivo. ....                     | 1424 |
| Figura 12. Bombas alimentadoras de reactores anaerobios BC-209 A-B-C-D-E).....            | 1425 |
| Figura 13. Reactores anaerobios.....  | 1427 |
| Figura 14. Efluente de reactores anaerobios (RAN-201 A).....                              | 1427 |
| Figura 15. Bombas de extracción de lodos de reactores anaerobios (BP-206 A-B-C).....      | 1429 |
| Figura 16. Cárcamo de bombeo TQ-208 y cárcamo de bombas BC-204, Bombas 204 A-B-C-D-E..... | 1429 |
| Figura 17. Reactores aerobios, RAE-301 A-B-C.....   | 1430 |
| Figura 18. Sopladores SO-303 A-B-C-D-E.....   | 1432 |
| Figura 19. Bombas de lodos BP-307 A-B-C.....  | 1434 |
| Figura 20. Filtro banda FB-510.....   | 1435 |
| Figura 21. Tanque de hipoclorito de sodio y punto de dosificación. ....                   | 1435 |

|  |      |
|--|------|
| Figura 22. Tanque de cloración.....  | 1436 |
| Figura 23. Canal Parshall de salida y medidor de efluente.....   | 1436 |
| Figura 24. Ubicación rectificada el punto de monitoreo de la descarga (18°51'11.8"N 97°02'51.1"O)..... | 1436 |
| Figura 25. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento.....   | 1438 |
| Figura 26. Rejillas gruesas.....   | 1438 |
| Figura 27. Vista de los desarenadores aireados.....  | 1439 |
| Figura 28. Caseta de soplador para desarenadores aireados.....   | 1439 |
| Figura 29. Caseta de soplador para desarenadores aireados.....   | 1440 |
| Figura 30. Puente de desarenadores.....  | 1440 |
| Figura 31. Zona de natas.....  | 1440 |
| Figura 32. Tanque de lodos TQ-503.....   | 1441 |
| Figura 33. Lavado y recolección de arenas.....   | 1441 |
| Figura 34. Vista de las rejillas finas tipo tambor.....  | 1442 |
| Figura 35. Vista de la laguna de igualación.....   | 1442 |
| Figura 36. Vista aérea de los reactores anaerobios.....  | 1443 |
| Figura 37. Vista del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente "D" en la zona del efluente.....            | 1444 |
| Figura 38. Vista aérea de los rectores secuenciales anóxico-aerobio.....                               | 1446 |
| Figura 39. Vista general de los módulos secuenciales anóxico-aerobio y sopladores.....                 | 1447 |
| Figura 40. Tanque de contacto de cloro TQ-400.....   | 1448 |
| Figura 41. Horno rotatorio para secado de lodos.....   | 1448 |
| Figura 42. Punto de muestreo registrado en el REPDA y punto de muestreo rectificado.....               | 1452 |
| Figura 43. REPDA- permisos de descarga.....  | 1453 |
| Figura 44. REPDA- permisos de descarga del municipio de Orizaba.....                                   | 1454 |
| Figura 45. Datos de diseño del documento denominado "Memoria de Cálculo".....                          | 1463 |
| Figura 46. Relación de documentos a entregar definidos en la "Memoria de cálculo".....                 | 1464 |
| Figura 47. Comportamiento del pH: influente y efluente (2020 - 2021)...                                | 1466 |

|   |      |
|---|------|
| Figura 48. Tendencia de Grasas y Aceites (2020 - 2021).....                       | 1467 |
| Figura 49. Tendencia de Sólidos Suspendidos Totales (2020-2021) .....             | 1468 |
| Figura 50. Tendencia de DBO <sub>5</sub> (2020- 2021). .....                      | 1469 |
| Figura 51. Tendencia de Nitrógeno Total (2020-2021) .....                         | 1470 |
| Figura 52. Tendencia de Fósforo Total (2020-2021).....                            | 1471 |
| Figura 53. Tendencia de DQO (2020-2021) .....                                     | 1472 |
| Figura 54. Tendencia de influente y efluente (2020-2022) .....                    | 1475 |
| Figura 55. Ejemplo de bitácora de operación de la PTAR FIRIOB.....                | 1477 |
| Figura 56. Bitácora de mantenimiento del equipo RJ 102 A.....                     | 1478 |
| Figura 57. Programa anual de mantenimiento de instrumentos.....                   | 1479 |
| Figura 58. Programa anual de mantenimiento a equipos mecánicos y eléctricos. .... | 1481 |
| Figura 59. Vista aérea de la PTAR FIRIOB.....                                     | 1482 |
| Figura 60. Influyente a PTAR: Caja Derivadora y colector de entrada.....          | 1483 |
| Figura 61. Rejillas gruesas automáticas autolimpiantes.....                       | 1484 |
| Figura 62. Almacenamiento temporal de residuos.....                               | 1484 |
| Figura 63. Canales de interconexión y medidor de flujo .....                      | 1485 |
| Figura 64. Desarenadores aireados.....  | 1486 |
| Figura 65. Soplador para desarenadores.....                                       | 1486 |
| Figura 66. Tanque de mezcla de lodos TQ-503 .....                                 | 1487 |
| Figura 67. Separador de arenas tipo tornillo (SA-106) .....                       | 1487 |
| Figura 68. Rejillas finas rotatorias (RJ-113 A-B-C-D).....                        | 1488 |
| Figura 69. Laguna de homogenización.....  | 1489 |
| Figura 70. Reactores anaerobios.....  | 1490 |
| Figura 71. Reactores anaerobios y canal de salida.....                            | 1491 |
| Figura 72. Bombas para purga de lodos de RAN's (BP-206) .....                     | 1492 |
| Figura 73. Efluente de reactores anaerobios (BP-206) .....                        | 1492 |
| Figura 74. Vista de los reactores aerobios .....                                  | 1493 |
| Figura 75. Vista general de los reactores aerobios, anóxicos y decantadores ..... | 1494 |
| Figura 76. Filtro banda FB-510 .....  | 1495 |

|   |      |
|---|------|
| Figura 77. Decantadores centrífugos (DEC-502) y espesadores (ESP-500)                                       | 1496 |
| Figura 78. Tanques de aeración / sedimentación)   | 1497 |
| Figura 79. Aeración no uniforme en reactores RAE-301  | 1498 |
| Figura 80. Presencia de vegetación flotante en los reactores de aeración/sedimentación del módulo RAE-301 B | 1499 |
| Figura 81. Medición del manto de lodos en reactor de aeración/sedimentación                                 | 1500 |
| Figura 82. Canal cubierto hacia tanque de contacto para la desinfección del efluente de reactores aerobios  | 1500 |
| Figura 83. Canal cubierto y punto de inyección de hipoclorito de sodio                                      | 1501 |
| Figura 84. Tanque de contacto TQ-400  | 1501 |
| Figura 85. Tanque de almacenamiento de hipoclorito de sodio TQ-117  | 1502 |
| Figura 86. Áreas descubiertas del tanque de contacto  | 1503 |
| Figura 87. Tanque de contacto: arrastre de sólidos  | 1503 |
| Figura 88. Medición de nivel de azolve en del tanque de contacto  | 1504 |
| Figura 89. Puntos de medición de nivel de azolve  | 1504 |
| Figura 90. Aspecto del azolve del tanque de contacto  | 1505 |
| Figura 91. Vistas de la infraestructura de la PTAR  | 1507 |
| Figura 92 Puntos de monitoreo   | 1513 |
| Figura 93. Variación horaria de influente y efluente  | 1519 |
| Figura 94. Variación de pH  | 1519 |
| Figura 95. Variación de temperatura   | 1519 |
| Figura 96. Variación de grasas y aceites  | 1521 |
| Figura 97. Parámetros microbiológicos de la muestra compuesta   | 1521 |
| Figura 98 Toxicidad aguda de la muestra compuesta   | 1526 |
| Figura 99. Desarenadores A, B y C   | 1527 |
| Figura 100. Esquema de la configuración de los módulos de reactores de lotes secuenciados                   | 1528 |
| Figura 101. Certificado ISO-9001-2015   | 1534 |
| Figura 102. Certificado ISO-14001-2015  | 1534 |

|  |      |
|--|------|
| Figura 103. Programa de capacitación anual 2022 .....                    | 1536 |
| Figura 104. Portada de los manuales.....                                 | 1538 |
| Figura 105. Infografías.....   | 1543 |
| Figura 106. Manual de ejercicios prácticos.....                          | 1544 |
| Figura 107. Kit de figuras.....  | 1548 |
| Figura 108. Entrega de material didáctico. ....                          | 1549 |
| Figura 109. Dictamen de riesgo por incendio .....                        | 1551 |
| Figura 110. Procedimiento de primeros auxilios (I-SE-EM-06) .....        | 1552 |
| Figura 111. Control de fugas en planta (I-SE-GR-01).....                 | 1553 |
| Figura 112. Plan de atención y respuesta a emergencias (P-SE-GR-01)..... | 1554 |
| Figura 113. Programa anual de simulacros. 2022.....                      | 1555 |
| Figura 114. Equipo de seguridad. ....                                    | 1556 |
| Figura 115. Señalización en oficinas y PTAR. ....                        | 1557 |
| Figura 116. Plano de ubicación de equipo contra incendios. ....          | 1558 |
| Figura 117. Manuales del equipo de laboratorio.....                      | 1560 |

## **35 INFORMACIÓN DE LA PTAR**

### **35.1 Datos generales**

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Fideicomiso del Sistema de Aguas Residuales del Alto Río Blanco”, mejor conocida como “FIRIOB” fue construida en 1992 e inició sus operaciones en 1995. En el diseño original era una planta anaerobia con base en reactores de lecho de lodos de flujo ascendente (RAFA). En 2004 la planta fue actualizada mediante la introducción de una laguna de regulación y reactores aerobios secuenciales por lotes para pulir el efluente y dar cumplimiento a las condiciones específicas y particulares para el permiso de descarga de aguas residuales (municipal - industrial) al cuerpo receptor Alto Río Blanco (Figura 723).

La PTAR recibe parte de las aguas residuales de los municipios de Ixtaczoquitlán, Orizaba, Río Blanco, Camerino Z. Mendoza, Nogales y Huiloapan de Cuauhtémoc, Ver., que forman parte de la zona metropolitana de Orizaba (ZMO), así como las aguas residuales de industrias del tipo alimenticio, papelera, cervecera y curtiduría.

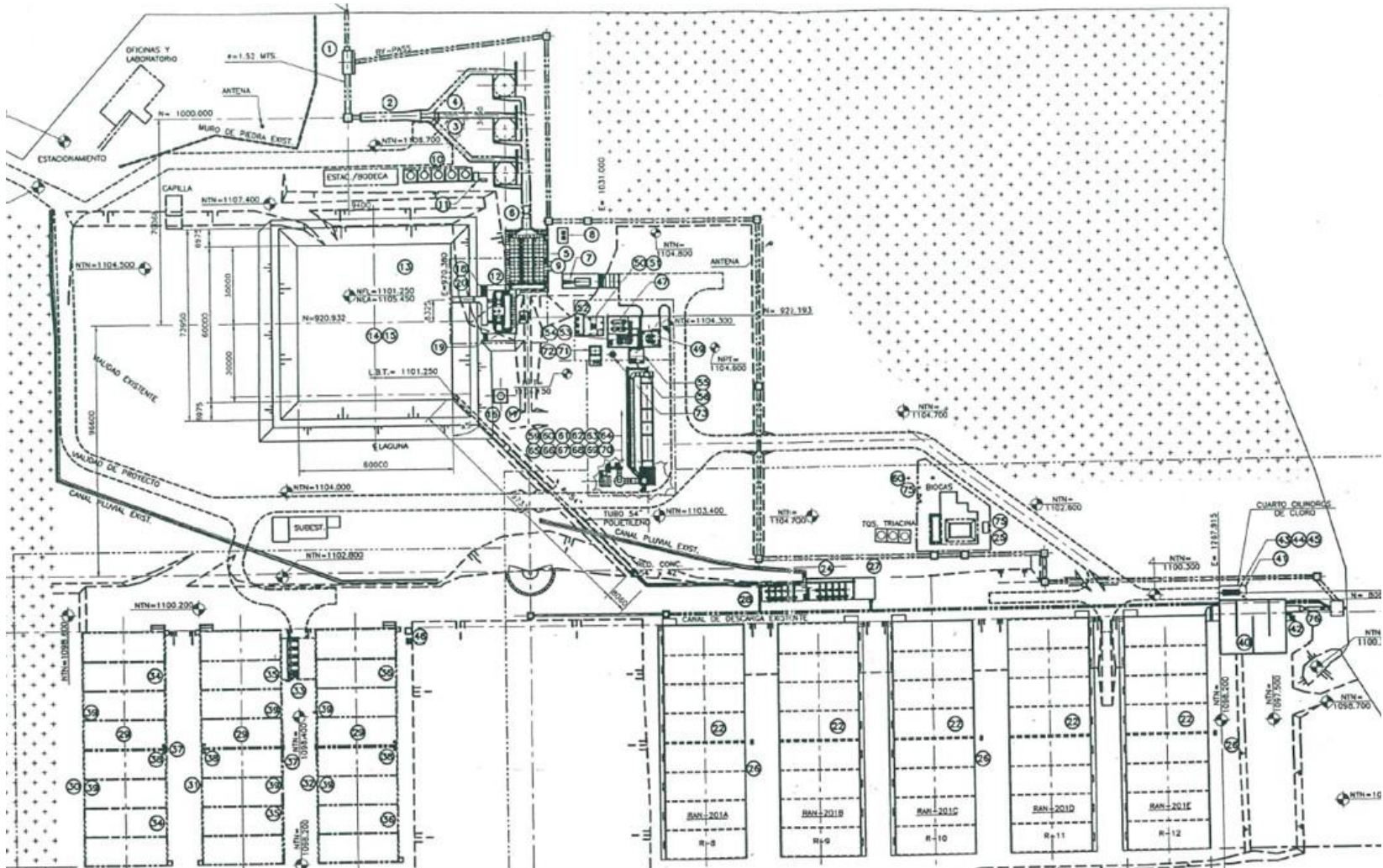


Figura 723. Plano general de la planta Fideicomiso del Alto Río Blanco (PTAR FIRIOB).

| N° | TAG               | Descripción                                  |
|----|-------------------|--|
| 1  | TQ-100            | Caja derivadora y by-pass                    |
| 2  | CA-101 A/B        | Canal de rejilla                             |
| 3  | RJ-102 A/B        | Rejillas gruesas autolimpiantes              |
| 4  | RJ-103            | Rejilla manual                               |
| 5  | DA-104 A/B/C      | Desarenador aereado                          |
| 6  | MP-105            | Medidor Parshall                             |
| 7  | SA-106            | Clasificador de arenas                       |
| 8  | SO-107 A/B        | Soplador del desarenador                     |
| 9  | SO-106 A/B/C      | Sopladores de bombas del desarenador         |
| 10 | TQ-109 A/B/C/D/E  | Tanques de sosa                              |
| 11 | BO-110 A/B        | Bombas dosificadoras de sosa                 |
| 12 | RJ-113 A/B/C/D    | Rejillas finas rotatorias                    |
| 13 | AS-114 A/B/C/D    | Agitadores de homogenización                 |
| 14 | LA-115            | Laguna de homogenización                     |
| 15 | TA-116            | Tapa de laguna de homogenización             |
| 16 | TQ-117            | Tanque de ácido fosfórico                    |
| 17 | BP-118 A/B        | Bombas dosificadores de ácido fosfórico      |
| 18 | TQ-119            | Cárcamo de lodos primarios                   |
| 19 | B´-120 A/B        | Bombas de lodos primarios                    |
| 20 | AS-121            | Agitador de lodos primarios                  |
| 21 | TQ 200            | Caja B de distribución                       |
| 22 | RAN-201 A/B/C/D/E | Reactor anaeróbico con recolección de biogás |
| 23 |                   |  |
| 24 | BC-204 A/B/C/D/E  | Bombas a reactores biológicos                |
| 25 | QM-205 A/B/C/D/E  | Quemadores de gas                            |

| N° | TAG              | Descripción                                |
|----|------------------|--|
| 39 | BS-309 A/B/C/D/E | Bombas de recirculación                    |
| 40 | TQ-400           | Tanque de cloración                        |
| 41 | DC-401           | Dosificador de cloro                       |
| 42 | BC-402 A/B       | Bombas de ayuda a cloración                |
| 43 | CC-403 A/ ...H   | Cilindros de cloro                         |
| 44 | PL-405           | Polipasto                                  |
| 45 | VCA-406          | Aditamento para levantar cilindro de cloro |
| 46 | BC-310 A/B       | Bombas de agua de servicios                |
| 47 | ESP-500 A//B     | Espesador de lodos                         |
| 48 |                  |  |
| 49 | DEC-502 A/B      | Decantador centrífugo                      |
| 50 | TQ-503           | Tanque de lodos                            |
| 51 | AS-504           | Mezclador de lodos                         |
| 52 | BP-501 A/B/C     | Bomba de manejo de lodos                   |
| 53 | SPP-506 A/B      | Sistema de preparación de polímero         |
| 54 | BD-507 A/B/C     | Bombas dosificadores de polímero           |
| 55 | TQ-506           | Cárcamo de achique                         |
| 56 | BS-509 A/B       | Bomba de achique                           |
| 57 |                  |  |
| 58 |                  |  |
| 59 | INC-602          | Incinerador de lodos                       |
| 60 | QM-605           | Quemador de gas                            |
| 61 | EL-607           | Elevador de cenizas                        |
| 62 | VEN-608          | Ventilador                                 |
| 63 | BC-609           | Bomba de inyección                         |



|    |                  |  |
|----|------------------|--|
| 26 | BP-206 A/B/C     | Bombas de lodos anaeróbicos                    |
| 27 | TQ-206           | Cárcamo de bombeo a reactores anaeróbicos      |
| 28 | BC-209 A/B/C/D/E | Bombas de alimentación a reactor anaerobio     |
| 29 | RAE-301 A/B/C    | Reactores aerobios Unitank                     |
| 30 | STU-302 A1/A2    | Sedimentadores tubulares                       |
| 31 | STU-302 B1/B2    | Sedimentadores tubulares                       |
| 32 | STU-302 C1/C2    | Sedimentadores tubulares                       |
| 33 | SO-303 A/B/C/D/E | Sopladores de alimentación de aire a reactores |
| 34 | DF-304 A1/...A6  | Difusores de aire                              |
| 35 | DF-304 B1/...B6  | Difusores de aire                              |
| 36 | DF-304 C1/...C6  | Difusores de aire                              |
| 37 | BP-307 A/B/C     | Bombas lodos biológicos aeróbicos              |
| 38 | AS-308 A/B/C/D/E | Agitadores sumergibles                         |

|    |             |                                 |
|----|-------------|---------------------------------|
| 64 | TOL-610     | Tolva de lodos                  |
| 65 | LAV-611     | Lavador de gases de combustión  |
| 66 | CH-613      | Chimenea                        |
| 67 | CIC-614 A/B | Ciclón                          |
| 68 | SL-615      | Secador de lodos                |
| 69 | TQ-616      | Tanque de almacenamiento de gas |
| 70 | TOL-617     | Tolva de cenizas                |
| 71 | TQ-311      | Tanque de agua de servicios     |
| 72 | BC-702 A/B  | Bombas de retrolavado           |
| 73 | FM-703 A    | Filtro multimedia               |
| 74 |             |                                 |
| 75 | CM-207 A    | Compresor de biogás             |
| 76 | MP-406      | Medidor Parshall                |

Al presente, la PTAR opera con un gasto de aproximadamente 700 L/s (estiaje) y sirve a una población aproximada de 170,000 habitantes, que representa el 52 % de la población asentada en los municipios citados. En la Tabla 240 se presentan algunos datos generales de la planta.

**Tabla 240. Datos generales**

| <b>Datos generales</b>                    |  |                            |  |
|---|--|----------------------------|--|
| <b>Año de construcción</b>                | <b>1992</b>  | <b>Inicio de operación</b> | <b>1995</b>                                  |
| Municipios de los cuales recibe descargas | <b>Orizaba, Ixtaczoquitlán, Nogales, Río Blanco, Huiloapan de Cuauhtémoc, Camerino Z. Mendoza,</b> | Población servida          | <b>170,000</b>                               |
| Actualización más reciente                | <b>2004</b>  | Tipo de tratamiento        | <b>Secundario anaerobio-anóxico-aerobio.</b> |
| Gasto de diseño                           | <b>1,250 L/s</b>   | Gasto de operación         | <b>700 L/s</b>                               |

Según la información proporcionada por el personal de Mitsui & Co. Infraestructure Solutions, S.A. de C.V., operador de la PTAR FIRIOB, la planta recibe las descargas industriales de nueve industrias: alimenticia, papelera, cervecera y curtiduría. En la Tabla 241 se presentan las industrias cuyas aguas residuales actualmente son tratadas en esta PTAR.

La proporción, en volumen, es de 70% de aguas municipales y 30% de aguas industriales, mientras que la proporción en carga orgánica es la inversa: 30% carga orgánica municipal y 70% carga orgánica industrial.

**Tabla 241. Empresas que descargan a PTAR FIRIOB**

| <b>Empresa</b>                     | <b>Ubicación</b>                        | <b>Observaciones</b>   |
|------------------------------------|---|--|
| Sabritas<br>Planta<br>Orizaba      | 18.86627228398018<br>-97.05880031326468 | Productos alimenticios.<br>Av. 1, Escamela, 94463 Ixtaczoquitlán, Ver.   |
| Industrias<br>Chahin de<br>Orizaba | 18.84758397727313<br>-97.09153055046099 | <a href="https://www.chahinleather.com/">https://www.chahinleather.com/</a><br>Producción de cuero de flor entera procesado en curtido vegetal |

| <b>Empresa</b>                  | <b>Ubicación</b>                         | <b>Observaciones</b>  |
|---------------------------------|--|---|
| Fermex                          | 18.869462464234914<br>-97.07011298438772 | Producción de levaduras. Pertenece al grupo francés Lesafre, especializado en fabricación de almidones, féculas y levaduras.  |
| Cervecería Cuauhtémoc (Orizaba) | 18.850868441655887<br>-97.10576431744227 | Heineken México<br>Producción de cerveza, lavado de unidades de proceso   |
| Papelera Celfimex               | 18.840135930454565<br>-97.10017938982496 | Celulosa de Fibras Mexicanas SA de CV<br><a href="https://celfimex.com.mx/">https://celfimex.com.mx/</a><br>Fabricación de papeles Kraft, envoltura y papel toalla. Capacidad de producción: 40 ton/día, utilizando fibras 100 % recicladas   |
| Tenería Company Orizaba         | 18.844488878464006<br>-97.10186062221558 | <a href="http://www.teneriacompany.com/inicio_ls.html">http://www.teneriacompany.com/inicio_ls.html</a><br>Producción de cuero con curtido vegetal y doble curtido de cromo-vegetal.  |
| International Paper             | 18.866462963168416<br>-97.05778660291962 | <a href="https://www.internationalpaper.com/products/na/corrugated-packaging/locations/mexico/veracruz">https://www.internationalpaper.com/products/na/corrugated-packaging/locations/mexico/veracruz</a><br>Ave 1 # 1, Parque Industrial, 94450 Ixtaczoquitlán<br>Ixtac Corrugated Box Plant |
| Tenería Company Planta Ixtac    | 18.86686431666087<br>-97.0582061196103   | <a href="http://www.teneriacompany.com/inicio_ls.html">http://www.teneriacompany.com/inicio_ls.html</a><br>18.86643791457485, -97.05809346629904<br>Fundador PTAR FIRIOB  |
| Kimberly Clark                  | 18.862686144002005<br>-97.06462467515745 | Producción de papel.<br><a href="https://www.scribe.com.mx/">https://www.scribe.com.mx/</a>   |

De acuerdo con información oral del operador, se considera que el aporte de cada una de las tenerías no excede los 2 L/s. El mayor aportador es la industria cervecera (80 L/s). La mayor carga orgánica la proporciona la empresa Fermex. Se menciona que las empresas papeleras (Kimberly Clark y Biopapel) cuentan con un proceso de pretratamiento para la eliminación de fibras. Considera que el aporte industrial oscila de 180 a 200 L/s, mientras que el aporte municipal es de 480 a 550 L/s. La planta fue diseñada para tratar un caudal de 1250 L/s.

### **35.2 Ubicación**

La PTAR FIRIOB se ubica en el municipio de Ixtaczoquitlán, Ver., al este de la cabecera municipal que es el extremo oriental de la zona Metropolitana de Orizaba (ZMO) y cercana a la confluencia de los ríos Escamela y

Manzinga. La PTAR es operada por la empresa Mitsui & Co. Infrastructure Solutions, S.A. de C.V. (Mitinfra). El Gerente de Operación es el Ing. Mario Alfredo Guerrero Torres. En la Tabla 2 se muestran los datos de ubicación y contacto de la PTAR.

**Tabla 242. Ubicación y contacto**

| <b>Ubicación</b>   |  |  |                             |
|--------------------|--|--|-----------------------------|
| Nombre de la PTAR  | <b>FIRIOB</b>                            | Mapa de ubicación<br> |                             |
| Calle y número     | <b>Norte 15 # 1 esquina Díaz Mirón.</b>  |  |                             |
| Colonia y C.P.     | <b>Centro. 94450</b>                     |  |                             |
| Municipio y estado | <b>Ixtaczoquitlán, Ver.</b>              |  |                             |
| Coordenadas        | <b>Lat 18.852812<br/>Long -97.051386</b> |  |                             |
| <b>Contacto</b>    |  |  |                             |
| Nombre             | <b>Ing. Mario A. Guerrero Torres</b>     | Puesto   | <b>Gerente de Operación</b> |
| Correo electrónico | <b>mario.guerrero@mitinfra.com</b>       | Teléfono   | <b>272.7211.600</b>         |

### 35.3 Descripción del proceso

Las aguas residuales generadas en la ZMO y en las industrias ubicadas en periferia de la PTAR (Figura 724) son conducidas por los colectores Río Blanco y Escamela y se reciben en la caja derivadora TQ-100 (Figura 725), la cual cuenta con un by pass que permite desviar las excedencias al gasto de diseño y la libre descarga de los colectores sin afectar la eficiencia operativa de la PTAR.



**Figura 724. Ubicación de las empresas que descargan a la PTAR FIRIOB.**

En la Figura 726 se presenta el vertedor de demasías, el cual cuenta con un medidor ultrasónico Endress + Hauser FMU90, que se encuentra ubicado en zona contigua al lado del vertedor del efluente tratado. Para el aforo del influente, se cuenta con un medidor Siemens Milltronics OCMIII, el cual fue calibrado el 17 de junio de 2022 (vigencia de un año, Figura 727). Asimismo, se cuenta con un muestreador automático (Figura 728). Posteriormente y a través del colector de entrada, el agua residual es enviada a las unidades de tratamiento (Figura 729).



**Figura 725. Caja derivadora y válvula de by-pass para excedencias.**



**Figura 726. Vertedor de demasías.**



Figura 727. Medidor influente.



Figura 728. Muestreador automático.



Figura 729. Colector general (influyente) de la PTAR FIRIOB.

El agua residual tiene un flujo máximo de operación de 1250 L/s, y en primera instancia pasa el pretratamiento, constituido por las rejillas automáticas gruesas autolimpiantes (Figura 730) para retener los sólidos mayores a 6mm de diámetro, un desarenador aireado (Figura 731) en donde se elimina la mayoría de las arenas, grasas y aceites, y unas rejillas finas de tambor rotatorio (Figura 732), en donde se eliminan sólidos mayores a 2mm.



**Figura 730. Pretratamiento: rejillas gruesas.**



**Figura 731. Pretratamiento: desarenador aireado y soplador.**





**Figura 732. Pretratamiento: rejillas finas de tambor rotatorio.**

El agua procedente de las rejillas finas pasa a la laguna de homogenización (Figura 733) para posteriormente enviarla a los reactores anaerobios. Durante la visita técnica, se observó que la laguna se encuentra en reparación debido a que la geomembrana se rasgó por “surada” (fuertes vientos de componente sur que alcanzan hasta 80 km/h).



**Figura 733. Laguna de homogenización en mantenimiento correctivo.**

El agua proveniente de la laguna de homogenización se bombea por medio de cinco bombas centrífugas de carcasa bipartida (BC-209 A-B-C-D-E, Figura 734) hacia los reactores anaeróbicos (RAN-201 A-B-C-D-E, Figura 735).



Figura 734. Bombas alimentadoras de reactores anaerobios BC-209 A-B-C-D-E).





**Figura 735. Reactores anaerobios.**

El proceso anaeróbico se lleva a cabo en cinco reactores anaerobios de flujo ascendente operando en paralelo (RAN-201 A-B-C-D-E). Cada RAFA, internamente, tiene una cama de lodos en la parte inferior y en la parte superior es agua con un menor contenido de sólidos. El agua alimentada por cada tubo difusor es introducida en el fondo de la cama de lodos y posteriormente el agua empieza a ascender llevándose a cabo la digestión anaerobia. El agua que ya dejó la cama de lodos sigue ascendiendo hasta llegar a los separadores de tres fases, los cuales consisten en mamparas triangulares que permiten la separación entre la biomasa que haya escapado de la cama de lodos, el biogás y el agua. El biogás, por medio de estos separadores, se acumula en la parte superior de los reactores donde se encuentra confinado entre el nivel del agua y el techo del reactor. El biogás es conducido por medio de tubería de polietileno hacia su posterior tratamiento (lavado).



**Figura 736. Efluente de reactores anaerobios (RAN-201 A).**

Los sólidos contenidos en el agua, al chocar contra los separadores de tres fases, son devueltos hacia la cama de lodos. El agua tratada sigue hasta llegar al vertedor que colecta el agua tratada y posteriormente hacia la tubería de salida (Figura 736).

Del fondo del reactor se extraen lodos por medio de tres bombas de pistón circunferencial (BP-206 A-B-C, Figura 737). Cuando se exceda el nivel de

lodos se envían hacia el tanque receptor de lodos (TQ-503) La purga de lodos se realiza hasta de tres reactores anaeróbicos a la vez.





**Figura 737. Bombas de extracción de lodos de reactores anaerobios (BP-206 A-B-C).**

El efluente tratado se recolecta en un canal desde los vertederos y se envía mediante tubería a gravedad hacia el cárcamo de bombeo (TQ-208, Figura 738). Todos los reactores tienen descargas en tubería de polietileno de 24 pulgadas. Del cárcamo de bombeo las bombas centrífugas horizontales de envío a reactor biológico (BC-204 A-B-C-D-E cuatro en operación y una en stand-by) enviarán una parte del efluente anaeróbico a un tratamiento posterior de pulido aeróbico (Figura 738).



**Figura 738. Cárcamo de bombeo TQ-208 y cárcamo de bombas BC-204, Bombas 204 A-B-C-D-E.**

Se envía aproximadamente el 62% del efluente de los reactores anaerobios a los reactores aerobios (Figura 739). El proceso es un sistema aerobio secuencial alternando los ciclos de operación de los compartimientos, con remoción biológica de nutrientes.



**Figura 739. Reactores aerobios, RAE-301 A-B-C.**

En los tanques de aireación los lodos activados son mezclados con el efluente del proceso de los reactores anaerobios. El aire es proporcionado por los Sopladores SO-303 A-B-C-D-E (cuatro en operación y uno en stand-by, Figura 740).







**Figura 740. Sopladores SO-303 A-B-C-D-E.**

El lodo producido durante el proceso sedimenta en el compartimiento de sedimentación, el agua tratada es separada por gravedad y el efluente clarificado se descarga a través de un vertedor.

Los lodos secundarios purgados por medio de las bombas de lodos BP-307 A-B-C (Figura 741), las cuales envían el lodo hacia su tratamiento (Filtro banda FB-510, Figura 742).





Figura 741. Bombas de lodos BP-307 A-B-C





**Figura 742. Filtro banda FB-510**

La salida del reactor biológico aerobio se efectúa por gravedad mediante vertedor y tubería hacia el canal de efluentes aeróbicos, donde se encuentra el punto de inyección en el cual se dosifica Hipoclorito de Sodio al 13% de concentración procedente del tanque TQ-117, del cual se consume de 6 a 8 ton/mes, con el fin de llevar a cabo el proceso de desinfección a la descarga del efluente tratado (Figura 743).



**Figura 743. Tanque de hipoclorito de sodio y punto de dosificación.**

El efluente tratado es conducido a través del canal hasta el tanque de cloración tipo serpentín (TQ-400, Figura 744) el cual está tapado por una malla sombra. A la salida del tanque se encuentra ubicado sobre el canal Parshall de salida el medidor ultrasónico de aforo (FIT-408, Endress + Hauser FMU90, coordenadas un medidor  $18^{\circ}51'11.8''N$  -  $97^{\circ}02'51.1''O$ , Figura 746), el cual fue calibrado el 17 de junio 2022 y con vigencia de un año.



**Figura 744. Tanque de cloración.**



**Figura 745. Canal Parshall de salida y medidor de efluente.**



**Figura 746. Ubicación rectificada el punto de monitoreo de la descarga ( $18^{\circ}51'11.8''N$   $97^{\circ}02'51.1''O$ ).**

La PTAR “FIRIOB” es un fideicomiso entre cuyos fideicomisarios están el Gobierno Federal; el Gobierno del Estado de Veracruz; los ayuntamientos de Camerino Z. Mendoza, Huiloapan de Cuauhtémoc, Ixtaczoquitlán, Nogales, Orizaba y Río Blanco; y la delegación Orizaba de Industriales del estado de Veracruz. Los recursos para la operación y mantenimiento de la PTAR provienen principalmente de las aportaciones de los industriales.

En principio, los ayuntamientos tienen que hacer aportaciones económicas para la operación de la PTAR pero en general no las realizan, benefician al proceso de tratamiento al contribuir con el agua residual municipal (doméstica), la cual provee los nutrientes que requieren los microorganismos para la degradación de la materia carbonácea y

disminuyen la concentración del agua residual de origen industrial para que pueda ser tratada con efectividad mediante un sistema biológico.

El agua tratada se vierte en el río Escamela y aguas abajo confluye con el río Manzinga que abastecen de agua al embalse de la central hidroeléctrica de Tuxpango.

### **Diagrama del proceso de tratamiento**

En la Figura 747 se presenta el diagrama de flujo del proceso de tratamiento. De manera general, para su identificación interna, la PTAR FIRIOB se divide en siete áreas principales:

- 100 - PRETRATAMIENTO
- 200 - ANAERÓBICOS
- 300 - AERÓBICOS
- 400 - CLORACIÓN
- 500 - LODOS
- 600 - SECADOR DE LODOSICIOS
- 700 - SERVICIOS

La línea de agua de la PTAR consta de pretratamiento, homogenización, tratamiento anaerobio-anóxico-aerobio y desinfección. La planta se diseñó para tratar 1250 L/s, bajo la siguiente premisa: el total del influente pasa por el pretratamiento, igualación y tratamiento anaerobio, de ahí 3/5 del agua se enviarían a los tres módulos de reactores secuenciales anóxico-aerobio (aproximadamente 700 L/s).

Dado que el caudal de agua residual, sin influencia de lluvia, que llega a la PTAR es de 700L/s en promedio, en la actualidad todo el efluente de los reactores anaerobios es enviado al tratamiento anóxico-aerobio. En la medida que la aportación pluvial crece, una fracción del caudal anaerobio no es enviada a la siguiente etapa de proceso, sino que se deriva y se mezcla con el efluente de los módulos anóxico-aerobio, esto hasta llegar a un gasto de 1250 L/s. Cuando se excede este flujo, el caudal excedente se deriva directamente a cuerpo receptor. El agua se conduce por gravedad hasta la PTAR en el registro de llegada se mide el caudal y se cuenta con un muestreador automático para generar las muestras compuestas diarias que son analizadas para efecto del control del proceso.

Se tienen dos juegos de rejillas gruesas automatizadas (Figura 748), después el agua se junta en un tanque intermedio. Los sólidos retenidos son transportados por las bandas BAN-111 A y BAN-111 B y depositados en un contenedor para su disposición municipal. El gerente de operación

comenta que el contenedor es de 3m<sup>3</sup>, y se vacía cada 10 días en temporada de estiaje, y cada 15 días en temporada de lluvias. Resalta que las basuras municipales no representan un problema para la PTAR ya que los municipios servidos son muy limpios y no se tira basura en las calles, además de contar con servicio de barrido de calles muy eficiente. El volumen de sólidos que se remueve es de 6 a 9 m<sup>3</sup>/mes.

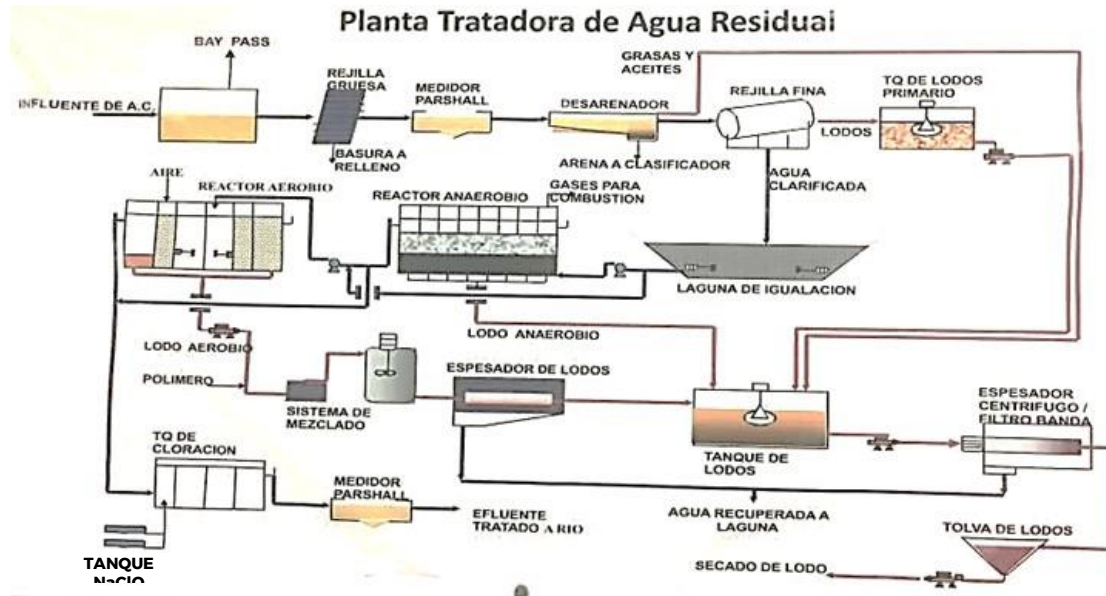


Figura 747. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento.



Figura 748. Rejillas gruesas.

Del tanque posterior a las rejillas el agua residual se distribuye en tres desarenadores aireados (Figura 749), cada uno de ellos equipado con un puente móvil para la succión de la arena depositada y para el control de grasas y materia flotante. El volumen de arena que se remueve es, en promedio, de 7 m<sup>3</sup>/mes. En época de lluvias puede llegar a 14 m<sup>3</sup>/mes.

El sistema de inyección del aire provoca un flujo helicoidal del agua, lo cual facilita la separación de las arenas y de grasas y aceites. El aire es suministrado por medio del soplador SO-107\_A/B (Figura 750) a través de difusores de burbujas gruesas colocados a lo largo del desarenador (Figura 751). En la superficie externa de dichas burbujas de aire se forma una película de sólidos, grasas y aceites, los cuales son llevados a la superficie y arrastrados por la parte superior del desarenador con el puente (Figura 752) hacia la zona de natas (Figura 753), las cuales se envían por gravedad al Tanque de mezcla de lodos TQ-503 (Figura 754).

El tiempo de residencia teórico del desarenador es de 4 minutos, y la eficiencia de remoción de arena > 200 micrones, será superior al 90% y de grasas y aceites libres con densidad < 0.9 g/cm<sup>3</sup> será superior a 80 %.



**Figura 749. Vista de los desarenadores aireados.**



**Figura 750. Caseta de soplador para desarenadores aireados.**





**Figura 751. Caseta de soplador para desarenadores aireados.**



**Figura 752. Puente de desarenadores.**



**Figura 753. Zona de natas.**

Las arenas son recogidas por la bomba tipo air lift y enviada a la zona de lavado de arenas de donde alimenta por gravedad al separador de arenas

tipo tornillo. La arena se recolecta en un contenedor para su disposición posterior (Figura 755).



**Figura 754. Tanque de lodos TQ-503.**



**Figura 755. Lavado y recolección de arenas.**

El agua desarenada pasa por las rejillas finas, proceso conformado por cuatro rejillas de tipo tambor con una apertura de 2 mm (Figura 760) con capacidad de 312.5 L/s cada una de ellas, y el volumen de sólidos que remueven es inferior a 1 m<sup>3</sup>/mes. Los desechos removidos se disponen en un relleno sanitario.



**Figura 756. Vista de las rejillas finas tipo tambor.**

A continuación, el agua residual entra a la laguna de homogenización (75m x 75m x 5.5m), con un volumen útil de diseño de 36 560 m<sup>3</sup> y un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 8 horas.

En las condiciones actuales de operación el TRH es de 14.5 h. La laguna está pensada para amortiguar los picos de carga orgánica, variaciones drásticas de pH y grandes variaciones en el caudal que pueden producirse por las descargas industriales.



**Figura 757. Vista de la laguna de igualación**

Cabe señalar que durante la evaluación de la PTAR la laguna estaba en funcionamiento y recibiendo mantenimiento, colocando una nueva cubierta plástica (membrana de polietileno).

De la laguna de regulación el agua fluye por gravedad hacia el cárcamo de bombeo de las bombas bipartidas (BC 209) que alimenta a los reactores

anaerobios de flujo ascendente (RAFA). En el cárcamo se encuentran 5 bombas para alimentar el agua a los reactores, cada bomba alimenta a un reactor específico.

Se cuenta con cinco reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFAs), cada uno de ellos está subdividido en ocho secciones o subreactores que a su vez se dividen en dos partes. Así, cada RAFA cuenta con 16 compartimentos, cada uno de ellos con su propia tubería de alimentación, sistema de distribución de agua, campanas para separación de gas, sólidos suspendidos y agua.

Cada RAFA ocupa una superficie de 2,800 m<sup>2</sup> y tiene una altura útil de 5.5 m, por lo que el volumen total es de 15,400 m<sup>3</sup>. La altura del lecho de lodos es entre 2.5 y 2.8 m, de tal forma que el volumen ocupado por los lodos es de 7,840 m<sup>3</sup>. El tiempo de retención hidráulico de diseño es de 8 horas y el de operación es del orden de 14.3 horas. En la Figura 758 y la Figura 759 se muestra una vista aérea de los reactores anaerobios (RAN) y el detalle del efluente de uno de ellos.



**Figura 758. Vista aérea de los reactores anaerobios.**



**Figura 759. Vista del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente “D” en la zona del efluente.**

El caudal de diseño por reactor es de 250 L/s. Cada uno de los reactores tiene un flujo de alimentación distinto que se ajusta en función del caudal que recibe la PTAR. En la tabla se muestra el caudal de alimentación horario (de 0:00 h a 18:00 h) de cada uno de los RAFAs el día 26 de octubre.

**Tabla 243. Flujos de alimentación a los reactores anaerobios.**

| Hora  | RAN* A<br>(L/s) | RAN B<br>(L/s) | RAN C<br>(L/s) | RAN D<br>(L/s) | RAN E<br>(L/s) |
|-------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0:00  | 130.8           | 150.6          | 90.0           | 133.3          | 184.7          |
| 1:00  | 128.3           | 148.5          | 90.0           | 125.7          | 182.9          |
| 2:00  | 126.5           | 149.3          | 90.0           | 120.3          | 179.1          |
| 3:00  | 126.4           | 148.7          | 90.0           | 115.9          | 179.3          |
| 4:00  | 124.7           | 147.9          | 90.0           | 113.2          | 179.6          |
| 5:00  | 126.1           | 147.2          | 90.0           | 113.6          | 179.2          |
| 6:00  | 127.9           | 147.2          | 90.0           | 111.3          | 179.1          |
| 7:00  | 127.7           | 145.9          | 90.0           | 112.7          | 179.3          |
| 8:00  | 126.2           | 145.5          | 90.0           | 110.7          | 178.9          |
| 9:00  | 126.9           | 146.7          | 90.0           | 109.7          | 178.4          |
| 10:00 | 126.2           | 146.2          | 90.0           | 106.4          | 180.9          |
| 11:00 | 126.7           | 146.7          | 90.0           | 105.7          | 180.4          |
| 12:00 | 128.7           | 147.3          | 90.0           | 105.7          | 181.4          |
| 13:00 | 127.4           | 145.5          | 90.0           | 104.5          | 180.7          |

| <b>Hora</b> | <b>RAN* A<br/>(L/s)</b> | <b>RAN B<br/>(L/s)</b> | <b>RAN C<br/>(L/s)</b> | <b>RAN D<br/>(L/s)</b> | <b>RAN E<br/>(L/s)</b> |
|-------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 14:00       | 125.9                   | 143.7                  | 90.0                   | 100.7                  | 181.5                  |
| 15:00       | 128.3                   | 147.6                  | 90.0                   | 105.6                  | 181.3                  |
| 16:00       | 129.1                   | 148.2                  | 90.0                   | 105.3                  | 179.6                  |
| 17:00       | 130.6                   | 148.9                  | 90.0                   | 105.1                  | 182.9                  |
| 18:00       | 129.3                   | 148.6                  | 90.0                   | 104.9                  | 182.7                  |

\* Reactor Anaerobio - RAN: es la clave de identificación de los reactores anaerobios en la planta.

Como se observa en la Tabla 243, el reactor C no tiene variación en el caudal, los reactores A, B y E son bastante estables en el caudal que manejan, ya que la variación entre el flujo mínimo y máximo es menor que el 5%. Solo el reactor D tiene una variación importante ente flujo mínimo y máximo: 32%. En caso que el influente a la PTAR aumente en forma importante, los reactores D y C serían los primeros que se utilizarán para manejar ese flujo excedente.

El conjunto de reactores anaerobios produce 330 m<sup>3</sup>/h de biogás, mismo que secado, comprimido y aprovechado como combustible en el horno rotatorio que se utiliza para el secado de los lodos de purga del sistema.

El efluente de los reactores anaerobios se capta en otro cárcamo de bombeo (CB-204) que se utiliza para enviar el agua a los reactores secuenciales anóxico-aerobio.

Reactores secuenciales anóxico-Aerobio. Se cuenta con tres módulos de reactores secuenciales. Cada módulo está compuesto por ocho compartimentos o tanques. En la Figura 760 se muestra una vista aérea de los tres módulos de reactores secuenciales.



**Figura 760. Vista aérea de los rectores secuenciales anóxico-aerobio.**

Los dos reactores centrales son los anóxicos, en los que se recibe el efluente de los reactores anaerobios y la recirculación de los lodos del sedimentador. Estos reactores cuentan con propelas sumergidas que actuando en conjunto con la turbulencia generada por recirculación de los lodos y el agua residual mantienen la biomasa en suspensión sin agregar oxígeno disuelto. Los reactores anóxicos están interconectados entre sí.

Contiguo a cada reactor anóxico y en dirección del flujo del agua está un tanque de aireación que recibe el licor mezclado procedente de los reactores anóxicos. Cada uno de estos tanques de aireación cuenta con un sistema de aireación por difusión mediante el cual se proporciona oxígeno disuelto al licor mezclado y mantienen la biomasa en suspensión. Continuando en dirección del flujo, sigue otro tanque de aireación con características semejantes al anterior, es decir recibe el licor mezclado proveniente del tanque previo, cuenta con un sistema de aireación por difusión que sirve para oxigenar el agua residual y mantener la biomasa en suspensión.

Por el último, y en dirección del flujo, se encuentran en los extremos de los módulos, los reactores-sedimentadores los cuales operan por lotes. Una vez que se suspende la aireación, se decanta el agua por un periodo de 30 minutos y durante dos horas entrega agua clarificada que se dirige a la zona de desinfección con hipoclorito de sodio al 13%. Mientras uno de los

reactores-sedimentadores clarifica, el otro (extremo opuesto del módulo) airea el licor mezclado para favorecer la degradación de materia orgánica. Cabe señalar que los tanques de aireación-sedimentación cuentan con lamelas para favorecer la clarificación del agua tratada. En la Figura 761 se presenta una vista general de los tres módulos secuenciales anóxico-aerobio y en ella se aprecian los sopladores que prestan servicio a dichos módulos.



**Figura 761. Vista general de los módulos secuenciales anóxico-aerobio y sopladores.**

Dada la cercanía de la PTAR a la población se utiliza hipoclorito de sodio como agente desinfectante. Este se dosifica directamente en el canal que conecta a los reactores secuenciales anóxico-aerobio con el tanque de contacto de cloro.

El tanque de contacto de cloro (TQ-400) recibe la mezcla de agua residual con el hipoclorito de sodio y se le da suficiente tiempo de contacto para que el desinfectante pueda actuar, antes que el efluente sea enviado al punto de descarga.





**Figura 762. Tanque de contacto de cloro TQ-400**

En cuanto al tratamiento de lodos se refiere, estos son espesados y desaguados mediante el uso de filtros banda o de centrífugas, y posteriormente se envían al horno rotatorio de secado en el que se elimina la humedad y los microorganismos patógenos.

El biogás generado en los reactores anaerobios es el que se utiliza para el secado de los lodos. Los biosólidos son llevados a la planta cementera para que los utilicen como combustible. En la Figura 763 se muestra una vista general de horno rotatorio.



**Figura 763. Horno rotatorio para secado de lodos.**

## 36 REVISIÓN DOCUMENTAL

Se recopilaron los archivos correspondientes a los planos generales de la PTAR FIRIOB, los cuales se pueden consultar en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1lws6vwfnif9FCHKQC6qii3vUzXZWRWp-?usp=sharing> y serán entregados en memoria extraíble al término del proyecto.

### 36.1 Planos

Los archivos comprenden el plano general de planta (PLANO GENERAL DE PLANTA (1).PDF), planos funcionales (Tabla 244), plano arquitectónico (Tabla 245) y planos hidráulicos (Tabla 246). En algunos planos se indica que fueron actualizados en 2004. Los planos corresponden a las instalaciones actuales de la PTAR.

**Tabla 244. Contenido de la carpeta de planos funcionales**

| Plano | Área                                    | Título                                 | N° Plano           |
|-------|---|--|--------------------|
| 1.PDF | General                                 | Arreglo de equipo subestación          | D_PTFIR_E2_000_01  |
| 2.PDF | Desinfección                            | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_400_01 |
| 3.PDF | Tratamiento biológico anaeróbico 2 de 2 | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_200_02 |
| 4.PDF | Pretratamiento 1 de 2                   | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_100_01 |
| 5.PDF | Pretratamiento 1 de 2                   | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_100_01 |
| 6.PDF | Desinfección                            | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_400_01 |
| 7.PDF | Tratamiento biológico anaeróbico 2 de 2 | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_200_02 |
| 8.PDF | Pretratamiento 1 de 2                   | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_100_01 |

| Plano  | Área                                    | Título                                 | N° Plano           |
|--------|---|--|--------------------|
| 9.PDF  | Pretratamiento 2 de 2                   | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_100_02 |
| 10.PDF | Laguna de Homogenización                | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_150_01 |
| 11.PDF | Tratamiento biológico anaeróbico 1 de 2 | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_200_01 |
| 12.PDF | Tratamiento biológico anaeróbico 2 de 2 | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_200_02 |
| 13.PDF | Tratamiento biológico aeróbico          | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_300_01 |
| 14.PDF | Desinfección                            | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_400_01 |
| 15.PDF | Tratamiento de lodos                    | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_500_01 |
| 16.PDF | Tratamiento de lodos                    | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_500_02 |
| 17.PDF | Agua para lavado de gases               | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_600_01 |
| 18.PDF | Incineración de lodos                   | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_600_02 |
| 19.PDF | Servicios                               | Diagrama de tuberías e instrumentación | D_PTFIR_DTI_700_01 |

Nota: algunos archivos están repetidos.

**Tabla 245. Contenido de la carpeta de planos arquitectónicos**

| Plano                    | Área    | Título                    | N° Plano          |
|--------------------------|---------|---------------------------|-------------------|
| PLANO ARQUITECTONICO.PDF | General | Arreglo general de equipo | B_PTFIR_M2_000_01 |

**Tabla 246. Contenido de la carpeta de planos hidráulicos**

| Plano                          | Área | Título                     | N° Plano          |
|--------------------------------|------|----------------------------|-------------------|
| PLANO HIDRAULICO ENTRADA.PDF   | PTAR | Perfil hidráulico (1 de 3) | D_PTFIR_PH_000_01 |
| PLANO HIDRAULICO REACTORES.PDF | PTAR | Perfil hidráulico (2 de 3) | D_PTFIR_PH_000_02 |
| PLANO HIDRAULICO SALIDA.PDF    | PTAR | Perfil hidráulico (3 de 3) | D_PTFIR_PH_000_03 |

### 36.2 Permiso de descarga

El consorcio Mitinfra, operador de la PTAR, no cuenta con los títulos de permiso de descargas, ya que son los municipios servidos y la Comisión del Agua del Estado de Veracruz (CAEV) quienes detentan los títulos, todos ellos con las mismas coordenadas: 18°53'00" Norte y 97°04'15" Oeste y condiciones específicas y particulares de descarga.

En la Tabla 247 se presentan los títulos correspondientes a cada uno de los municipios, emitidos por la Dirección de Administración del Agua en el Organismo de Cuenca Golfo Centro, así como el volumen de descarga autorizado. El volumen de descarga para los seis usuarios autorizados para descargar es de 47,304,000 m<sup>3</sup>/año (1,500 L/s). La CAEV es responsable de la descarga generada por el Municipio de Nogales.

**Tabla 247. Títulos de los permisos de descarga asociados a la PTAR FIRIOB**

| Permiso              | Asignataria                   | Descarga m <sup>3</sup> /año | Descarga L/s |
|----------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------|
| 10VER134065/28HAOC08 | Mpio. Huiloapan de Cuauhtémoc | 788,400                      | 25           |
| 10VER134066/28HAOC08 | Mpio. Orizaba                 | 14,853,310                   | 471          |
| 10VER134067/28HAOC08 | CAEV                          | 3,248,135                    | 103          |
| 10VER134068/28HAOC08 | Mpio. Río Blanco              | 2,838,240                    | 90           |
| 10VER134069/28HAOC08 | Mpio. Ixtaczoquitlán          | 20,309,330                   | 644          |
| 10VER134070/28HAOC08 | Mpio. Camerino Z. Mendoza     | 5,266,585                    | 167          |

Los títulos fijan las condiciones específicas y particulares para el permiso de descarga procedentes de uso público urbano, las cuales corresponden a los LMP establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para cuerpo receptor tipo A, y son otorgados por un plazo de 35 años, contados a partir del 04 de octubre de 1994, esto es, son válidos hasta el 03 de octubre de 2029. Cada mes se presenta personal de cada municipio a la planta, pero solamente

realizan monitoreos de la descarga los municipios de Orizaba e Ixtaczoquitlán.

El gerente general de la PTAR FIRIOB informa que el punto registrado en el permiso de descarga no corresponde con el sitio de monitoreo en donde la CONAGUA y el laboratorio acreditado toma las muestras para cumplimiento de normatividad (actualmente NOM-001-SEMARNAT-1996 para cuerpo receptor tipo A y condiciones particulares de descarga conforme al permiso). Informa que, en 2017, este punto fue rectificado y se cuenta con un documento entregado a la Conagua en donde se establece el cambio de punto de monitoreo.

Se solicitó copia del mismo y se va a poner a consideración de FIRIOB el que nos puedan proporcionar una copia del mismo. El punto en donde se afora y se caracteriza el efluente tratado es el canal Parshall de salida ( $18^{\circ}51'11.8''N$   $97^{\circ}02'51.1''O$ , Figura 764), el cual cuenta con un medidor ultrasónico calibrado.



**Figura 764. Punto de muestreo registrado en el REPDA y punto de muestreo rectificado.**

Por otra parte, se consultó el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA, <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>) y se verificó la información de los permisos de descarga (Figura 765). En este caso, se observa que la fecha de registro de las descargas es 27/03/2008 y que, para el municipio de Orizaba, el título identificado como VER134066 (Figura 766) ampara dos descargas, una de ellas asociada al punto de descarga correspondiente a la PTAR FIRIOB.

En la Tabla 248 se presenta información de los permisos de descarga obtenida del portal electrónico del REPDA.

| Titular                                    | Título                               | Uso            | Autoridad que emite el acto   | Fecha de registro | Volumen de extracción de aguas nacionales (m3/año) | Número de anexos de aguas superficiales | Volumen de aguas superficiales (m3/año) | Número de anexos de aguas subterráneas | Volumen de aguas subterráneas (m3/año) |
|--|--------------------------------------|----------------|---|-------------------|--|---|---|--|--|
| MUNICIPIO DE HUILOAPAN DE CUAUHTEMOC, VER. | <a href="#">10VER134065/28HAOC08</a> | PUBLICO URBANO | DIRECCIÓN GENERAL DEL ORGANISMO DE CUENCA GOLFO CENTRO                      | 27/03/2008        | 0.00   | 0                                       | 0.00                                    | 0                                      | 0.00                                   |
| COMISION DEL AGUA DEL ESTADO DE VERACRUZ   | <a href="#">10VER134067/28HADA18</a> | PUBLICO URBANO | DIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN DEL AGUA EN EL ORGANISMO DE CUENCA GOLFO CENTRO | 27/03/2008        | 0.00   | 0                                       | 0.00                                    | 0                                      | 0.00                                   |
| MUNICIPIO DE RIO BLANCO, VER.              | <a href="#">10VER134068/28HAOC08</a> | PUBLICO URBANO | DIRECCIÓN GENERAL DEL ORGANISMO DE CUENCA GOLFO CENTRO                      | 27/03/2008        | 0.00   | 0                                       | 0.00                                    | 0                                      | 0.00                                   |
| MUNICIPIO DE IXTACZOQUITLAN, VER.          | <a href="#">10VER134069/28HAOC08</a> | PUBLICO URBANO | DIRECCIÓN GENERAL DEL ORGANISMO DE CUENCA GOLFO CENTRO                      | 27/03/2008        | 0.00   | 0                                       | 0.00                                    | 0                                      | 0.00                                   |
| MUNICIPIO DE CAMERINO Z. MENDOZA, VER.     | <a href="#">10VER134070/28HAOC08</a> | PUBLICO URBANO | DIRECCIÓN GENERAL DEL ORGANISMO DE CUENCA GOLFO CENTRO                      | 27/03/2008        | 0.00   | 0                                       | 0.00                                    | 0                                      | 0.00                                   |
| MUNICIPIO DE ORIZABA, VER.                 | <a href="#">VER134066</a>            | PUBLICO URBANO | ORGANISMO DE CUENCA GOLFO CENTRO  | 27/03/2008        | 0.00   | 0                                       | 0.00                                    | 0                                      | 0.00                                   |

**Figura 765. REPDA- permisos de descarga.**

|                                       |                          |  |          |
|---------------------------------------|--------------------------|--|----------|
| Título de concesión/asignación:       | VER134066                |  |          |
| Titular:                              | MUNICIPIO DE ORIZABA VER |  |          |
| Fecha de registro:                    | 27 de Marzo del 2008     |  |          |
| Uso que ampara el título:             | PUBLICO URBANO           |  |          |
| Volumen de aguas nacionales (m3/año): | 0.00                     |  |          |
| Anexos superficiales:                 | 0                        | Volumen de aguas superficiales (m3/año): | 0.00     |
| Anexos subterráneos:                  | 0                        | Volumen de aguas subterráneos (m3/año):  | 0.00     |
| Anexos de descarga(s):                | 2                        | Volumen de descarga (m3/día):            | 0.00     |
| Anexos de zona(s) federal(es):        | 2                        | Superficie (m2):                         | 1,329.66 |
| Anotaciones marginales:               | NO                       |  |          |

Selecciona el tipo de anexo(s) a visualizar

Superficiales
  Subterráneos
  Descargas Residuales
  Zonas Federales

**Anexo(s) de aguas residuales**

| No. | Latitud        | Longitud        | Estado                          | Municipio      | Región Hidrológica | Cuenca | Cuerpo Receptor | Descarga Afluente | Procedencia | Forma Descargar | Tipo | Volumen Descarga (m3/día) | Volumen Descarga (m3/año) |
|-----|----------------|-----------------|---------------------------------|----------------|--------------------|--------|-----------------|-------------------|-------------|-----------------|------|---------------------------|---------------------------|
| 1   | 18°53'00.0010" | -97°04'15.0010" | VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE | IXTACZOQUITLÁN | PAPALOAPAN         | 582    | RIO             |                   |             |                 |      | 0.00                      | 12,991,150.00             |
| 2   | 18°51'56.3010" | -97°07'08.1010" | VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE | ORIZABA        | PAPALOAPAN         | 582    | RIO             |                   |             |                 |      | 0.00                      | 1,862,160.00              |

**Figura 766. REPDA- permisos de descarga del municipio de Orizaba.**

**Tabla 248. Resumen de información del REPDA de los permisos de descarga**

| Titular                                  | Título                   | Fecha registro | N° anexos descarga | Volumen descarga m³/día | N° anexos zonas federales | Inicio vigencia: | Término vigencia: |
|--|--------------------------|----------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|------------------|-------------------|
| Municipio de Huiloapan de Cuahtémoc      | 10VER134065/<br>28HAOC08 | 27/03/2008     | 1                  | 2,160                   | 0                         | 04/10/1994       | 03/10/2029        |
| Comisión del Agua del Estado de Veracruz | 10VER134067/<br>28HADA18 | 27/03/2008     | 1                  | 8,899                   | 0                         |                  |                   |
| Municipio de Río Blanco                  | 10VER134068/<br>28HAOC08 | 27/03/2008     | 1                  | 7,776                   | 0                         | 04/10/1994       | 03/10/2029        |
| Municipio de Ixtaczoquitlán              | 10VER134069/<br>28HAOC08 | 27/03/2008     | 1                  | 55,642                  | 0                         | 04/10/1994       | 03/10/2029        |
| Municipio de Camerino Z. Mendoza         | 10VER134070/<br>28HAOC08 | 27/03/2008     | 1                  | 14,429                  | 0                         | 04/10/1994       | 03/10/2029        |
| Municipio de Orizaba                     | VER134066                | 27/03/2008     | 2                  | 0                       | 2                         | 04/10/1994       | 04/10/2029        |

Cabe resaltar que el título correspondiente a la Comisión del Agua del Estado de Veracruz presenta errores de captura con respecto al archivo al permiso de descarga correspondiente y no presenta las fechas de inicio y término de vigencia del permiso. Las condiciones particulares de descarga señaladas en los títulos se presentan en la Tabla 249.

**Tabla 249. Condiciones específicas y particulares para el permiso de descarga de aguas residuales**

| Parámetro               | Unidades   | CPD     |         | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Ríos - CR A |         | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Ríos, arroyos, canales, drenes |       |
|-------------------------|------------|---------|---------|--------------------------------------|---------|---|-------|
|                         |            | PM      | PD      | PM                                   | PD      | PM  | PD    |
| pH (VI)                 | UpH        | 5-10    | 5-10    | 5-10                                 | 5-10    | 6-9   | 6-9   |
| Temp.                   | °C         | NA      | NA      | NA                                   | NA      | 35  | 35    |
| G y A                   | mg/L       | 15      | 25      | 15                                   | 25      | 15  | 18    |
| Material flotante       | mm         | Ausente | Ausente | Ausente                              | Ausente | NA  | NA    |
| S. Sed.                 | ml/L       | 1       | 2       | 1                                    | 2       | NA  | NA    |
| SST                     | mg/L       | 150     | 200     | 150                                  | 200     | 60  | 72    |
| DBO <sub>5</sub>        | mg/L       | 150     | 200     | 150                                  | 200     | NA  | NA    |
| NT                      | mg/L       | 40      | 60      | 40                                   | 60      | 25  | 30    |
| PT                      | mg/L       | 20      | 30      | 20                                   | 30      | 15  | 18    |
| As                      | mg/L       | 0.2     | 0.4     | 0.2                                  | 0.4     | 0.2   | 0.3   |
| Cd                      | mg/L       | 0.2     | 0.4     | 0.2                                  | 0.4     | 0.2   | 0.3   |
| CN                      | mg/L       | 2.0     | 3.0     | 2.0                                  | 3.0     | 1   | 2     |
| Cu                      | mg/L       | 4.0     | 6.0     | 4.0                                  | 6.0     | 4   | 5     |
| Cr                      | mg/L       | 1.0     | 1.5     | 1                                    | 1.5     | 1   | 1.25  |
| Hg                      | mg/L       | 0.01    | 0.02    | 0.01                                 | 0.02    | 0.01  | 0.015 |
| Ni                      | mg/L       | 2.0     | 4.0     | 2                                    | 4       | 2   | 3     |
| Pb                      | mg/L       | 0.5     | 1.0     | 0.5                                  | 1.0     | 0.2   | 0.3   |
| Zn                      | mg/L       | 10.0    | 20.0    | 10                                   | 20      | 10  | 15    |
| CF                      | NMP/100 ml | 1,000   | 2,000   | 1,000                                | 2,000   | NA  | NA    |
| HH                      | H/L        | NA      | NA      | NA                                   | NA      | NA  | NA    |
| DQO                     | mg/L       | NA      | NA      | NA                                   | NA      | 150   | 180   |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 ml | NA      | NA      | NA                                   | NA      | 250   | 500   |



| Parámetro | Unidades         | CPD |    | NOM-001-SEMARNAT-1996<br>Ríos - CR A      |    | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>Ríos, arroyos, canales, drenes |    |
|-----------|------------------|-----|----|---|----|---|----|
|           |                  | PM  | PD | PM  | PD | PM  | PD |
| Color     | Longitud de onda |     |    | Coeficiente de absorción espectral máximo |    |   |    |
|           | 436 nm           |     |    | 7.0 m <sup>-1</sup>                       |    |   |    |
|           | 525 nm           |     |    | 5.0 m <sup>-1</sup>                       |    |   |    |
|           | 620 nm           |     |    | 3.0 m <sup>-1</sup>                       |    |   |    |
| Toxicidad | UT               | NA  | NA | NA  | NA | a los 15 minutos  |    |

VI: Valor instantáneo

PM: Promedio mensual

PD: Promedio diario

NA: No aplica

### 36.3 Análisis de la memoria de cálculo

La memoria de cálculo es un compendio de los valores iniciales de calidad del agua, las capacidades de los equipos y unidades de proceso. Se indican tipo de tecnología para el agua y para los lodos, las características del agua cruda y tratada (Tabla 250, Tabla 251, Tabla 93), algunos datos para diseño de equipo y/o proceso, pero no muestra un solo cálculo. Solo se expresan los valores de cada concepto y sus unidades, no hay plasmada una sola ecuación ni se detalla la forma en que se hacen los cálculos.

**Tabla 250. Características del agua cruda**

| Parámetro                | Unidades | Promedio mensual |
|--------------------------|----------|------------------|
| Flujo máximo             | L/s      | 1250             |
| DBO total                | mg/L     | 1272.0           |
| DBO total                | Ton/día  | 137.38           |
| DQO total                | mg/L     | 2683.0           |
| DQO total                | Ton/día  | 289.76           |
| SST                      | mg/L     | 615.0            |
| SST                      | Ton/día  | 66.42            |
| SSV                      | mg/L     | 184.0            |
| SSV                      | Ton/día  | 19.87            |
| Sólidos sedimentables    | mL/L     | 8.0              |
| Alcalinidad total        | mg/L     | 390.0            |
| Nitrógeno total          | mg/L     | 101.0            |
| Nitrógeno total          | Ton/día  | 10.91            |
| Fosfatos                 | mg/L     | 16.0             |
| Fosfatos                 | Ton/día  | 1.73             |
| Grasas y Aceites         | mg/L     | 52.0             |
| Grasas y Aceites         | Ton/día  | 5.62             |
| Sulfatos                 | mg/L     | 304.0            |
| Sulfatos                 | Ton/día  | 32.83            |
| DQO/SO <sub>4</sub>      |          | 8.8              |
| Potencial Hidrógeno (pH) |          | 8.0              |

|             |                    |     |
|-------------|--------------------|-----|
| Densidad    | Ton/día            | 1.0 |
| Temperatura | °C                 | 25  |
| Presión     | Kg/cm <sup>2</sup> | Atm |

Se indica, como nota a pie de la Tabla 250, que la compañía no será responsable de la calidad del agua tratada o de afectaciones a la planta o a terceros si la calidad del agua influente no cumple con todos los parámetros señalados en la tabla o bien por parámetros en la calidad de agua influente no especificados en la misma. Asimismo, considera que todos los parámetros no especificados en esta tabla estarán por debajo de los valores requeridos por la NOM-001-ECOL-1996.

**Tabla 251. Efluente de la laguna**

| <b>Parámetro</b>        | <b>Unidades</b> | <b>Promedio mensual</b> | <b>Promedio mensual</b> |
|-------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Flujo máximo            | L/s             | 1250                    | 1250                    |
| pH                      | unidades        | 8                       | 8                       |
| DBO total máximo        | ppm             | 1068                    | 1018                    |
| DBO total máximo        | kg/día          | 115,300                 | 109,900                 |
| SST máximo              | mg/L            | 358                     | 308                     |
| SST máximo              | kg/día          | 38,610                  | 33,210                  |
| SSV máximo              | ppm             | 240                     | 191                     |
| DQO total máximo        | ppm             | 2252                    | 2146                    |
| DQO total máximo        | kg/día          | 243,200                 | 231,64                  |
| Grasas y Aceites máximo | ppm             | 54                      | 44                      |
| Grasas y Aceites máximo | kg/día          | 5854                    | 4774                    |
| Fósforo total máximo    | ppm             | 26                      | 16                      |
| Fósforo total máximo    | kg/día          | 2808                    | 1728                    |
| Sulfatos máximo         | ppm             | 335                     | 304                     |
| Nitrógeno total máximo  | ppm             | 121                     | 101                     |
| Nitrógeno total máximo  | kg/día          | 13068                   | 10908                   |
| DQO/SO <sub>4</sub>     |                 | 8                       | 8.8                     |
| Arsénico máximo         | ppm             | 0.4                     | 0.2                     |

| Parámetro               | Unidades | Promedio mensual | Promedio mensual |
|-------------------------|----------|------------------|------------------|
| Cadmio máximo           | ppm      | 0.4              | 0.2              |
| Cianuros máximo         | ppm      | 3.0              | 1.0              |
| Cobre máximo            | ppm      | 6.0              | 4.0              |
| Cromo                   | ppm      | 1.5              | 1.0              |
| Mercurio                | ppm      | 0.02             | 0.01             |
| Níquel                  | ppm      | 4.0              | 2.0              |
| Plomo                   | ppm      | 1                | 0.5              |
| Zinc                    | ppm      | 20               | 10               |
| Temperatura agua mínima | °C       | 20               | 25               |
| Material flotante       |          | Típico municipal | Típico municipal |

La memoria de cálculo está dividida en seis secciones:

- I. Identificación del proyecto
- II. Objetivo del proyecto
- III. Requisitos del proyecto
- IV. Aspectos técnicos
- V. Aspectos del sitio
- VI. Documentos a entregar

En la Tabla 93 se presentan las condiciones del efluente tratado señaladas en la memoria de cálculo. En principio, el efluente cumple con los requisitos de calidad del agua comprometidos contractualmente.

**Tabla 252. Agua tratada (NOM-001-ECOL-1996 para cuerpo receptor).**

| Parámetro           | Unidades           | PD        | PM        |
|---------------------|--------------------|-----------|-----------|
| Flujo               | L/s                | 1240      | 1240      |
| pH                  | UpH                | 5-10      | 5-10      |
| Nivel efluente      | msnm               | 1101      | 1101      |
| Presión de efluente | Kg/cm <sup>2</sup> | gravedad  | gravedad  |
| Temperatura         | °C                 | No aplica | No aplica |
| G y A               | ppm                | 25        | 15        |

| <b>Parámetro</b>   | <b>Unidades</b> | <b>PD</b> | <b>PM</b> |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|
| Material Flotante  |                 | Ausente   | Ausente   |
| S. Sed.            | ppm             | 2         | 1         |
| SST                | ppm             | 200       | 150       |
| DBO <sub>5</sub>   | ppm             | 200       | 150       |
| DQO                | ppm             | ND        | ND        |
| NT                 | ppm             | 60        | 40.00     |
| PT                 | ppm             | 30        | 20,00     |
| As                 | ppm             | 0.4       | 0.2       |
| Cd                 | ppm             | 0.4       | 0.2       |
| CN                 | ppm             | 3.0       | 1.0       |
| Cu                 | ppm             | 6.0       | 4.0       |
| Cr                 | ppm             | 1.50      | 1.0       |
| Hg                 | ppm             | 0.02      | 0.01      |
| Ni                 | ppm             | 4         | 2         |
| Pb                 | ppm             | 1.0       | 0.5       |
| Zn                 | ppm             | 20        | 10        |
| Coliformes Fecales | NMP/100 ml      | 2,000     | 1,000     |

ND: No determinado

En la Figura 228 se muestra la forma en que está presentada la información del documento denominado memoria de cálculo, comprenden los datos para diseño de equipo/proceso de rejillas gruesas, desarenador, cloración, espesador de lodos, centrifugas para lodos, generación de lodos base seca y cenizas.

5. Datos para diseño de equipo / proceso:

a) Rejillas gruesas:

|                  |                |
|------------------|----------------|
| Tipo:            | Autolimpiantes |
| Apertura:        | 6 mm           |
| Inclinación:     | 75°            |
| Remoción de SST: | 2.7%           |

b) Desarenador

|                                 |                           |
|---------------------------------|---------------------------|
| Tipo:                           | Aireado                   |
| Tiempo de residencia hidráulico | 3.33 min                  |
| Flujo de aire                   | 10 m <sup>3</sup> /m h    |
| Remoción G y A                  | 15%                       |
| Remoción arenas                 | 80% (partículas > 200 μm) |

[3]  
BasesDiseñoRev2

Earth Tech México

MEAI BP 01 Bases de Diseño

Dirección Diseño y Construcción

FO 09-02-001

|                                |                                   |        |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------|
| Carga superficial máxima       | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h | 0.58   |
| Producción de lodos específica | kg bs/kg DBO                      | 0.84   |
| Producción de lodos            | kg/d                              | 13,026 |
| Edad de lodos                  | d                                 | 20     |

g) Cloración

Dosis de cloro:  
Efluente aeróbico: 6 ppm  
By-pass anaeróbico: 14 ppm

h) Espesador de lodos

Concentración lodo entrada: 1.43%  
Concentración lodo salida: 4%

i) Centrifugas para lodos

Concentración lodo entrada: 4%  
Concentración lodo salida: 18-20%  
Dosis de polímero: 4 kgs/Ton lodo b.s.  
Consumo de agua potable para preparación de polímero: 2.1 lps

j) Generación de lodos base seca:

Primarios 20 a 27 Ton/d  
Anaeróbicos 19 Ton/d  
Aeróbicos 13 Ton/d

k) Generación de cenizas: 14 a 17 Ton/d

6. Límites de batería:

- Del Agua cruda: el agua cruda será alimentada a la caja de llegada dentro de la PTAR
- Del agua tratada: El agua tratada se descarga al río Escamela por tubería existente.
- Instalaciones:  
Nuevas: Rejillas gruesas, rejillas finas, desarenadores, equipo del sistema aeróbico, sistema de desinfección, deshidratación e incineración de lodos, un quemador de biogas.  
Existentes: Laboratorio, taller, sistema de lavado de gases, 5 reactores anaeróbicos con tapa, 3 reactores anaeróbicos que serán usados como aeróbicos sin tapa, tanques de sosa, bombas dosificadoras de sosa, medidores de pH, un quemador de biogas.
- De los servicios:
  - Gas: Gas L.P. en tanque estacionario dentro de la PTAR
  - Energía eléctrica: Proporcionada por CFE en los límites del terreno de la planta
  - Agua de servicios: Tomada del agua tratada
  - Agua Potable: Tomada de la red municipal

[3]  
BasesDiseñoRev2

## Earth Tech México

MEAI BP 01 Bases de Diseño

Dirección Diseño y Construcción

FO 09-02-001

|                                |                                   |        |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------|
| Carga superficial máxima       | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h | 0.58   |
| Producción de lodos específica | kg bs/kg DBO                      | 0.84   |
| Producción de lodos            | kg/d                              | 13,026 |
| Edad de lodos                  | d                                 | 20     |

### g) Cloración

Dosis de cloro:  
 Efluente aeróbico: 6 ppm  
 By-pass anaeróbico: 14 ppm

### h) Espesador de lodos

Concentración lodo entrada: 1.43%  
 Concentración lodo salida: 4%

### i) Centrifugas para lodos

Concentración lodo entrada: 4%  
 Concentración lodo salida: 18-20%  
 Dosis de polímero: 4 kgs/Ton lodo b.s.  
 Consumo de agua potable para preparación de polímero: 2.1 lps

### j) Generación de lodos base seca:

Primarios 20 a 27 Ton/d  
 Anaeróbicos 19 Ton/d  
 Aeróbicos 13 Ton/d

### k) Generación de cenizas: 14 a 17 Ton/d

### 6. Límites de batería:

- a. Del Agua cruda: el agua cruda será alimentada a la caja de llegada dentro de la PTAR
- b. Del agua tratada: El agua tratada se descarga al río Escamela por tubería existente.
- c. Instalaciones:
  - Nuevas: Rejillas gruesas, rejillas finas, desarenadores, equipo del sistema aeróbico, sistema de desinfección, deshidratación e incineración de lodos, un quemador de biogas.
  - Existentes: Laboratorio, taller, sistema de lavado de gases, 5 reactores anaeróbicos con tapa, 3 reactores anaeróbicos que serán usados como aeróbicos sin tapa, tanques de sosa, bombas dosificadoras de sosa, medidores de pH, un quemador de biogas.
- d. De los servicios:
  - i). Gas: Gas L.P. en tanque estacionario dentro de la PTAR
  - ii). Energía eléctrica: Proporcionada por CFE en los límites del terreno de la planta
  - iii). Agua de servicios: Tomada del agua tratada
  - iv). Agua Potable: Tomada de la red municipal

Earth Tech México

MEAI BP 01 Bases de Diseño

Dirección Diseño y Construcción

FO 09-02-001

- g). De las emisiones: Se considera una emisión a la atmósfera de gases de combustión con trazas de óxidos de azufre.  
h). De los residuos: Las cenizas de la incineración de lodos serán dispuestas en un confinamiento de residuos autorizado.

7. Servicios auxiliares requeridos:

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Sistema contra Incendio                   | <input type="checkbox"/> Alumbrado de emergencia          |
| <input type="checkbox"/> Sistema de agua potable                   | <input type="checkbox"/> Aire comprimido                  |
| <input type="checkbox"/> Equipos de seguridad (lavabos, regaderas) | <input type="checkbox"/> Sistema de radios                |
| <input type="checkbox"/> Ventilación de edificios                  | <input type="checkbox"/> Sistema de voceo                 |
| <input type="checkbox"/> Grúas o monorrieles                       | <input type="checkbox"/> Sistema de circuito cerrado T.V. |
| <input type="checkbox"/> Equipo de transporte (camiones, grúas)    | <input type="checkbox"/> Sistema de alarmas vs. incendio  |
| <input type="checkbox"/> Red de computadoras                       |   |

8. Disponibilidad de servicios auxiliares:

| Servicio          | Características                                   |
|-------------------|---|
| Energía eléctrica | Por CFE con línea de alimentación de 13200 volts. |
| Agua de servicio  | Agua tratada                                      |
| Agua potable      | Red municipal                                     |
| Combustible       | Gas L.P. para incinerador                         |

9. Grado de automatización deseado:

- a. Automático:  
b. Manual:  
c. Marca de equipo deseado:  
d. Capacidad futura solicitada:  
e. Tipo DCS ó PLC: PLC


10. Restricciones importantes:

- a. Uso de sistemas existentes: SI  
b. Necesidad de equipos de respaldo: NO  
c. Permisos: SI  
d. Regulaciones ambientales: SI  
e. Normas a aplicar en el proyecto: NOM  
f. Capacidad de expansión:

Figura 767. Datos de diseño del documento denominado "Memoria de Cálculo"



Asimismo, en la Figura 768 se presenta la lista de documentos a entregar. No se cuenta con esta información.

| <b>VI. Documentos a entregar</b>                                |  |
|---|--|
| MEAI BP 01 Bases de diseño                                      |  |
| MEAI BP 05 Consideraciones generales                            |  |
| MEAI BP 06 Diagrama de flujo de proceso                         |  |
| MEAI BP 08 Descripción del proceso                              |  |
| MEAI BP 09 Diseño y cálculo de equipo principal                 |  |
| MEAI BP 11 Dimensionamiento de tuberías                         |  |
| MEAI BP 12 Diagrama preliminar de tubería e instrumentos        |  |
| MEAI BP 13 Especificación preliminar de equipo principal        |  |
| MEAI BP 14 Listado preliminar de equipo principal               |  |
| MEAI BP 17 Arreglo preliminar de equipo principal               |  |
| MEAI BP 18 Especificación de equipo principal                   |  |
| MEAI BP 19 Perfil hidráulico                                    |  |
| MEAI BP 20 Cálculo de equipo de transferencia                   |  |
| MEAI BP 21 Especificación preliminar de equipo de transferencia |  |
| MEAI BP 24 Especificación de equipo de transferencia            |  |
| MEAI BP 25 Listado de equipos                                   |  |
| MEAI BP 27 Listado de instrumentos                              |  |
| MEAI BP 28 Hojas de datos de proceso para instrumento           |  |
| <hr/>   |  |
| [3]<br>BasesDiseñoRev2  | <br>A tyco INTERNATIONAL LTD. COMPANY |
| <hr/>   |  |
| <b>Earth Tech México</b><br>Dirección Diseño y Construcción     | MEAI BP 01 Bases de Diseño<br><b>FO 09-02-001</b>  |
| <hr/>   |  |
| MEAI BP 29 Diagrama de tuberías e instrumentos (final)          |  |
| MEAI BP 30 Filosofía de control                                 |  |
| MEAI BP 31 Listado de líneas                                    |  |
| MEAI BP 32 Índice de válvulas                                   |  |
| MEAI BP 34 Evaluación de costos de operación                    |  |
| MEAI BP 35 Libro de ingeniería básica                           |  |

**Figura 768. Relación de documentos a entregar definidos en la “Memoria de cálculo”.**

### 36.4 Análisis de la información histórica de calidad del agua

Los resultados de los análisis de calidad del agua que la PTAR FIRIOB reportó a la Comisión Nacional del Agua entre julio de 2020 y mayo de 2021 se encuentran en la información documental entregada por la planta y la cual se encuentra en la liga <https://drive.google.com/drive/folders/1lws6vwfnif9FCHKQC6qii3vUzXZWRWp-?usp=sharing> y que será entregada al final del proyecto.

Es importante mencionar que los parámetros que se reportaron son los que contempla la NOM-001-SEMARNAT-1996, con excepción de metales pesados y cianuros, pero incluye DQO.

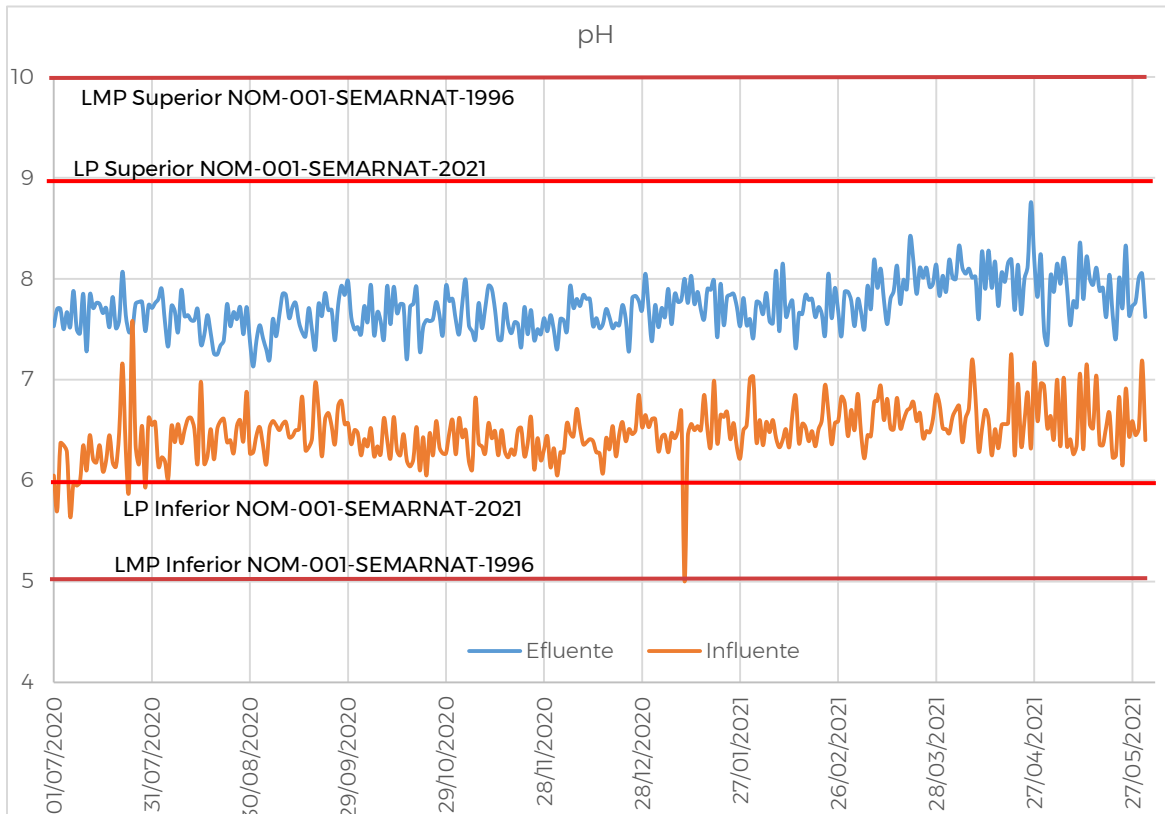
Para facilitar la interpretación de los resultados de los análisis se graficaron los parámetros siguientes: DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, pH, grasas y aceites (GyA), nitrógeno y fósforo totales. En la Tabla 253 se muestran los estadísticos de tales parámetros.

**Tabla 253. Estadísticos de los análisis históricos de calidad del agua cruda y tratada**

| Corriente                                | Estad.           | pH   | T<br>(°C) | SST<br>(mg/L) | DQO<br>(mg/L) | DBO<br>(mg/L) | NT<br>(mg/L) | PT<br>(mg/L) | G Y A<br>(mg/L) | E. Coli<br>NMP/100 |
|--|------------------|------|-----------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|-----------------|--------------------|
| <b>Influente</b>                         | <b>Mínimo</b>    | 5.00 | 18.80     | 330.0         | 1,518.        | 846.0         | 16.16        | 4.57         | 28.98           | N. R.              |
|  | <b>Máximo</b>    | 7.58 | 25.50     | 5,210.0       | 6,513.        | 3,320.0       | 141.70       | 38.25        | 49.17           | N. R.              |
|  | <b>Promedio</b>  | 6.48 | 22.28     | 1,494.5       | 3,356.        | 1,890.0       | 87.37        | 13.48        | 37.74           | N. R.              |
|  | <b>Mediana</b>   | 6.47 | 22.40     | 1,410.0       | 3,309.        | 1,872.0       | 90.19        | 12.46        | 37.63           | N. R.              |
|  | <b>Desv.Est.</b> | 0.27 | 1.28      | 574.8         | 854.          | 473.0         | 22.99        | 4.71         | 3.56            | -                  |
| <b>Efluente</b>                          | <b>Mínimo</b>    | 7.13 | 20.20     | 10.0          | 258.          | 11.70         | 5.54         | 0.90         | 2.56            | 12.00              |
|  | <b>Máximo</b>    | 8.76 | 26.90     | 160.0         | 772.          | 58.80         | 30.45        | 33.34        | 11.89           | 160.00             |
|  | <b>Promedio</b>  | 7.73 | 25.41     | 73.9          | 472.          | 32.16         | 16.19        | 3.68         | 8.67            | 81.88              |
|  | <b>Mediana</b>   | 7.72 | 25.40     | 75.0          | 459.          | 30.75         | 16.27        | 3.41         | 8.84            | 75.00              |
|  | <b>Desv.Est.</b> | 0.24 | 0.66      | 31.3          | 106           | 10.15         | 4.25         | 2.83         | 1.46            | 34.63              |
| <b>Eficiencia de remoción (promedio)</b> |                  |      |           | <b>95.05</b>  | <b>85.92</b>  | <b>98.30</b>  | <b>81.46</b> | <b>72.73</b> | <b>77.03</b>    | <b>N.A.</b>        |

### 36.4.1 pH

Dada la composición del agua residual (mezcla industrial con municipal) se esperaría que pudiera haber variaciones importantes de pH, sin embargo, el comportamiento es estable. En general, es ligeramente ácida, ya que el pH promedio es 6.48. El agua contiene suficiente alcalinidad ya que permite el funcionamiento de los reactores anaerobios sin acidificación. El efluente final de la PTAR es mayor que 7 y menor que 9, por lo que el efluente, en términos de pH, cumple con los límites permisibles (LP) de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021. En la Figura 769 se muestra el comportamiento del pH del influente y el efluente de la PTAR durante el periodo julio 2020 a mayo 2021.



**Figura 769. Comportamiento del pH: influente y efluente (2020 - 2021)**

El efluente de la PTAR cumple con los límites establecidos Tanto para la NOM-001-SEMARNAT-1996 como para la NOM-001-SEMARNAT-2021 durante el periodo analizado.

### 36.4.2 Grasas y Aceites

Tanto en la NOM-001-SEMARNAT-1996 como en la modificación del 2021 se establece como límite permisible para promedio mensual de grasas y aceites un valor de 15 mg/L y como se observa en la Figura 230 este valor no es rebasado, ya que la concentración en el efluente es menor que 12 mg/L, con un valor promedio de 8.67 mg/L.

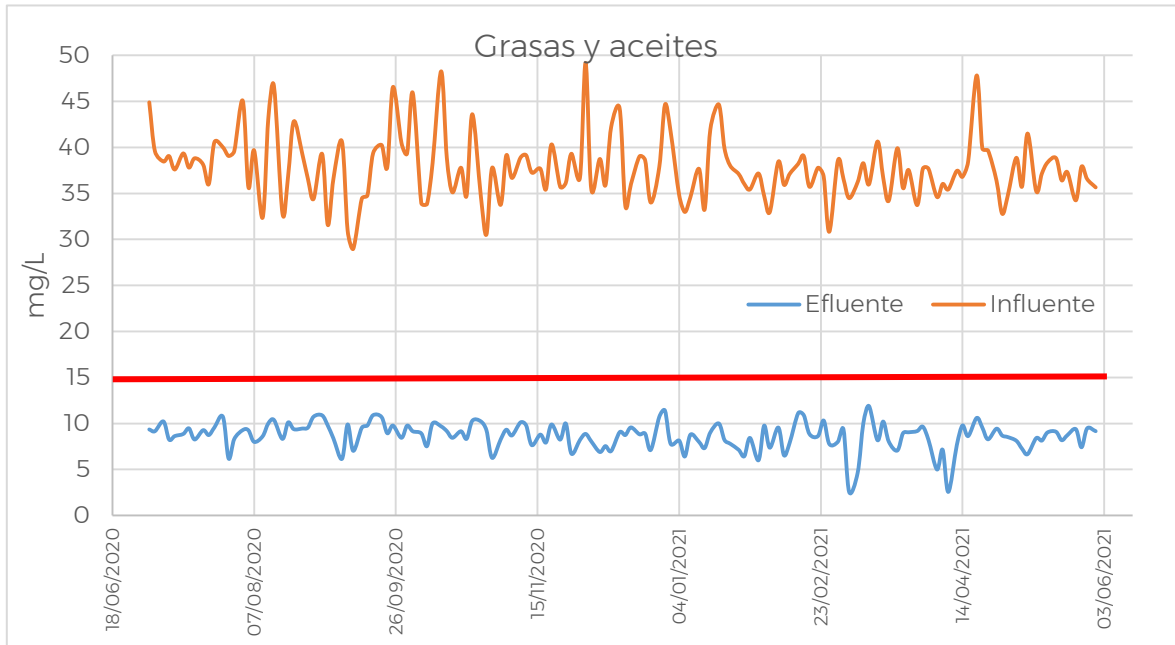
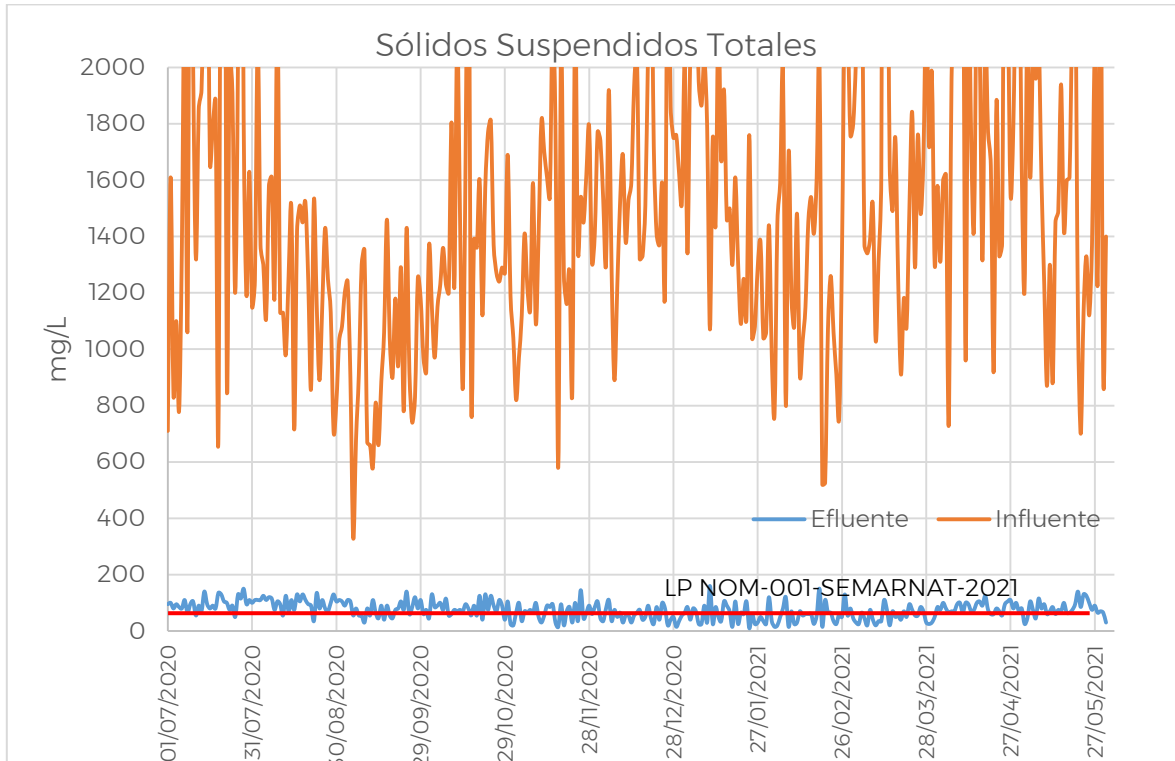


Figura 770. Tendencia de Grasas y Aceites (2020 - 2021)

### 36.4.3 Sólidos suspendidos totales (SST)

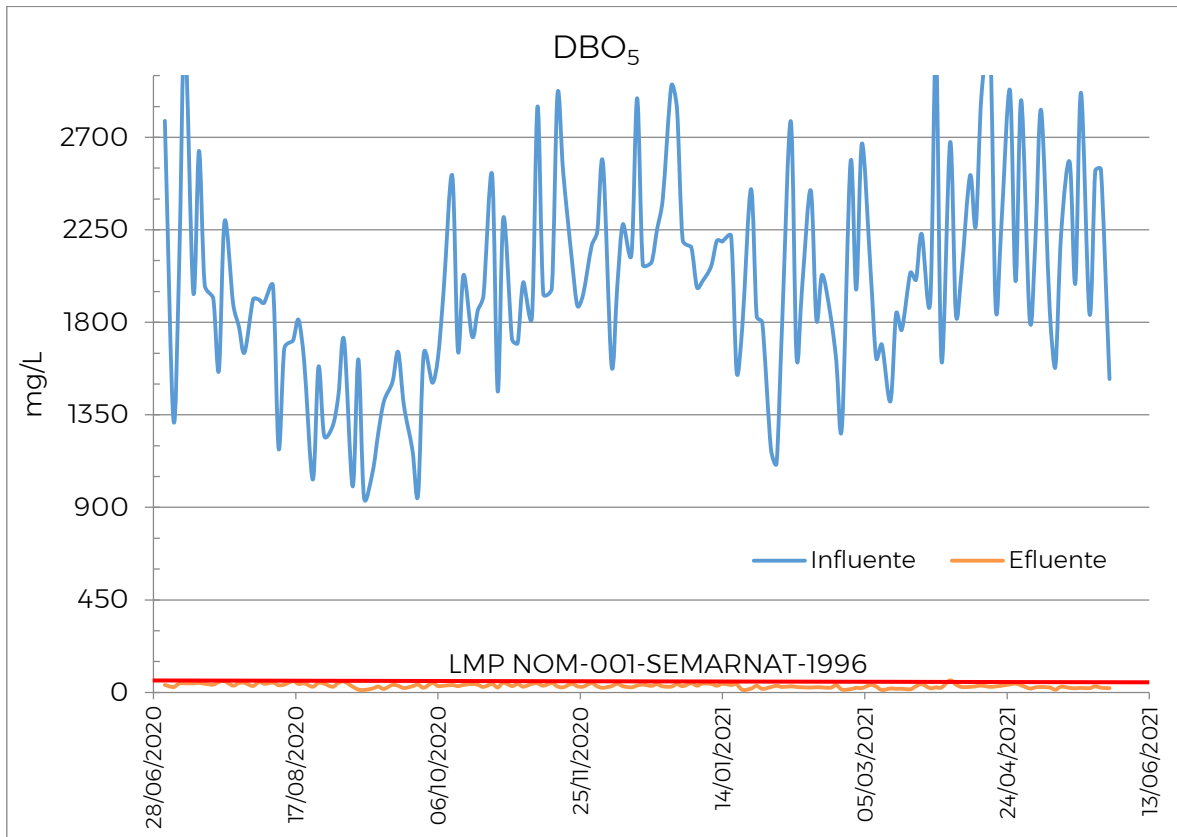
En la Figura 231 se observa que los valores del efluente oscilan alrededor de los 75 mg/L (regularmente se cumple el LMP NOM-001-SEMARNAT-1996) pero en varias ocasiones rebasan dicho límite. Es importante señalar que la concentración de sólidos suspendidos en el agua cruda es muy alta, con frecuencia rebasa los 2000 mg/L. Hay una eficiencia de remoción promedio de 95 % (Tabla 253) que, sin embargo, no garantiza el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021 (LP = 60 mg/L).



**Figura 771. Tendencia de Sólidos Suspendidos Totales (2020-2021)**

#### **36.4.4 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

En la Figura 232 se muestra el comportamiento de este parámetro tanto en el influente como en el efluente de la PTAR. El límite de 150 mg/L no se rebasa en ningún momento. Desde la perspectiva de la NOM-001-SEMARNAT-1996 la planta opera adecuadamente y la eficiencia de remoción es de alrededor del 98% (Tabla 253).

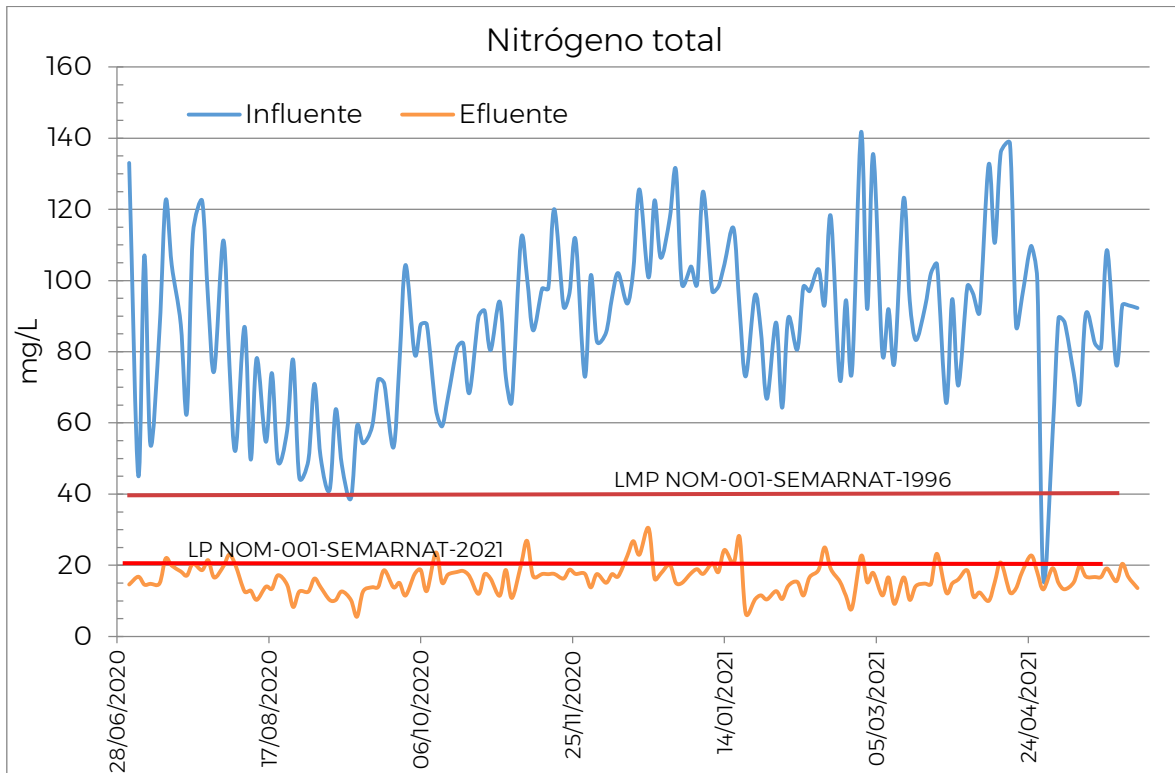


**Figura 772. Tendencia de DBO<sub>5</sub> (2020- 2021).**

### 36.4.5 Nitrógeno Total (NT)

A este parámetro están asociados el nitrógeno total Kjeldahl (NTK), nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal, y el reporte de calidad del agua presenta concentraciones de los tres primeros, sin embargo, solo el NT es de importancia para efectos de normatividad. Es importante comentar, que en el reporte de análisis prácticamente las concentraciones del NTK y las del NT son muy similares, la diferencia entre ellos es la suma de los nitritos y nitratos.

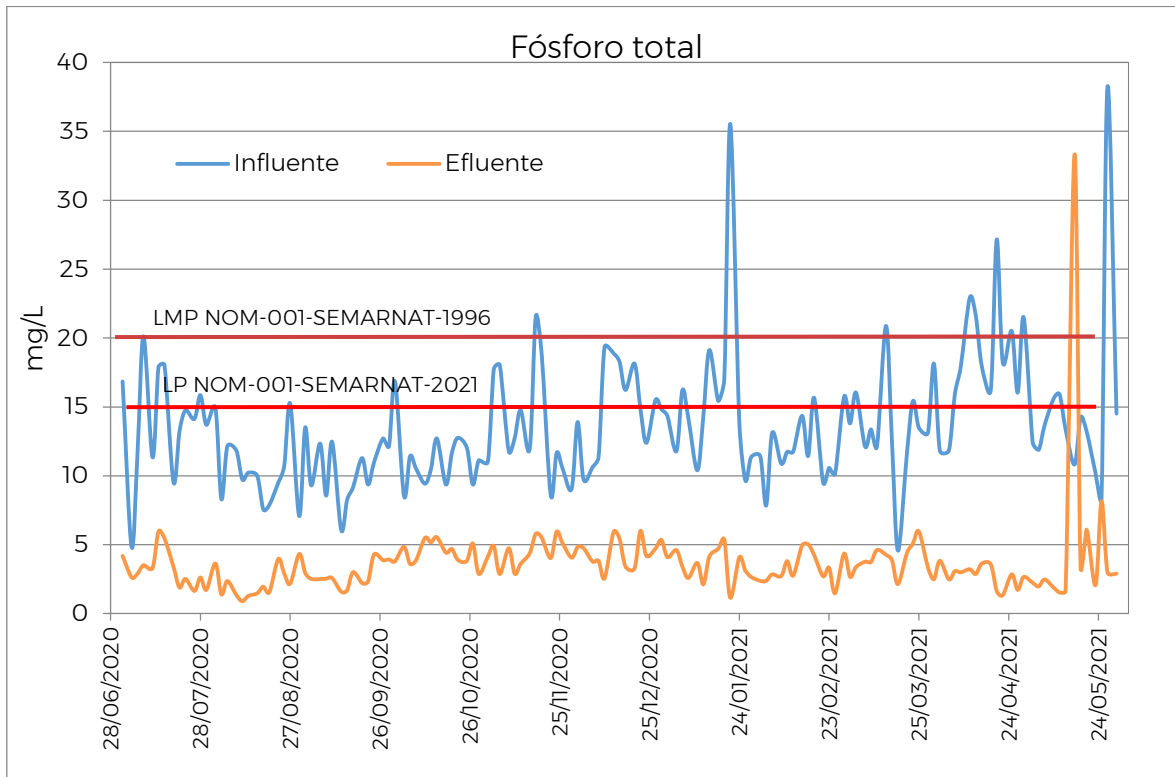
En la Figura 233 se observa que este parámetro está en todo momento por debajo del LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y, salvo cuatro puntos, también el efluente presenta una concentración menor al LP de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Con respecto a este parámetro la PTAR FIRIOB no requiere ajustes, satisface la normatividad vigente y futura.



**Figura 773. Tendencia de Nitrógeno Total (2020-2021)**

### 36.4.6 Fósforo Total (PT)

La Figura 234 muestra que la concentración de fósforo en el efluente de la PTAR es menor que 15 mg/L, salvo en un punto, que posiblemente sea un error de captura. De hecho, la concentración promedio de fósforo total en el efluente es de 3.6 mg/L. El agua cruda tiene también una concentración relativamente baja de fósforo total, el valor promedio es de 13.48 mg/L (Tabla 253), pero se tienen registros de hasta 38.25 mg/L. Se puede afirmar que la PTAR FIRIOB entrega un efluente que en todo momento cumple con la NOM-001 vigente y la que entra en vigor en 2023.



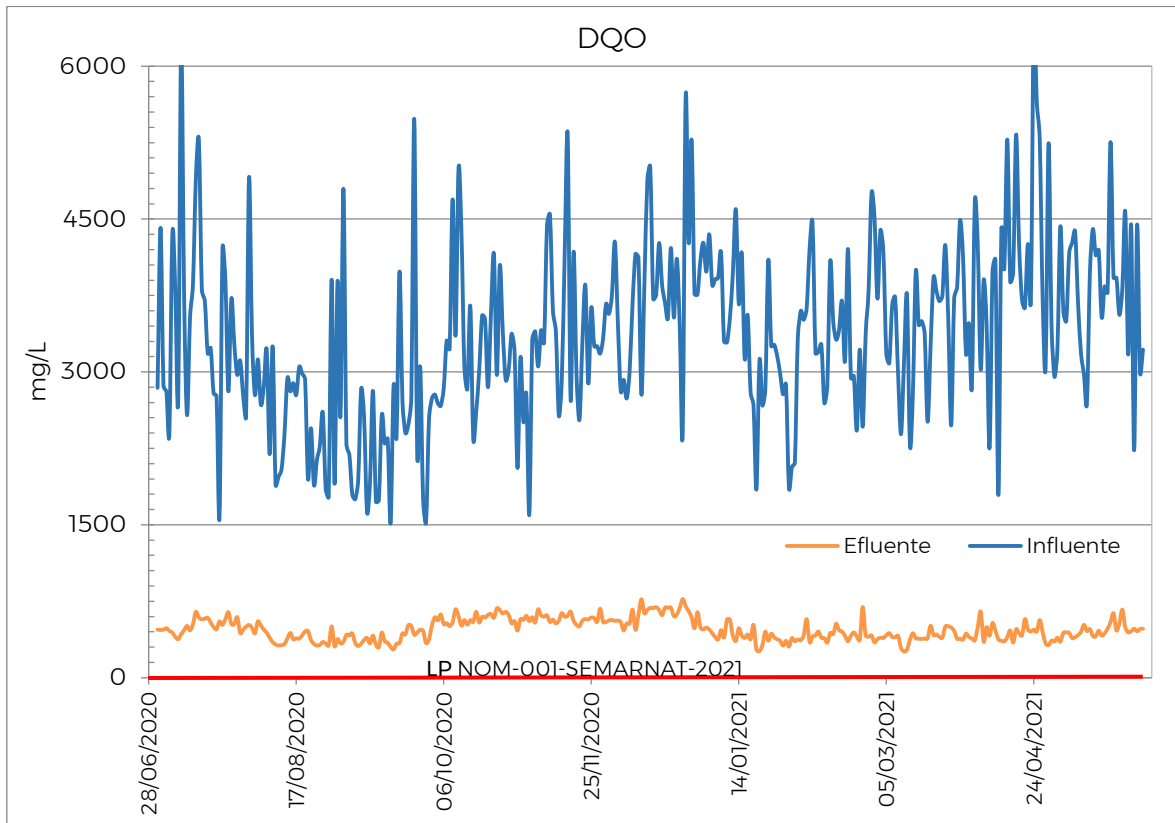
**Figura 774. Tendencia de Fósforo Total (2020-2021)**

### 36.4.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Si bien este parámetro no está considerado en el permiso de descarga de la PTAR, es de importancia debido a que entra en vigor con la actualización de la normatividad.

En la Figura 235 se observa que hay una remoción sustancial de este parámetro. La concentración promedio de DQO en el agua cruda es de 3356 mg/L con picos de hasta 6513 mg/L (Tabla 253), mientras que la concentración promedio del efluente es de 472 mg/L y la eficiencia de remoción promedio es de 85.9% (Tabla 253). A pesar de ello, la concentración final excede el LP de la NOM-001-SEMARNAT-2021.





**Figura 775. Tendencia de DQO (2020-2021)**

Por otra parte, la relación DQO/DBO en el influente oscila entre 1.79 y 1.96, lo que indica que el agua tiene un muy buen nivel de degradabilidad. Si bien la aportación industrial es tal que puede elevar la concentración de sustancias consumidoras de oxígeno disuelto hasta valores de 6500 mg/L, el comportamiento es semejante al de un agua puramente doméstica.

En el efluente, el cociente DQO/DBO tiene un comportamiento muy distinto del influente ya que alcanza proporciones de 13.13:1 hasta 22.05:1, es decir que la fracción no biodegradable que aporta la industria se hace evidente al final de tratamiento. Esto sin duda, define el hecho que el efluente tratado no esté en condiciones de cumplir con el LP de la NOM-001-SEMARNAT-2021 en este parámetro. La Tabla 98 presenta el comportamiento del cociente DQO/DBO tanto en el influente como en el efluente.

**Tabla 254. Estadísticas del cociente DQO/DBO.**

| <b>Influente</b> |                | <b>Efluente</b>  |                |
|------------------|----------------|------------------|----------------|
| <b>DQO/DBO</b>   |                | <b>DBO/DQO</b>   |                |
| <b>Mínimo</b>    | 1.21           | <b>Mínimo</b>    | 6.22           |
| <b>Máximo</b>    | 2.76           | <b>Máximo</b>    | 50.77          |
| <b>Promedio</b>  | 1.78           | <b>Promedio</b>  | 16.20          |
| <b>Mediana</b>   | 1.80           | <b>Mediana</b>   | 15.56          |
| <b>Percentil</b> | <b>DQO/DBO</b> | <b>Percentil</b> | <b>DBO/DQO</b> |
| 0.99             | 2.24           | 0.99             | 36.80          |
| 0.95             | 1.98           | 0.95             | 25.08          |
| 0.9              | 1.96           | 0.9              | 23.02          |
| 0.85             | 1.94           | 0.85             | 21.40          |
| 0.8              | 1.92           | 0.8              | 20.76          |
| 0.75             | 1.89           | 0.75             | 19.61          |
| 0.7              | 1.87           | 0.7              | 18.45          |
| 0.65             | 1.85           | 0.65             | 17.52          |
| 0.6              | 1.83           | 0.6              | 16.91          |
| 0.55             | 1.82           | 0.55             | 16.36          |
| 0.5              | 1.80           | 0.5              | 15.56          |
| 0.45             | 1.78           | 0.45             | 14.66          |
| 0.4              | 1.75           | 0.4              | 13.97          |
| 0.35             | 1.74           | 0.35             | 13.30          |
| 0.3              | 1.70           | 0.3              | 12.48          |
| 0.25             | 1.68           | 0.25             | 11.94          |
| 0.2              | 1.65           | 0.2              | 11.44          |
| 0.15             | 1.61           | 0.15             | 10.77          |
| 0.1              | 1.57           | 0.1              | 9.36           |
| 0.05             | 1.51           | 0.05             | 8.68           |

En la Tabla 133 se presentan los gastos promedios anuales para 2020, 2021 y 2022, así como los valores mínimos y máximos para cada año, así como para el periodo analizado. La Figura 776 presenta la variación del caudal en el periodo revisado. No se alcanza el caudal de diseño.

**Tabla 255 Caudal promedio tratado por año**

| Año           | Caudal promedio (L/s) |              |                |               |               |                |
|---------------|-----------------------|--------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
|               | Influente             |              |                | Efluente      |               |                |
|               | Promedio              | Mínimo       | Máximo         | Promedio      | Mínimo        | Máximo         |
| 2020          | 715.90                | 531.46       | 1085.70        | 709.22        | 498.08        | 1112.58        |
| 2021          | 701.49                | 325.68       | 983.10         | 701.02        | 389.78        | 1000.57        |
| 2022          | 686.49                | 92.27        | 1131.58        | 675.08        | 111.45        | 1104.59        |
| <b>Global</b> | <b>701.78</b>         | <b>92.27</b> | <b>1131.58</b> | <b>695.23</b> | <b>111.45</b> | <b>1112.58</b> |

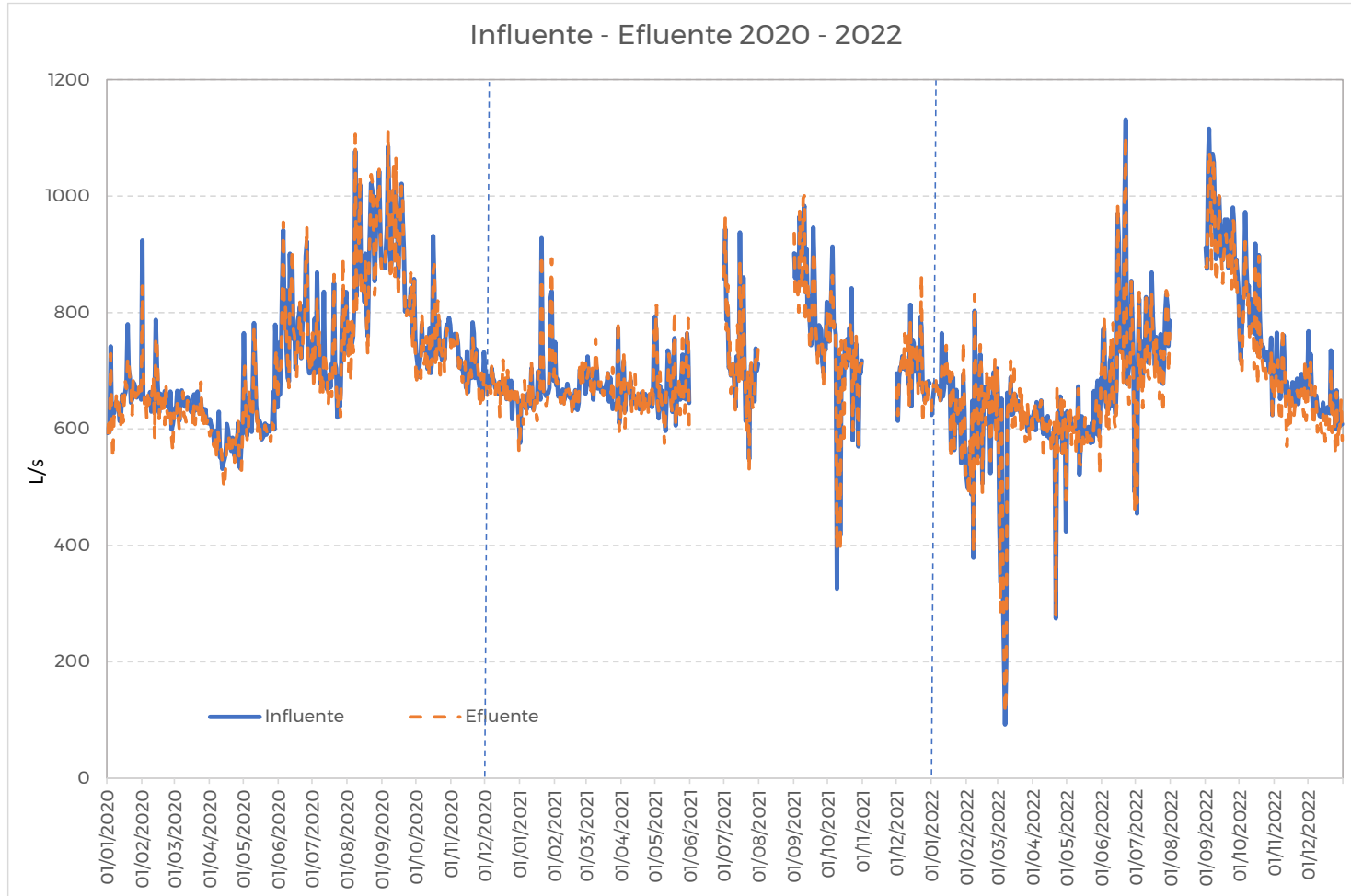


Figura 776. Tendencia de influente y efluente (2020-2022)

## 36.5 Análisis de la información del Proceso

### 36.5.1 Análisis rutinarios

No se proporcionó información documental sobre los análisis rutinarios para el control del proceso.

### 36.5.2 Manual de operación

Se cuenta con los manuales de operación, los cuales se pueden consultar en la liga de la información documental (<https://drive.google.com/drive/folders/1lws6vwfnif9FCHKQC6qii3vUzXZW RWp-?usp=sharing>). Los manuales fueron actualizados en 2018, 2020 y 2021.

Estos manuales están divididos en función del área de trabajo, y se presentan en la Tabla 256.

**Tabla 256. Manuales de operación por área de tratamiento**

| Área | Manual  | ID         | Archivo   | Revisión   |
|------|---|------------|---|------------|
| 100  | PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN PRETRATAMIENTO                         | P-OP-PR-01 | P-OP-PR-01 PRETRATAMIENTO_CONF.pdf  | 07/12/2020 |
| 200  | PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN ANAERÓBICO                             | P-OP-AN-01 | P-OP-AN-01 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN ANAEROBICO_ok.pdf                                   | 10/12/2020 |
| 300  | PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DE REACTORES AERÓBICOS Y SERVICIOS     | P-OP-AE-01 | P-OP-AE-01 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DE REACTORES AEROBICOS Y SERVICIOS_DESINFECCION.pdf | 09/06/2021 |
| 500  | PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN LODOS                                  | P-OP-LO-01 | P-OP-LO-01 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN LODOS_CONF.pdf                                      | 17/12/2020 |
| 600  | PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL SECADOR ROTATORIO DE LODOS SEC-602 | P-OP-SC-01 | P-OP- PROCEDIMIENTO DE OP DEL SEC ROT DE LODOS SEC-602.pdf                                | 06/02/2018 |

### 36.5.3 Reportes de operación (bitácoras)

Se utilizan bitácoras electrónicas para llevar a cabo el control del proceso de operación (reportes diarios de operación). Se proporcionaron archivos de las mismas correspondientes al periodo septiembre 2020 - agosto 2021, los cuales se pueden consultar en la liga de la información documental



|  |  |
|--|--|
| 27/07/2020 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO<br><br>ACTIVIDADES MECANICAS<br><br>(CUMPLE) REVISAR LA CADENA DE TRASMISION SE ENCUENTRE EN BUEN ESTADO<br>(CUMPLE) REVISAR QUE LOS FANEALES ESTEN EN BUEN ESTADO Y REEMPLAZARLOS EN CASO DE SER NECESARIO<br>(CUMPLE) REVISAR QUE NO SE PRESENTEN FUGAS DE AGUA EN LA LINEA DE FLUSHED<br>(CUMPLE) REALIZAR REAPRIETE DE TORNILLERIA DE PANELES FILTRANTES EN CADENA DE TRASMISION<br>(CUMPLE) REVISAR CONDICIONES DE CEPILLO AUTOLUPIANTE<br>(CUMPLE) REVISAR NIVELES DE ACEITE DE MOTOREDUCTOR DE TRASMISION Y CEPILLO<br>(CUMPLE) REVISAR TENSION DE CADENA DE TRASMISION<br>(CUMPLE) REVISAR LAS CONDICIONES DE CHUMACERAS DE CEPILLO Y CADENA DE TRASMISION Y LUBRICAR<br>(CUMPLE) REVISAR GUARDAS DE PANELES Y REAPRIETAR TORNILLERIA<br>(CUMPLE) MEDICION DE TEMPERATURA<br>(NO CUMPLE)<br><br>ACTIVIDADES ELECTRICAS<br><br>(CUMPLE) REVISAR FUNCIONAMIENTO Y ESTADO DE ESTACION DE BOTONES PARO-ARRANQUE<br>(CUMPLE) REVISAR TUBERIA FLEXIBLE, CONECTORES Y CONDUIT QUE ESTEN EN BUEN ESTADO<br>(CUMPLE) REVISAR SI ESTA BIEN SELLADA LA CAJA DE CONDICIONES DE LOS MOTORES DE TRASMISION Y CEPILLO, SELLAR SI ES NECESARIO.<br>(CUMPLE) REVISAR CABLE Y TERMINAL DE SISTEMA DE TIERRAS EN EQUIPO Y TABLERO QUE ESTE CONECTADO Y EN BUEN ESTADO<br>(CUMPLE) REALIZAR MANTENIMIENTO A DRIVE Y TABLERO ELECTRICO, LIMPIEZA, REAPRIETE, INSPECCION DE COMPONENTES CON DESGASTE O DETERIORO, REEMPLAZAR SI ES NECESARIO<br><br>REVISAR AMPERAJE DE MOTOR AFMS DE PLACA : 2.7 | (1.7) 1-1<br>(1.8) 1-2<br>(1.9) 1-3<br><br>REVISAR VOLTAJE DE MOTOR VOLTS DE ALIMENTACION = 460<br><br>(467) 1-1 Y 1-2<br>(468) 1-2 Y 1-3<br>(469) 3 Y 1-1<br><br>REALIZAR PRUEBA DE AISLAMIENTO CON MEGGER A MOTOR<br><br>(1.25) 1-1<br>(0.95) 1-2<br>(1.25) 1-3<br><br>17-08-2020 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO<br><br>ACTIVIDADES MECANICAS<br><br>(CUMPLE) REVISAR LA CADENA DE TRASMISION SE ENCUENTRE EN BUEN ESTADO<br>(CUMPLE) REVISAR QUE LOS FANEALES ESTEN EN BUEN ESTADO Y REEMPLAZARLOS EN CASO DE SER NECESARIO<br>(CUMPLE) REVISAR QUE NO SE PRESENTEN FUGAS DE AGUA EN LA LINEA DE FLUSHED<br>(CUMPLE) REALIZAR REAPRIETE DE TORNILLERIA DE PANELES FILTRANTES EN CADENA DE TRASMISION<br>(CUMPLE) REVISAR CONDICIONES DE CEPILLO AUTOLUPIANTE<br>(CUMPLE) REVISAR NIVELES DE ACEITE DE MOTOREDUCTOR DE TRASMISION Y CEPILLO |
|--|--|

**Figura 778. Bitácora de mantenimiento del equipo RJ102 A**

### 36.5.4.1 Programa de mantenimiento

En la Figura 779 se presenta el programa anual de mantenimiento a instrumentos. Asimismo, se proporcionó el programa anual de mantenimiento a equipos mecánicos y eléctricos (Figura 780), en donde se especifica la periodicidad del mismo (mensual, bimestral, cuatrimestral, semestral, anual, fijo). Se aclara que el programa de mantenimiento puede cambiar en función del mantenimiento predictivo, de las condiciones de operación del equipo y/o criterio del jefe de mantenimiento. El seguimiento del plan anual de mantenimiento se hace a través de un sistema informático.

En el Procedimiento de Mantenimiento Correctivo General (P-MA-CT-01, revisado el 22/02/2021) se establece el procedimiento del mantenimiento correctivo y de servicios generales de los equipos de proceso y las instalaciones, para minimizar el impacto de los paros no programados. Este procedimiento aplica para el departamento de mantenimiento en las áreas de mantenimiento eléctrico, mecánico, instrumentos y servicios generales.







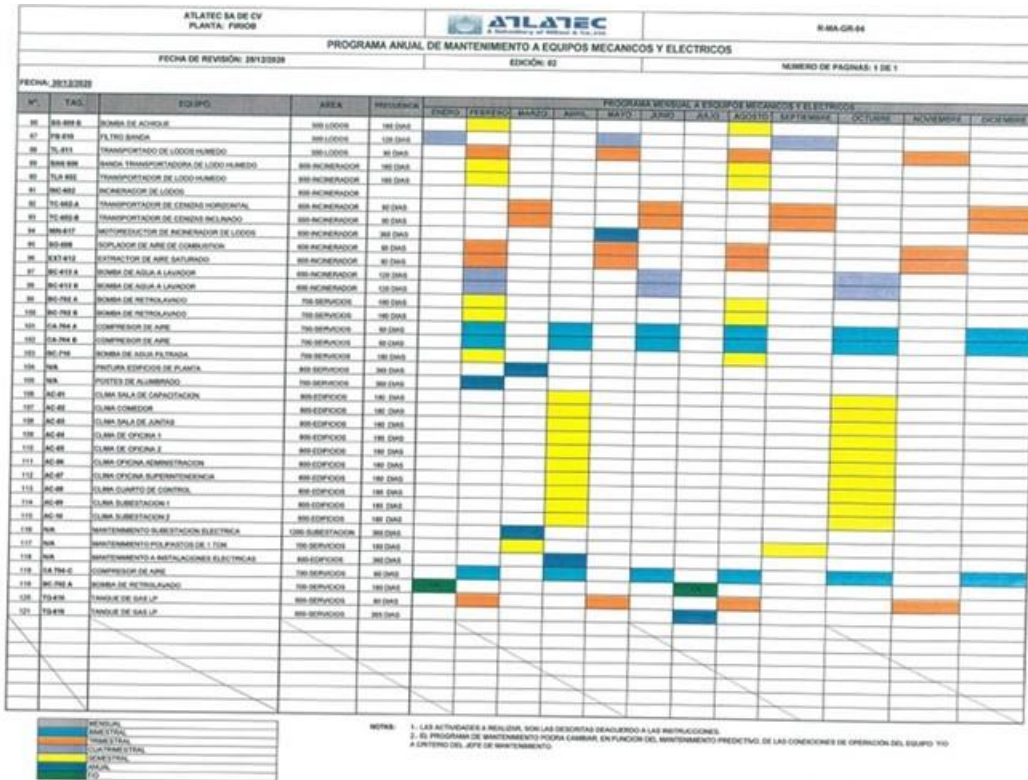


Figura 780. Programa anual de mantenimiento a equipos mecánicos y eléctricos.

Por su parte, en el Procedimiento de Mantenimiento Preventivo, Calibración y/o Verificación (P-MA-PV-01, revisado el 22/02/2021), se describen los alcances, funciones y responsabilidades del Departamento de Mantenimiento; considerando las actividades administrativas y de campo, para lograr la continuidad y el buen funcionamiento de los equipos, las instalaciones, el área eléctrica, el área mecánica, el área de instrumentos.

Este procedimiento aplica para el departamento de mantenimiento en las áreas de mantenimiento eléctrico, mecánico y de instrumentos.

## 37 ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

### 37.1 Descripción de las unidades de proceso

El agua residual proveniente de los municipios de Ixtaczoquitlán, Orizaba, Río Blanco, Camerino Z. Mendoza, Nogales y Huiloapan de Cuauhtémoc, Ver., que forman parte de la zona metropolitana de Orizaba (ZMO), así como las aguas residuales de nueve industrias (Tabla 241) de tipo alimenticio, papelera, cervecera y curtiduría, son conducidas por los colectores Río Blanco y Escamela. Se reciben en la caja derivadora TQ-100 (Figura 782), la cual cuenta con un by-pass. Durante la visita, no se registró ninguna derivación del influente, lo cual ocurre únicamente durante la temporada de lluvias.



**Figura 781. Vista aérea de la PTAR FIRIOB**



**Figura 782. Influyente a PTAR: Caja Derivadora y colector de entrada.**

### **37.1.1 Pretratamiento**

El agua pasa a través de dos rejillas automáticas autolimpiantes RJ-102 A y RJ-102 B (**Figura 238**) las cuales cuentan con placas perforadas de 6 mm, para retener cuerpos extraños de tamaños mayores a 6 mm de diámetro. Los sólidos retenidos son transportados por las bandas BAN-111 A y BAN-111 B y depositados en un contenedor con tapa para el almacenamiento temporal de los residuos (**Figura 239**). Debido a la naturaleza de los sólidos podrá enviarse a disposición municipal.



Figura 783. Rejillas gruesas automáticas autolimpiantes



Figura 784. Almacenamiento temporal de residuos

Se cuenta con tres rejillas con un ancho de canal de 115 cm, barras de 0.5 cm y un claro de 2 cm, cada rejilla cuenta con un total de 47 barras (Figura 240). Por cuestiones de seguridad de la planta, no se permitió la verificación de las medidas del sistema.

Estas rejillas están localizadas en los canales de interconexión CA-101 A y B de la caja derivadora TQ-100 a los desarenadores aireados DA-104 A-B-C, pasando por el medidor de caudal que indica el flujo a tratar en la PTAR.



**Figura 785. Canales de interconexión y medidor de flujo**

En conjunto, los tres desarenadores pueden recibir un flujo máximo total de alimentación de 1250 L/s, pero actualmente reciben un promedio de 700 L/s, lo cual aumenta el tiempo de residencia teórico. El tiempo de residencia de diseño es de 4 minutos. La eficiencia de diseño de remoción de arena superior a 200 micrones será superior al 90% y de grasas y aceites libres con densidad inferior a 0.9 g/cm<sup>3</sup> será superior a 80 %.

En el sistema de desarenado se mezcla el agua residual con aire suministrado por medio del soplador SO-107\_A/B a través de difusores de burbujas gruesas colocados a lo largo del desarenador. El sistema de inyección del aire es tal que provoca un flujo helicoidal del agua a través del desarenador, el cual facilita la separación de las arenas y de grasas y aceites.

En la superficie externa de dichas burbujas de aire se forma una película de sólidos, grasas y aceites, los cuales son llevados a la superficie y arrastrados por la parte superior del desarenador con el puente (R-104-A2, C2) hacia la zona de natas, las natas se envían por gravedad al tanque de mezcla de lodos TQ-503.

Las arenas sedimentadas en el fondo del tanque, es recogido por la bomba tipo air lift accionada con aire del soplador y enviada a la zona de lavado de arenas de donde alimenta por gravedad al separador de arenas tipo tornillo

(SA-106) La arena se recolecta en un contenedor para su disposición posterior. El agua recuperada del clasificador de arenas SA-106 fluye por gravedad hacia el tanque de achique TQ-508. El efluente desarenado pasa por gravedad al canal de alimentación a las rejillas finas.



**Figura 786. Desarenadores aireados**



**Figura 787. Soplador para desarenadores**



**Figura 788. Tanque de mezcla de lodos TQ-503**



**Figura 789. Separador de arenas tipo tornillo (SA-106)**



El efluente desarenado es conducido en canal por gravedad y posteriormente en tubos de 20" de diámetro para alimentar a cada rejilla fina rotatoria. Las rejillas rotatorias (RJ-113 A-B-C-D) son del tipo de tambor perforado rotatorio con abertura nominal de 1.25 mm y capacidad individual de 312.5 L/s.



**Figura 790. Rejillas finas rotatorias (RJ-113 A-B-C-D)**

Para prevenir oclusiones en la superficie del tambor de las rejillas rotatorias, la unidad está equipada con boquillas de esparido que lavan con agua a presión la superficie del tambor.

El efluente de las rejillas finas rotatorias pasa por gravedad hacia la laguna de homogeneización, el cual permite uniformizar las características del agua, así como amortiguar las variaciones de carga orgánica para asegurar un flujo uniforme tanto en calidad como en volumen a las etapas siguientes del proceso.

La laguna también recibe el agua recuperada del proceso de deshidratación de lodos bombeada desde el cárcamo de achique (TQ-508). El efluente de esta etapa es enviado por bombeo hacia los reactores anaeróbicos



**Figura 791. Laguna de homogenización**

### **37.1.2 Tratamiento anaerobio**

El proceso anaeróbico se lleva a cabo en cinco conjuntos de reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA) en paralelo (RAN-201 A-B-C-D-E).

El agua alimentada por cada tubo difusor es introducida en el fondo de la cama de lodos y posteriormente el agua asciende, y se lleva a cabo la digestión anaeróbica. El agua asciende hasta llegar a los separadores de tres fases.



**Figura 792. Reactores anaerobios**

Los separadores de tres fases consisten en mamparas triangulares que permiten la separación entre la biomasa que haya escapado de la cama de lodos, el biogás y el agua. El biogás, por medio de estos separadores, se acumula en la parte superior de los reactores donde se encuentra confinado entre el nivel del agua y el techo del reactor, posteriormente este biogás es conducido por medio de tubería de polietileno hacia su tratamiento.

Los sólidos contenidos en el agua, al chocar contra los separadores de tres fases, regresan hacia la cama de lodos y así se impide que salgan con el efluente. El agua sigue subiendo hasta llegar al vertedero que colecta el agua tratada y posteriormente la lleva hacia el canal de salida (Figura 793).

Del fondo del reactor se extraen lodos por medio de tres bombas de pistón circunferencial (BP-206 A-B-C) cuando exceda el nivel de lodos (nivel comprendido entre 1.5 - 2.8 m), se realiza la purga y se envían en forma intermitente hacia el tanque receptor de lodos (TQ-503).



**Figura 793. Reactores anaerobios y canal de salida**





**Figura 794. Bombas para purga de lodos de RAN's (BP-206)**

El efluente tratado anaeróbicamente se recolecta en un canal (caja E) desde los vertederos y se envía mediante tubería a gravedad hacia el cárcamo de bombeo (TQ-208). Todos los reactores tienen descargas en tubería de polietileno de 24 pulgadas.

El reactor B y el C se une en una tubería de 30 pulgadas y de ahí descargarán al cárcamo de bombeo, lo mismo que el reactor D y E, el reactor A descargará directamente por una tubería de 24 pulgadas.

Del cárcamo de bombeo, las bombas centrífugas horizontales de envío a reactor biológico (BC-204 A-B-C-D-E) trasladan una parte del efluente anaeróbico a un tratamiento posterior de pulido aeróbico.



**Figura 795. Efluente de reactores anaerobios (BP-206)**

### 37.1.3 Tratamiento aerobio

Una parte del efluente proveniente del tratamiento anaeróbico es tratado en tres trenes en paralelo de un proceso biológico aeróbico con remoción de nutrientes (Figura 796 y Figura 246). El sistema tiene capacidad para tratar el 62% del flujo total del efluente anaeróbico (775 L/s), de tal manera que al mezclar el efluente tratado aeróbicamente y el 38% (475 L/s) que es tratado exclusivamente por los reactores anaerobios cumpla con la calidad esperada. La planta opera con un caudal promedio de 750 L/s (salvo en temporada de lluvias, periodo en que el agua se diluye con las aportaciones pluviales), por lo que la PTAR tiene capacidad adecuada.

El proceso biológico implementado es un sistema aeróbico con remoción biológica de nutrientes que trabaja en forma secuencial, alternando los ciclos de operación de los compartimientos.

El ciclo de operación consiste en una secuencia de dos fases principales divididas por dos fases intermedias, las cuales permiten una operación continua sin un tanque de sedimentación.



**Figura 796. Vista de los reactores aerobios**



**Figura 797. Vista general de los reactores aerobios, anóxicos y decantadores**

Las aguas residuales municipales y algunas de tipo industrial contienen, además de componentes orgánicos, una cantidad relativamente importante de nitrógeno. Una fracción es utilizada para la producción de biomasa, y el resto del nitrógeno se remueve en dos pasos sucesivos: nitrificación y desnitrificación.

La remoción de nitrógeno biológico se lleva a cabo en un sistema de lodos activados convencional. Para la desnitrificación se requiere la presencia de una fuente de carbón orgánico, y el influente es alimentado directamente al compartimiento anóxico. Los nitratos son alimentados por la recirculación del licor mezclado de los compartimentos aeróbicos donde ocurre la nitrificación. El proceso es un concepto de “control in place”, lo que significa que las condiciones anóxicas y aeróbicas son establecidas en compartimentos diferentes. En los compartimientos de aireación, los lodos activados son mezclados con el efluente del proceso de las lagunas anaeróbicas. En el compartimiento de sedimentación el lodo producido decanta y se separa del líquido por gravedad; para descargar el efluente clarificado a través de un vertedor.

Los microorganismos en exceso son removidos del compartimiento de sedimentación (purgas) para mantener la cantidad de lodos en el nivel adecuado por medio de las bombas de lodos que operan de acuerdo al ciclo solo en las etapas de sedimentación. Estas bombas envían el lodo

hacia el Filtro banda (FB-510, Figura 798 ) y/o decantadores centrífugos (DEC-502 A/B, ESP-500 A-B, Figura 799) para su posterior tratamiento. Durante el diagnóstico, solamente se encuentra en operación el filtro banda, el cual funciona adecuadamente.



**Figura 798. Filtro banda FB-510**





**Figura 799. Decantadores centrífugos (DEC-502) y espesadores (ESP-500)**

Los compartimentos de los reactores aerobios están hidráulicamente conectados por seis ventanas en la pared común entre ellos. Cada uno de los seis compartimientos externos cuenta con un sistema de aireación, con excepción de los dos compartimientos centrales (anóxicos) que cuentan con agitadores sumergibles (AS-308, cuatro en operación por cada reactor).

El efluente del anaeróbico se introduce en uno de los dos compartimientos centrales de cada reactor (anóxicos).

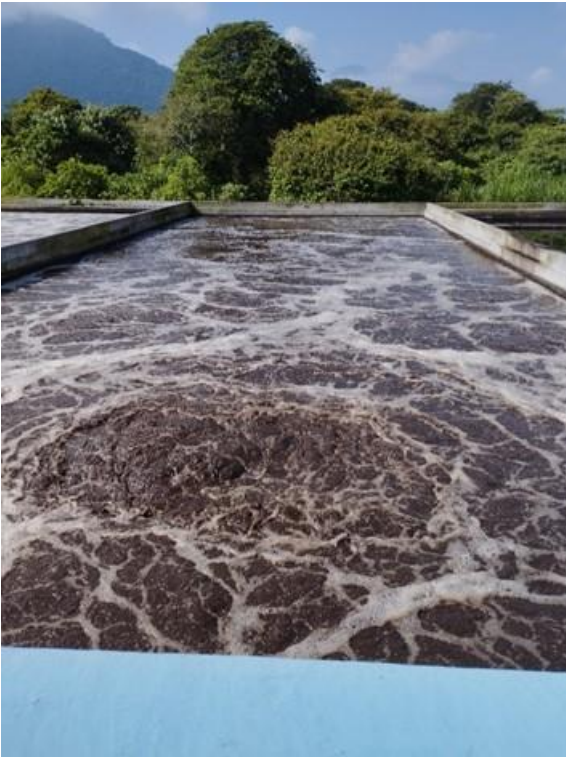
Los dos compartimientos exteriores (aeración/sedimentación) cuentan con sedimentadores de lamelas, vertederos para la descarga del efluente clarificado y una salida para el exceso de lodos.

Los dos compartimientos externos tienen una doble función y pueden operar consecutivamente como tanques de sedimentación o como tanques de aireación (Figura 800). Los cuatro compartimientos entre los de aireación/sedimentación y los anóxicos estarán permanentemente aireados.



**Figura 800. Tanques de aeración / sedimentación)**

En general, en los tres módulos (RAE-301 A/B/C) se observa que la aeración no es totalmente pareja, por lo que se presupone que algunos difusores tienen roturas o fugas que se reflejan en “borbotones” en algunas partes del reactor, y no una aeración uniforme (Figura 801). A pesar de que no se observa detrimento en el proceso de tratamiento, se recomienda la rehabilitación del sistema.



**Figura 801. Aeración no uniforme en reactores RAE-301**

Por otra parte, se observan problemas más severos en el sistema de aireación por difusión en el módulo RAE-301 B (módulo central). En los compartimentos externos (reactores de aeración/sedimentación) se constata la presencia constante de pequeñas plantas acuáticas flotantes, presumiblemente lemna, en la superficie de los mismos.



**Figura 802. Presencia de vegetación flotante en los reactores de aeración/sedimentación del módulo RAE-301 B.**

Se intentó medir el manto de lodos en los reactores de aeración/sedimentación, pero debido a la presencia de las lamelas no fue posible determinarlo (Figura 803). Se realizaron pruebas de sedimentabilidad en los reactores intermedios (excepto en los extremos). La salida del reactor biológico aeróbico se efectúa por gravedad mediante vertedor y tubería hacia el canal de efluentes aeróbicos (Figura 804).



**Figura 803. Medición del manto de lodos en reactor de aeración/sedimentación.**



**Figura 804. Canal cubierto hacia tanque de contacto para la desinfección del efluente de reactores aerobios**

### 37.1.4 Desinfección

El agua procedente de los reactores sedimentadores se envía por el canal de salida a través de un canal cubierto en donde se encuentra el punto de inyección del hipoclorito de sodio al 13% de concentración (Figura 805) hacia el tanque de contacto cubierto con malla sombra (Figura 249). El tanque de contacto tiene 20 m de ancho, 25 m de largo y 3.5 m de altura, con un volumen total de 1750 m<sup>3</sup> y un volumen de operación de 1500 m<sup>3</sup>. El hipoclorito de sodio se almacenado en el tanque TQ-117 (Figura 807).

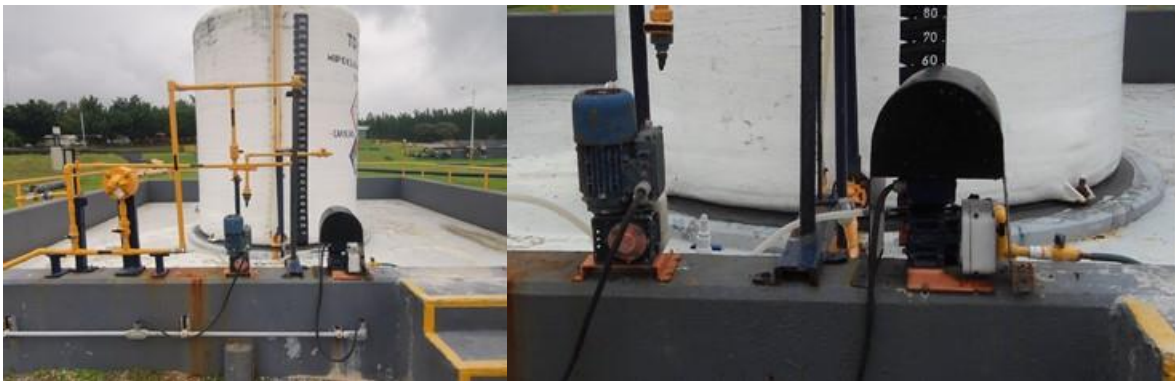
Se estima que el consumo de hipoclorito de sodio es de 6 a 8 toneladas mensuales. Anteriormente se utilizaba cloro gas al 98% (4 toneladas/mes), pero debido a la cercanía con la población y la presencia de tres escuelas en las inmediaciones de la planta, se realizó el cambio a hipoclorito de sodio. De esta manera, en 2019 se eliminó el grado de riesgo. El efluente debe tener un cloro residual inferior a 0.5 mg/L, pero usualmente se registra 0.1 mg/L.



**Figura 805. Canal cubierto y punto de inyección de hipoclorito de sodio.**



**Figura 806. Tanque de contacto TQ-400.**



**Figura 807. Tanque de almacenamiento de hipoclorito de sodio TQ-117.**

El tanque de contacto tiene algunas áreas sin cubrir (Figura 808) por donde se puede observar el agua circulando. En la Figura 809 se puede apreciar las volutas que forman en el tanque de contacto el arrastre de los lodos secundarios y de lezna. Se realizaron mediciones del nivel de sedimentos en algunos puntos del tanque de contacto para estimar el azolvamiento en el mismo (Figura 810 y Figura 811). El tirante del agua en el tanque de contacto fue de 2.88 m.



**Figura 808. Áreas descubiertas del tanque de contacto.**



**Figura 809. Tanque de contacto: arrastre de sólidos.**





Figura 810. Medición de nivel de azolve en del tanque de contacto.

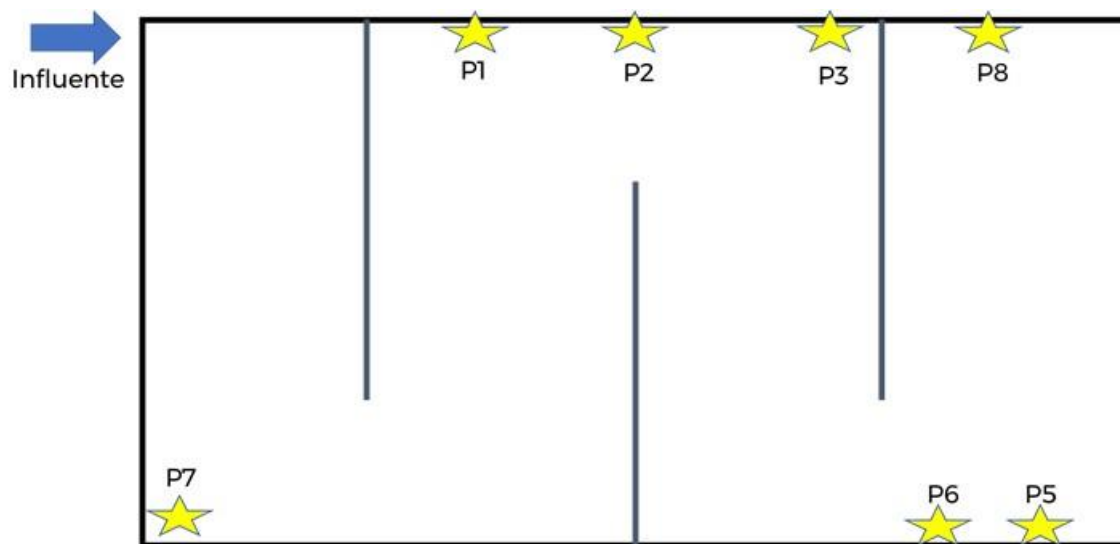


Figura 811. Puntos de medición de nivel de azolve.

En la Tabla 257 se presentan los niveles de azolve en cada punto monitoreado (en promedio: 1.44m), y en la Figura 812 se observa el tipo de sedimentos azolvados en el mismo. Sin embargo, se constata que el efluente es claro y los sedimentos no tienen olores desagradables. Es claro que las mediciones son puntuales ya que se realizaron solamente en aquellas zonas descubiertas del tanque. Sin embargo, es importante revisar el nivel de azolvamiento ya que puede generar problemas de calidad en el efluente por la cantidad de sólidos arrastrados.

**Tabla 257. Altura de azolve en el tanque de contacto**

| Punto | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| m     | 1.45 | 1.45 | 1.60 | 1.48 | 1.45 | 1.39 | 1.62 | 1.23 | 1.32 |



**Figura 812. Aspecto del azolve del tanque de contacto.**

### 37.1.5 Estado físico de las unidades de proceso

Durante el recorrido en campo para el llenado de formatos y la evaluación *in situ* de la PTAR se pudo apreciar que la planta se encuentra en buen estado físico. En general, el estado de la obra civil es bueno. Se observan algunos crecimientos de vegetación en las juntas de algunos reactores, pero también se constata que al momento de la visita se encuentran equipos trabajando en labores de rehabilitación y mantenimiento. La gran mayoría de los equipos están etiquetados. Ninguno luce oxidado ni exhibe falta de mantenimiento. Solamente se observa corrosión en algunas estructuras metálicas y en válvulas de salida de los reactores anaerobios (Figura 250). No se perciben olores sulfurosos y la jardinería de la PTAR se lleva a cabo con regularidad.





**Figura 813. Vistas de la infraestructura de la PTAR.**

### **37.1.6 Equipos electromecánicos**

Se realizó el levantamiento de los equipos electromecánicos. El listado de equipos principales (Tabla 258 ) fue proporcionado por la empresa operadora y con base en ese listado se revisó que todos los equipos se encontraran en su sitio y se verificó su aspecto y, en los casos que fue posible, su funcionalidad.

Se encontró que se tienen programadas revisiones periódicas mensuales o bimestrales de mantenimiento preventivo y predictivo con base en el programa de mantenimiento que elabora la propia empresa en forma anual. Asimismo, en el apartado 5.0 del “Procedimiento de mantenimiento preventivo, calibración y/o verificación” (P-MA-PV-01), se enlistan de manera general todos los equipos de la PTAR sujetos a mantenimiento y/o calibración.

**Tabla 258. Equipo electromecánico**

| <b>Equipo</b>                     | <b>TAG</b> | <b>Características</b>                                    | <b>Área</b> | <b>#</b> | <b>POT</b> |                    |
|-----------------------------------|------------|---|-------------|----------|------------|--------------------|
| REJILLA GRUESA                    | RJ-102     | REJILLA AUTOLIMPIANTE DE TIPO BARRAS                      | 100         | 2        | 2.5        | HP                 |
| DESARENADOR AIREADO               | DA-104     | DESARENADOR TIPO PUENTE CON DIFUSOR DESNATADOR Y SOPLADOR | 100         | 2        | 3/4        | HP                 |
| REJILLA FINA                      | RJ-113     | REJILLA FINA ROTATORIA                                    | 100         | 4        | 1.5        | HP                 |
| SOPLADOR PARA DESARENADOR         | SO-107     | TIPO DESPLAZAMIENTO POSITIVO                              | 100         | 2        | 16.6       | HP                 |
| AGITADOR DE LODOS PRIMARIOS       | AS-121     | TIPO HELICOIDAL   | 100         | 1        | 2          | HP                 |
| CLASIFICADOR DE ARENAS            | SA-106     | TIPO TORNILLO SIN ALMA                                    | 100         | 1        | 0.74       | HP                 |
| BANDA TRANSPORTADORA              | BAN-111    | BANDA TRANSPORTADORA DE SOLIDOS GRUESOS                   | 100         | 2        | 4          | HP                 |
| BOMBA DE LODO PRIMARIO            | BP-120     | TIPO CAVIDAD PROGRESIVA                                   | 100         | 2        | 7.5        | HP                 |
| COMPRESOR DE BIOGAS               | CM-207     | COMPRESOR TIPO LINEAL                                     | 200         | 1        | 125        | HP                 |
| BOMBAS BIPARTIDAS A RAE           | BC-204     | BOMBA TIPO CENTRIFUGA                                     | 200         | 5        | 75         | HP                 |
| BOMBAS BIPARTIDAS A RAN           | BC-209     | BOMBA TIPO CENTRIFUGA                                     | 200         | 5        | 76         | HP                 |
| QUEMADOR DE GAS                   | QM-205     | SISTEMA DE IGNICION ELECTRICO                             | 200         | 2        | 1,440      | CFM                |
| BOMBA DE PURGA DE LODO DE RAN     | BP-206     | TIPO CAVIDAD PROGRESIVA                                   | 200         | 3        | 15         | HP                 |
| MEDIDOR pH                        | AIT-209    | EN EFLUENTE HOMOGENIZADO DE RANs                          | 200         | 1        |            |                    |
| COMPRESOR DE AIRE                 | CA-215     | CAPACIDAD 454.2L  | 200         | 1        |            |                    |
| SOPLADOR CENTRIFUGO A RAE         | SO-303     | TIPO CENTRIFUGO   | 300         | 5        | 13,375     | Nm <sup>3</sup> /h |
| BOMBA DE PURGA DE LODO DE RAE     | BP-307     | TIPO CAVIDAD PROGRESIVA                                   | 300         | 3        | 12.3       | HP                 |
| BOMBA SUMERGIBLE DE RECIRCULACION | BS-309     | TIPO EN LINEA   | 300         | 6        | 2,900      | m <sup>3</sup> /h  |
| BOMBA DE AGUA DE SERVICIO         | BC-310     | BOMBA TIPO CENTRIFUGA                                     | 300         | 2        | 25         | HP                 |
| AGITADOR SUMERGIBLE               | AS-400     | TIPO EN LINEA   | 400         | 2        | 7.5        | HP                 |
| ESPESADORES                       | ESP-500    | DE LODOS, FUERA DE OPERACIÓN (2)                          | 500         | 2        |            |                    |

| <b>Equipo</b>                       | <b>TAG</b> | <b>Características</b>                  | <b>Área</b> | <b>#</b> | <b>POT</b> |      |
|-------------------------------------|------------|---|-------------|----------|------------|------|
| DECANTADORES CENTRÍFUGOS (LODOS)    | DEC-502    | CENTRÍFUGAS DE LODO, FUERA DE OPERACIÓN | 500         | 2        |            |      |
| BOMBAS DE LODOS                     | BP-501     | TIPO CAVIDAD PROGRESIVA                 | 500         | 3        | 10         | HP   |
| AGITADOR DE LODOS                   | AS-504     | TIPO HELICOIDAL                         | 500         | 1        | 7.5        | HP   |
| SISTEMA DE PREPARACION DE POLIMEROS | SPP-506    | POLIPACK CON 3 TINAS Y 3 AGITADORES     | 500         | 2        | 1,400      | LPH  |
| BOMBA DOSIFICADORA DE POLIMERO      | BD-507     | TIPO CAVIDAD PROGRESIVA                 | 500         | 3        | 1.5        | HP   |
| BOMBA DE ACHIQUE                    | BS-509     | TIPO SUMERGIBLE                         | 500         | 2        | 20         | HP   |
| FILTRO BANDA                        | FB-510     | DE LODOS, OPERANDO                      | 500         | 1        |            |      |
| BANDA TRANSPORTADORA DE LODO HUMEDO | BAN-600    | TRANSPORTADORA HORIZONTAL               | 600         | 2        | 5          | HP   |
| TRANSPORTADOR DE LODO HUMEDO        | TLH-602    | TRANSPORTADOR TIPO TORNILLO HORIZONTAL  | 600         | 2        | 5          | HP   |
| SOPLADOR DE AIRE DE COMBUSTION      | SO-608     | TIPO CENTRIFUGO                         | 600         | 1        | 150        | HP   |
| MOTOR SECADOR DE LODOS              | SEC-602    | MOTORREDUCTOR DEL HORNO GIRATORIO       | 600         | 1        | 60         | HP   |
| QUEMADOR                            | QM-603     |   | 600         | 1        |            |      |
| EXTRACTOR DE AIRE SATURADO          | EXT-612    | VENTILADOR DE TIRO                      | 600         | 1        | 200        | HP   |
| BOMBA DE AGUA A LAVADOR             | BC-613     | TIPO CENTRIFUGA VERTICAL                | 600         | 2        | 125        | HP   |
| BOMBA DE RETROLAVADO                | BC-702     | BOMBA TIPO CENTRIFUGA                   | 700         | 2        | 15         | HP   |
| BOMBA DE AGUA FILTRADA              | BC-710     | BOMBA TIPO CENTRIFUGA                   | 700         | 1        | 15         | HP   |
| COMPRESOR DE AIRE                   | CA-704     | COMPRESOR TIPO TORNILLO                 | 700         | 2        | 25         | HP   |
| SECADOR DE AIRE                     | SA-708     | SECADOR DE AIRE TIPO TORRE              | 700         | 2        | 35         | SCFM |

100: Pretratamiento

200: Anaeróbicos

300: Aeróbicos

400: Cloración

500: Lodos

600: Secador de lodos

700: Servicios



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES





### **37.2 Muestreo y calidad del agua residual**

Para realizar el muestreo del agua residual en la PTAR se realizó inicialmente un recorrido a las instalaciones con personal de la planta, con la finalidad de seleccionar los puntos de muestreo más adecuados y seguros. Los puntos de muestreo se indican en la Figura 814.

Los puntos de muestreo seleccionados fueron: influente, salida rejillas finas A y B, salida rejillas finas C y D, salida rejillas finas mezcla, salida desarenador A, salida desarenador B, salida desarenador C, salida distribuidor lodos activados P1, salida distribuidor lodos activados P2, salida laguna regulación, salida UASB RAN 201 Recolector A, salida UASB RAN 201 Recolector B, salida UASB RAN 201 Recolector C, salida UASB RAN 201 Recolector D, salida UASB RAN 201 Recolector E, salida UASB RAN 201 Recolector Mezcla, salida primeros aereadores RAE301A1, salida primeros aereadores RAE301A2, salida primeros aereadores RAE301C1, salida primeros aereadores RAE301C2, salida segundos aereadores RAE301A1, salida segundos aereadores RAE301A2, salida segundos aereadores RAE301C1, salida segundos aereadores RAE301C2, salida terceros aereadores RAE301A1, salida terceros aereadores RAE301A2, salida terceros aereadores RAE301C1, salida terceros aereadores RAE301C2, sólidos anóxicos RAE 301A1, sólidos anóxicos RAE 301A2, sólidos anóxicos RAE 301C1, sólidos anóxicos RAE 301C2, efluente tanque cloración y efluente de la planta piloto.

En la Tabla 20 se muestran los parámetros evaluados en cada punto, los cuales se seleccionaron de acuerdo con los parámetros de diseño de cada unidad de proceso de la PTAR. El muestreo fue realizado por el Laboratorio de Calidad del Agua, el cual es un laboratorio acreditado.

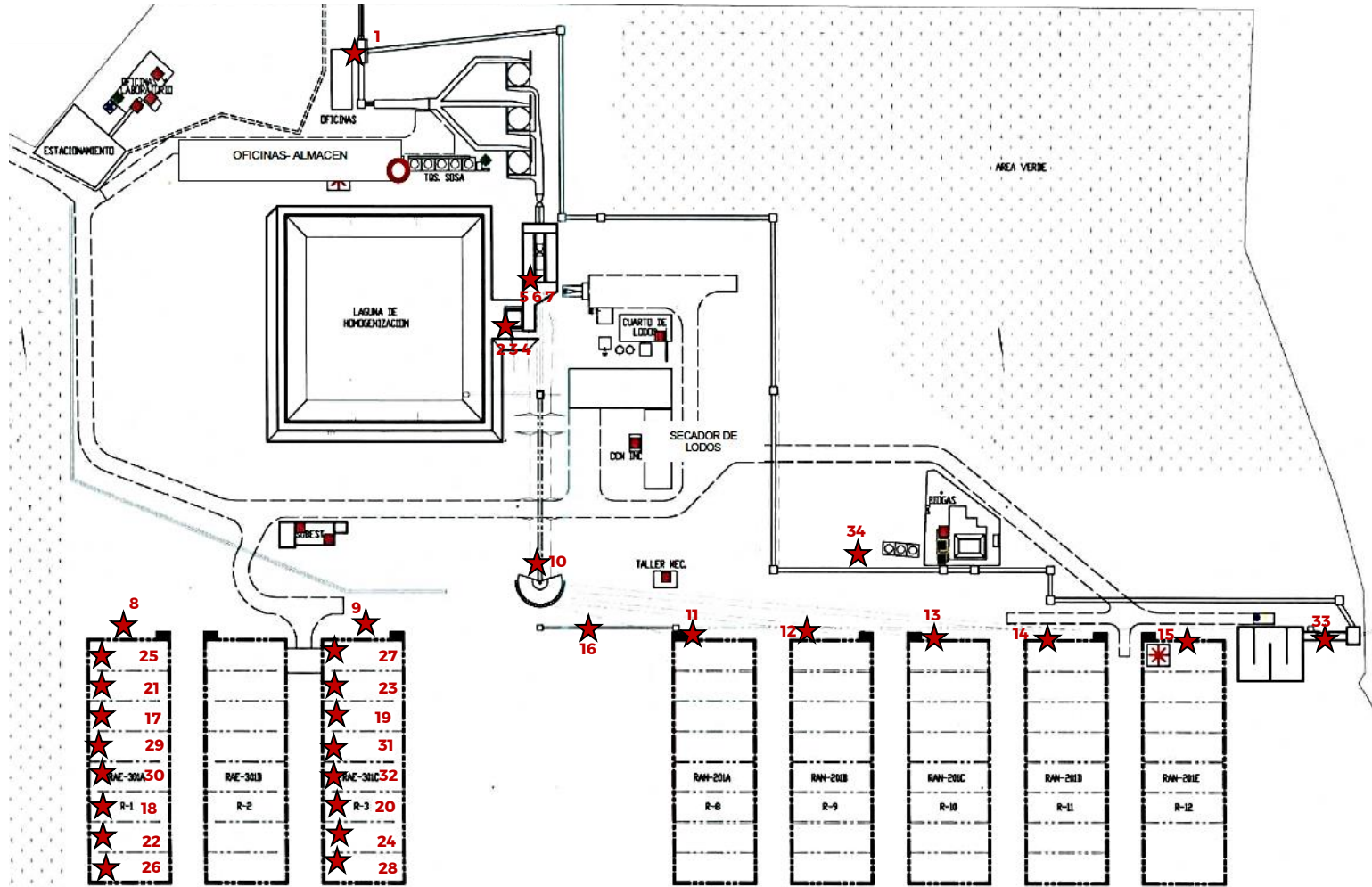


Figura 814 Puntos de monitoreo

**Tabla 259. Parámetros evaluados**

| P  | Descripción                            | N° M | NOM-001-SEMARNAT-1996 |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    | NOM-001-SEMARNAT-2021 |            |    |         | Otro | Tipo de muestreo |  |                             |
|----|--|------|-----------------------|---|----|------|-----|-----|-----|----|----|-----|---------|----|----|-----------------------|------------|----|---------|------|------------------|--|-----------------------------|
|    |  |      | pH                    | T | MF | SSed | GyA | SST | DBO | NT | PT | SSV | Metales | HH | CF | DQO                   | Tox. aguda | CV | E. coli | SSV  | DQO sol          |  |                             |
| 1  | Influyente                             |      |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Compuesto, 24 h, 6 muestras |
| 2  | Salida rejillas finas A y B            | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple             |
| 3  | Salida rejillas finas C y D            | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple             |
| 4  | Salida rejillas finas mezcla           | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple             |
| 5  | Salida desarenador A                   | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple             |
| 6  | Salida desarenador B                   | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple             |
| 7  | Salida desarenador C                   | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple             |
| 8  | Salida distribuidor lodos activados P1 | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple             |
| 9  | Salida distribuidor lodos activados P2 | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple             |
| 10 | Salida laguna regulación               | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple             |
| 11 | Salida UASB RAN 201 Recolector A       | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple             |
| 12 | Salida UASB RAN 201 Recolector B       | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple             |
| 13 | Salida UASB RAN 201 Recolector C       | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple             |

| P  | Descripción                           | N° M | NOM-001-SEMARNAT-1996 |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    | NOM-001-SEMARNAT-2021 |            |    |         | Otro | Tipo de muestreo |  |                 |
|----|---------------------------------------|------|-----------------------|---|----|------|-----|-----|-----|----|----|-----|---------|----|----|-----------------------|------------|----|---------|------|------------------|--|-----------------|
|    |                                       |      | pH                    | T | MF | SSed | GyA | SST | DBO | NT | PT | SSV | Metales | HH | CF | DQO                   | Tox. aguda | CV | E. coli | SSV  | DQO sol          |  |                 |
| 14 | Salida UASB RAN 201 Recolector D      | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple |
| 15 | Salida UASB RAN 201 Recolector E      | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple |
| 16 | Salida UASB RAN 201 Recolector Mezcla | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple |
| 17 | Salida primeros aereadores RAE301A1   | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple |
| 18 | Salida primeros aereadores RAE301A2   | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple |
| 19 | Salida primeros aereadores RAE301C1   | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple |
| 20 | Salida primeros aereadores RAE301C2   | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple |
| 21 | Salida segundos aereadores RAE301A1   | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple |
| 22 | Salida segundos aereadores RAE301A2   | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple |
| 23 | Salida segundos aereadores RAE301C1   | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple |
| 24 | Salida segundos aereadores RAE301C2   | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple |
| 25 | Salida terceros aereadores RAE301A1   | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple |
| 26 | Salida terceros aereadores RAE301A2   | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  | Muestreo simple |

| P  | Descripción                         | N° M | NOM-001-SEMARNAT-1996 |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    | NOM-001-SEMARNAT-2021 |            |    |         | Otro | Tipo de muestreo |  |  |                 |                             |
|----|-------------------------------------|------|-----------------------|---|----|------|-----|-----|-----|----|----|-----|---------|----|----|-----------------------|------------|----|---------|------|------------------|--|--|-----------------|-----------------------------|
|    |                                     |      | pH                    | T | MF | SSed | GyA | SST | DBO | NT | PT | SSV | Metales | HH | CF | DQO                   | Tox. aguda | CV | E. coli | SSV  | DQO sol          |  |  |                 |                             |
| 27 | Salida terceros aereadores RAE301C1 | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  |  | Muestreo simple |                             |
| 28 | Salida terceros aereadores RAE301C2 | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  |  |                 | Muestreo simple             |
| 29 | Sólidos anóxicos RAE 301A1          | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  |  |                 | Muestreo simple             |
| 30 | Sólidos anóxicos RAE 301A2          | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  |  |                 | Muestreo simple             |
| 31 | Sólidos anóxicos RAE 301C1          | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  |  |                 | Muestreo simple             |
| 32 | Sólidos anóxicos RAE 301C2          | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  |  |                 | Muestreo simple             |
| 33 | Efluente tanque cloración           | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  |  |                 | Compuesto, 24 h, 6 muestras |
| 34 | Planta piloto                       | 1    |                       |   |    |      |     |     |     |    |    |     |         |    |    |                       |            |    |         |      |                  |  |  |                 | Muestreo simple             |

N°M: Número de muestras    SSed: sólidos sedimentables    MF: Materia flotante    Tox. Aguda: toxicidad aguda    CV: color verdadero    P: punto

### 37.2.1 Resultados del muestreo compuesto

Se presentan los resultados de los análisis del laboratorio certificado que se realizaron durante la evaluación a la PTAR. En primer término (Tabla 260), se muestran los resultados de las muestras simples del influente y del efluente: el valor mínimo y el valor máximo registrado, así como el promedio para el caudal, temperatura, pH; promedio ponderado para grasas y aceites, y media geométrica para coliformes fecales y *E. coli*.

**Tabla 260. Valores promedio, mínimos y máximos**

| <b>Influente</b> | <b>Unidad</b> | <b>Promedio</b> | <b>Valor mínimo</b> | <b>Valor máximo</b> |
|------------------|---------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| $Q_{inf}$        | L/s           | 717.5           | 632.0               | 772.0               |
| $pH_{inf}$       | UpH           | 7.2             | 6.9                 | 8.1                 |
| $T_{inf}$        | °C            | 23.7            | 23.0                | 24.0                |
| $GyA_{inf}$      | mg/L          | 30.9            | 19.6                | 39.1                |
| $CF_{inf}$       | NMP/100 mL    | 2.6E+07         | 9.3E+06             | 1.1E+08             |
| $E\ coli_{inf}$  | NMP/100 mL    | 2.0E+06         | 9.3E+05             | 2.4E+06             |

| <b>Efluente</b> | <b>Unidad</b> | <b>Promedio</b> | <b>Valor mínimo</b> | <b>Valor máximo</b> |
|-----------------|---------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| $Q_{ef}$        | L/s           | 630.7           | 587.0               | 715.0               |
| $pH_{ef}$       | UpH           | 7.6             | 7.5                 | 7.7                 |
| $T_{ef}$        | °C            | 25.0            | 24.0                | 26.0                |
| $GyA_{ef}$      | mg/L          | 26.5            | 10.7                | 91.6                |
| $CF_{ef}$       | NMP/100 mL    | 1.8E+02         | 1.1E+01             | 1.2E+04             |
| $E\ coli_{ef}$  | NMP/100 mL    | 1.1E+02         | 3.0E+01             | 1.2E+04             |

El caudal mostró una variación horaria, siempre en un valor inferior al caudal de diseño considerado en la memoria de cálculo (1250 L/s). El caudal máximo registrado durante los trabajos de campo corresponde al 0.6176 el caudal de diseño. El caudal promedio es 0.574 del caudal de diseño, mientras que el valor mínimo es el 0.5056. La planta operó a un poco más de la mitad de su capacidad de diseño. En la Figura 815 se presenta la variación horaria del caudal durante el muestreo.

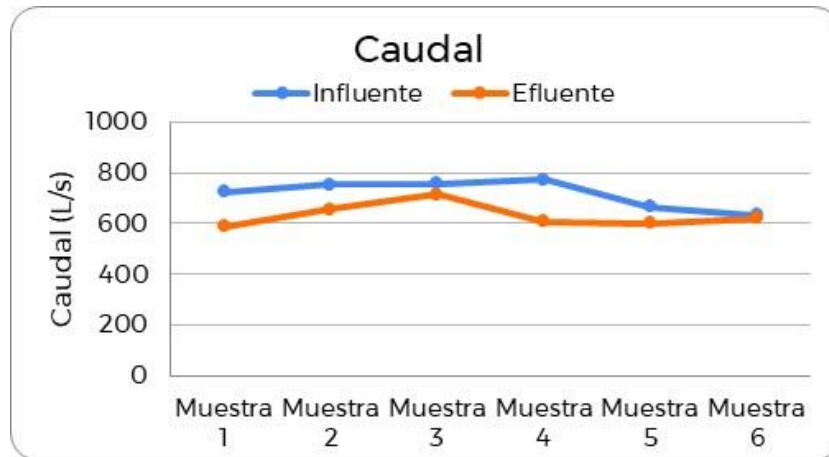
El pH (Figura 816) tuvo variaciones ente 6.9 a 8.1 y de 7.5 a 7.7 para el influente y efluente respectivamente. En ambos casos, los valores se presentan dentro de un intervalo normal de los procesos de tratamiento de tipo biológico y es adecuado para el funcionamiento de los sistemas.



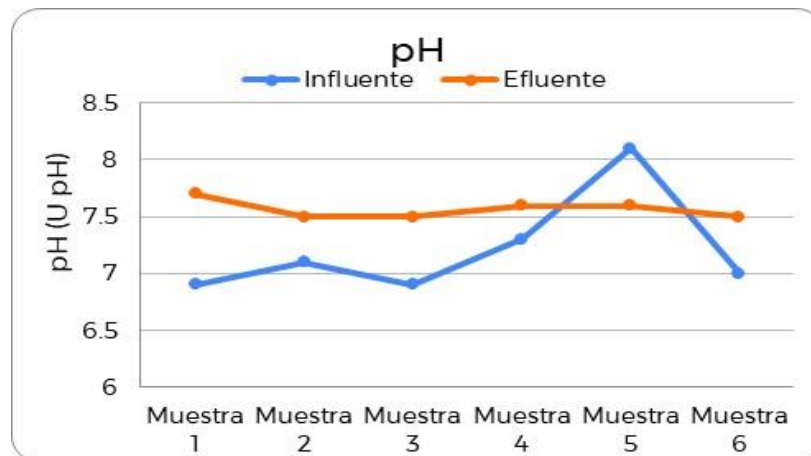
**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



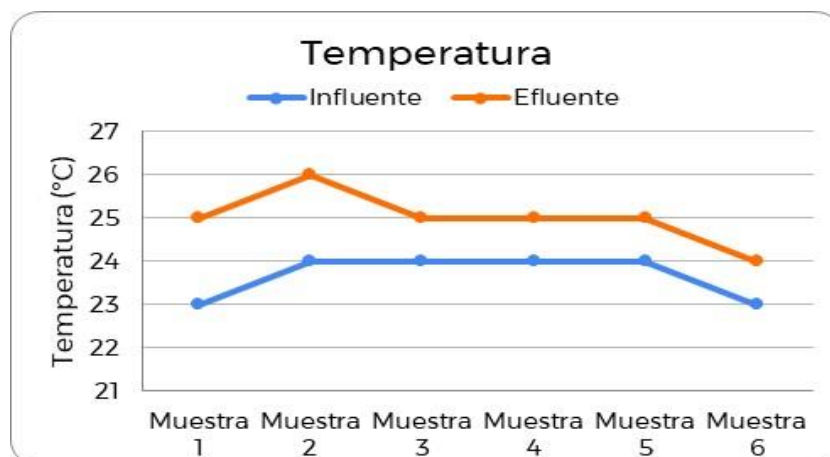
Respecto a la temperatura, ésta osciló entre 23 a 24°C, y de 24 a 26°C para el influente y efluente respectivamente. La variación no es significativa para el funcionamiento del proceso.



**Figura 815. Variación horaria de influente y efluente**



**Figura 816. Variación de pH**



**Figura 817. Variación de temperatura**



En la Tabla 261 se presentan los valores de las muestras simples para grasas y aceites, coliformes fecales y *E. coli*, así como el promedio ponderado (PP) para el primer parámetro, y la media geométrica (MG) para los siguientes.

**Tabla 261. Valores promedio, mínimos y máximos para grasas y aceites, coliformes fecales y *E. coli***

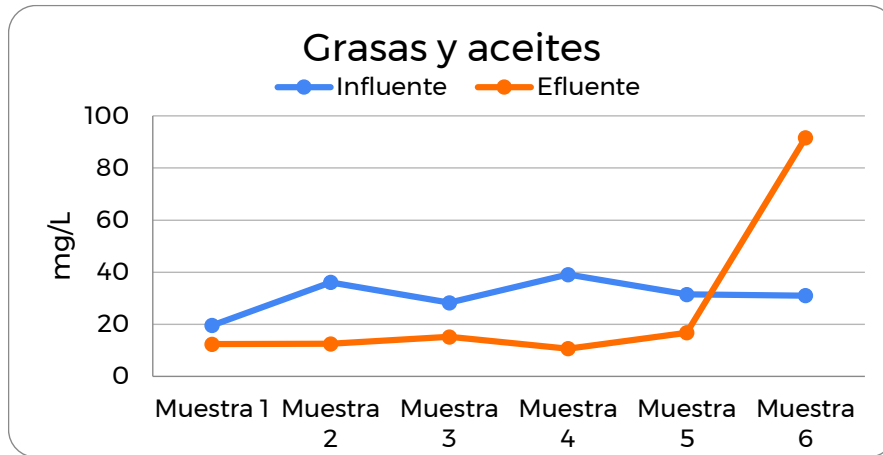
| <b>Influente</b> | <b>G y A<br/>(mg/L)</b> | <b>CF<br/>(NMP/100 mL)</b> | <b><i>E. Coli</i><br/>(NMP/100 mL)</b> |
|------------------|-------------------------|----------------------------|--|
| Muestra 1        | 19.6                    | 2.40E+07                   | 2.40E+06                               |
| Muestra 2        | 36.1                    | 2.40E+07                   | 2.40E+06                               |
| Muestra 3        | 28.3                    | 1.10E+08                   | 9.30E+05                               |
| Muestra 4        | 39.1                    | 2.40E+07                   | 2.40E+06                               |
| Muestra 5        | 31.5                    | 2.40E+07                   | 2.40E+06                               |
| Muestra 6        | 31                      | 9.30E+06                   | 2.40E+06                               |
| <b>PP/MG</b>     | <b>30.9</b>             | <b>2.64E+07</b>            | <b>2.05E+06</b>                        |
| Mínimo           | 19.6                    | 9.3E+06                    | 9.3E+05                                |
| Máximo           | 39.1                    | 1.1E+08                    | 2.4E+06                                |
|                  |                         |                            |  |
| <b>Efluente</b>  | <b>G y A<br/>(mg/L)</b> | <b>CF<br/>(NMP/100 mL)</b> | <b><i>E. Coli</i><br/>(NMP/100 mL)</b> |
| Muestra 1        | 12.4                    | 7.00E+01                   | 3.00E+01                               |
| Muestra 2        | 12.5                    | 1.20E+04                   | 1.20E+04                               |
| Muestra 3        | 15.2                    | 4.30E+02                   | 3.00E+01                               |
| Muestra 4        | 10.7                    | 4.00E+01                   | 3.00E+01                               |
| Muestra 5        | 16.8                    | 2.00E+02                   | 7.00E+01                               |
| Muestra 6        | 91.6                    | 1.10E+01                   | 7.00E+01                               |
| <b>PP/MG</b>     | <b>26.35</b>            | <b>1.78E+02</b>            | <b>1.08E+02</b>                        |
| Mínimo           | 10.7                    | 1.1E+01                    | 3.0E+01                                |
| Máximo           | 91.6                    | 1.2E+04                    | 1.2E+04                                |

PP: promedio ponderado

MG: media geométrica

Las grasas y aceites en el influente presentan variaciones entre los 19.6 y 31 mg/L, con un promedio ponderado de 30.9 mg/L. La memoria de cálculo indica que el promedio mensual de este parámetro en el influente puede ser de hasta 52 mg/L, por lo que no representa un problema para el tren de tratamiento.

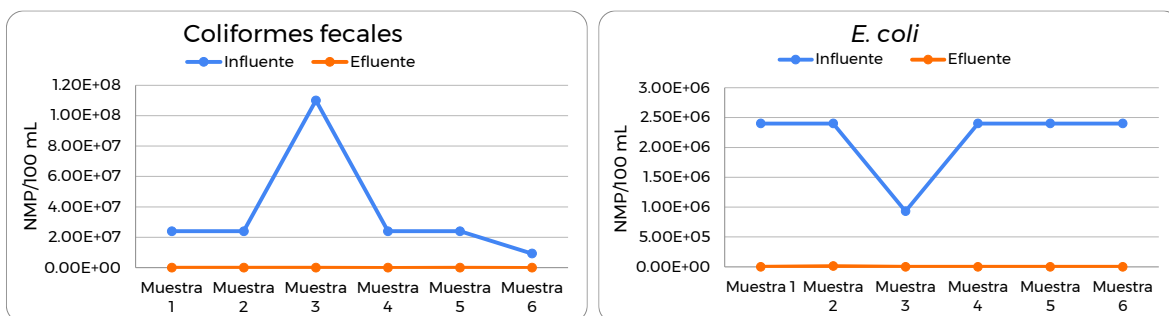
Por otra parte, con excepción de la muestra 6 (tomada a las 06:30) que presenta un valor de 91.6 mg/L, las concentraciones en el efluente oscilan entre 10.7 y 16.8 mg/L (Figura 818). El promedio ponderado de la muestra es de 26.35 mg/L, que supera el límite de las normas. Durante el muestreo no se observaron anomalías durante la operación, pero este valor en particular es irregular con respecto a los datos históricos de calidad del efluente. Se revisa el análisis de laboratorio para corroborar el valor obtenido.



**Figura 818. Variación de grasas y aceites**

En las gráficas de la Figura 819 se observa que en el influente la concentración de coliformes fecales es típica de un agua residual municipal con valores en un intervalo entre  $9.3E+06$  y  $1.1E+08$  NMP/100 mL, lo cual también se refleja en la concentración de *E. coli*,  $9.3E+05$  a  $2.4E+06$  NMP/100 mL.

En el efluente del sistema se encontraron concentraciones de coliformes hasta de 4 unidades logarítmicas en una de las muestras, con una media geométrica de  $1.78E+02$  NMP/100 mL, con valores mínimos de 40 NMP/100 mL. Para el caso de la *E. coli* se encontraron valores similares a los reportados para coliformes fecales. Al tomar como límite el promedio mensual para ambos parámetros, el efluente cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021.



**Figura 819. Parámetros microbiológicos de la muestra compuesta**



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



En la Tabla 262 se presentan los resultados de laboratorio de la muestra compuesta para diferentes parámetros.

**Tabla 262. Resultados de laboratorio de muestra compuesta**

| Parámetro         | Unidades   | Muestreo compuesto |           | NOM-001-SEMARNAT-1996 | NOM-001-SEMARNAT-2021          |                                 | CPD |
|-------------------|------------|--------------------|-----------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----|
|                   |            | Influyente         | Efluente  | CR tipo A             | Ríos, arroyos, canales, drenes |                                 | PM  |
|                   |            |                    |           | PM                    | PM                             | PM                              |     |
| pH                | UpH        | 6.9-8.1            | 7.5-7.7   | 5-10                  | 6-9                            | 5-10                            |     |
| Temp.             | °C         | 23.0-24.0          | 24.0-26.0 | NA                    | 35                             | NA                              |     |
| C y A             | mg/L       | 31.03              | 26.35     | 15                    | 15                             | 15                              |     |
| Material Flotante |            | Ausencia           | Ausencia  | Ausente               | NA                             | NA                              |     |
| S. Sed.           | ml/L       | 3                  | 8         | 1                     | NA                             | 1                               |     |
| SST               | mg/L       | 280                | 224       | 150                   | 60                             | 150                             |     |
| DBO               | mg/L       | 1158               | 75        | 150                   | NA                             | 150                             |     |
| NT                | mg/L       | 57.4               | 36.9      | 40                    | 25                             | 40                              |     |
| PT                | mg/L       | 4.61               | 3.52      | 20                    | 15                             | 20                              |     |
| As                | mg/L       | 0.0015             | 0.001     | 0.2                   | 0.2                            | 0.2                             |     |
| Cd                | mg/L       | <0.030             | <0.030    | 0.2                   | 0.2                            | 0.2                             |     |
| CN                | mg/L       |                    |           | 2.0                   | 1                              | 2.0                             |     |
| Cu                | mg/L       | <0.050             | <0.050    | 4.0                   | 4                              | 4.0                             |     |
| Cr                | mg/L       | <0.10              | <0.10     | 1                     | 1                              | 1.0                             |     |
| Hg                | mg/L       | <0.0005            | <0.0005   | 0.01                  | 0.01                           | 0.01                            |     |
| Ni                | mg/L       | <0.10              | <0.10     | 2                     | 2                              | 2.0                             |     |
| Pb                | mg/L       | <0.10              | <0.10     | 0.5                   | 0.2                            | 0.5                             |     |
| Zn                | mg/L       | 0.11               | 0.1       | 10                    | 10                             | 10.0                            |     |
| CF                | NMP/100 ml | 2.64E+07           | 178       | 1,000                 | NA                             | 1,000                           |     |
| DQO               | mg/L       | 2204               | 750       | NA                    | 150                            | NA                              |     |
| <i>E. coli</i>    | NMP/100 ml | 2.05E+06           | 108       | NA                    | 250                            | NA                              |     |
| Color             |            |                    |           |                       | Long. Onda nm                  | Coef. Abs. Esp. m <sup>-1</sup> |     |
|                   |            | 78.5               | 84        |                       | 436                            | 7.0                             |     |
|                   | 31.1       | 32                 |           | 525                   | 5.0                            |                                 |     |

| Parámetro | Unidades | Muestreo compuesto |          | NOM-001-SEMARNAT-1996 | NOM-001-SEMARNAT-2021          |     | CPD |
|-----------|----------|--------------------|----------|-----------------------|--------------------------------|-----|-----|
|           |          | Influyente         | Efluente | CR tipo A             | Ríos, arroyos, canales, drenes |     | PM  |
|           |          |                    |          |                       | PM                             | PM  |     |
|           |          | 12.4               | 12       |                       | 620                            | 3.0 |     |

Coef. Abs. Esp.: coeficiente de absorción espectral      PM: promedio mensual

La concentración de materia orgánica medida como DBO y DQO en el influente fue de 2204 y 1158 mg/L respectivamente, lo que proporciona una relación de DBO/DQO = 0.52. En el efluente los valores fueron de 75 y 750 mg/L respectivamente, con una relación DBO/DQO = 0.1 (75/750), lo que indica que no se han removido durante el tratamiento los compuestos de baja biodegradabilidad o recalcitrantes.

Estos valores representan una remoción del 93.5% para la DBO y del 66% para DQO. El efluente cumple con la CPD establecida en el permiso de descarga y con la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la DBO, pero supera el límite establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021 para la DQO, que no está normada en el permiso de descarga. Es importante mencionar que en la NOM-001-SEMARNAT-2021 el límite permisible para DQO, en promedio mensual, es de 150 mg/L.

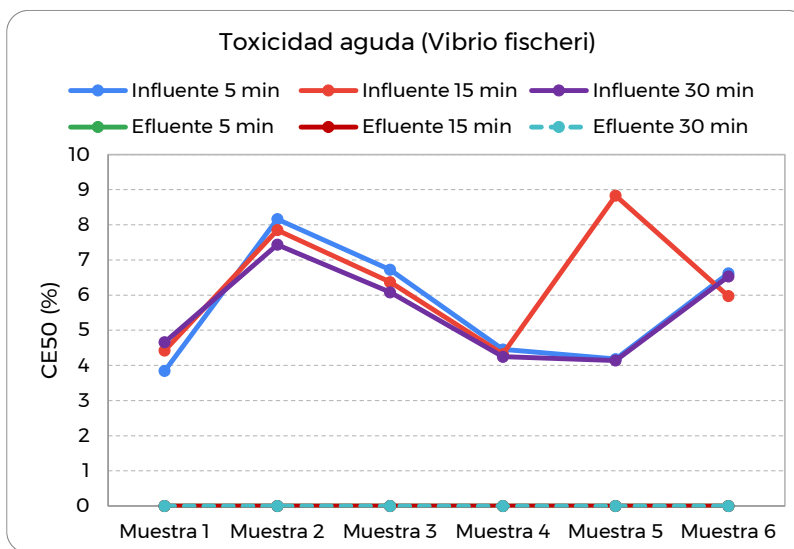
Con respecto a los valores históricos, en la Figura 50 se muestra el comportamiento de la DBO tanto en el influente como en el efluente de la PTAR. El límite de descarga no se rebasa en ningún momento. Desde la perspectiva de la NOM-001-SEMARNAT-1996 la planta opera adecuadamente y la eficiencia de remoción es de alrededor del 98%.

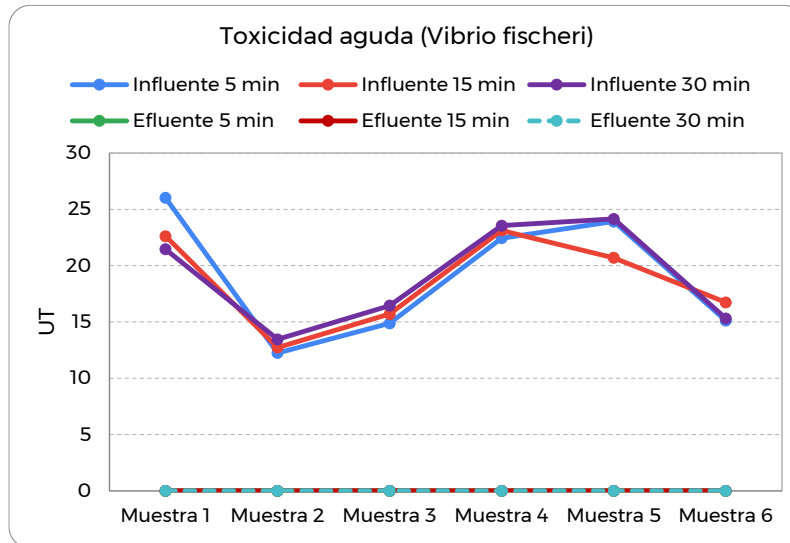
En lo que respecta a los valores históricos de la DQO, en la Figura 53 se observa que hay una remoción sustancial de este parámetro. La concentración promedio de DQO en el agua cruda es de 3356 mg/L con picos de hasta 6513 mg/L, mientras que la concentración promedio del efluente es de 472 mg/L, valor inferior a la muestra obtenida durante los trabajos de campo, y la eficiencia de remoción promedio es de 85.9%, pero la concentración final excede el LP de la NOM-001-SEMARNAT-2021.

En relación con la concentración de nitrógeno, se observa que la remoción en la planta fue del 35.7% con lo cual se alcanza el límite establecido (promedio mensual) tanto en las CPD como para la NOM-001-SEMARNAT-1996; Sin embargo, esta eficiencia no es suficiente para cumplir con el LP de la NOM-001-SEMARNAT-2021 (25 mg/L) en descarga en ríos, arroyos, canales, drenes. En relación al comportamiento histórico de este parámetro, en la Figura 51 se observa que el nitrógeno total está en todo

momento por debajo del LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y, salvo cuatro puntos, también presenta una concentración menor al LP de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Se requiere vigilar el comportamiento de este parámetro ya que, de acuerdo con los valores históricos analizados, se puede considerar que, de manera general, la planta no requiere ajustes mayores y satisface la normatividad.

La concentración de fósforo total en el influente es de 4.61 mg/L mientras que en el efluente fue de 3.52 mg/L en el efluente, lo que representa una remoción del 23.6%. Este parámetro no representa problemas para el cumplimiento de la normatividad (CPD, NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-001-SEMARNAT-2021), desde el efluente las concentraciones inferiores a los límites establecidos. Las concentraciones de metales, tanto en el influente como en el efluente, son inferiores a los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996, la NOM-001-SEMARNAT-2021 y las CPD. El resultado de cianuros está pendiente.



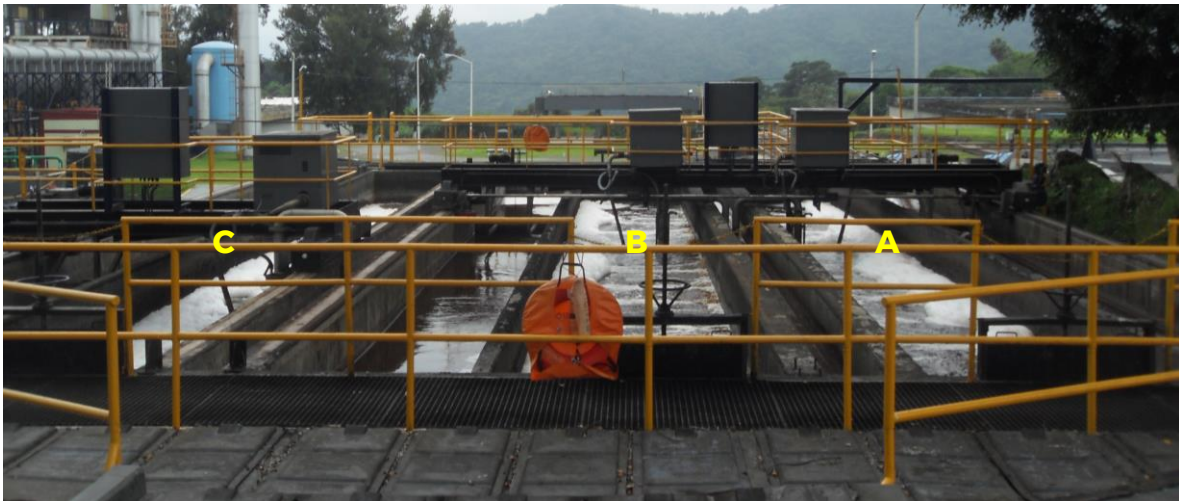


**Figura 820 Toxicidad aguda de la muestra compuesta**

De acuerdo con los análisis realizados, la toxicidad medida con *Vibrio fischeri* en el influente se encuentra en un intervalo entre 4.32 a 8.83 UT (Figura 820) a los 15 minutos de exposición. En el efluente, la toxicidad no fue detectada. Con relación a la toxicidad en el influente, los resultados sugieren que el proceso de tratamiento en la PTAR remueve la toxicidad.

### 37.2.2 Resultados de muestreo simple

En la Tabla 121 se presentan los resultados obtenidos de las muestras puntuales realizadas en los diferentes puntos de la PTAR. A la salida de los desarenadores A, B y C se observó una mayor variabilidad para las GyA: 18.6, 23. y 41.4 mg/L respectivamente. En este sentido, los desgrasadores - desnatadores tienen que ser revisados y ajustados para garantizar una mejor remoción, sobre todo en el canal C. Al considerar una concentración promedio en el influente de 30.9 mg/L, la eficiencia de remoción es, respectivamente, de 39.8%, 25.6% y sin remoción en el canal C.



**Figura 821. Desarenadores A, B y C**

Posteriormente, estos efluentes individuales descargan en un punto común y son enviados a las rejillas finas y de ahí a la laguna de regulación. Los SST



a la salida de los desarenadores y las rejillas finas no presentan muchas diferencias, oscilaron entre 293 a 320 mg/L, mientras que para los sólidos sedimentables se registraron valores de 2 a 4.5 mL/L. En la muestra compuesta del influente, la concentración de SST fue de 280 mg/L y de 3 mL para los sólidos sedimentables.

A la salida de la laguna de regulación, que se encontraba en mantenimiento, se registra la disminución de la DBO<sub>5</sub> del 41.9%. Cabe señalar que este es un valor puntual. No se observa remoción de DQO.

Se monitorearon los efluentes de los cinco reactores anaerobios (UASB RAN 201) y la mezcla final de este efluente. La temperatura fue de 25°C con excepción del reactor C, que presentó una temperatura de 24°C. El valor del pH en los cinco reactores se presentó en un intervalo de 6.5 a 6.8, ausencia de materia flotante. Se registró presencia de sólidos sedimentables en los efluentes, en un intervalo de 1.7 a 18 mL/L. Con respecto a los SST, se presentan en un intervalo de 46.7 a 553 mg/L. Se debe revisar las condiciones de operación del reactor C, ya que presenta valores muy diferentes al resto de los reactores anaerobios.

En lo que respecta al proceso aerobio, RAE 301, se cuenta con tres módulos de reactores de lotes secuenciados (A, B y C) y cada módulo se conforma por ocho reactores interconectados entre sí y ordenados de manera lineal: tres reactores (Figura 822). Durante el muestreo, el reactor aerobio B operaba parcialmente, por lo que se tomaron muestras puntuales del reactor A y C.

|                          |                          |                          |           |           |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Terceros<br>Aereadores 1 | Segundos<br>Aereadores 1 | Primeros<br>Aereadores 1 | Anóxico 1 | Anóxico 2 | Primeros<br>Aereadores 2 | Segundos<br>Aereadores 2 | Terceros<br>Aereadores 2 |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

**Figura 822. Esquema de la configuración de los módulos de reactores de lotes secuenciados**

**Tabla 263. Resultados obtenidos de las muestras puntuales**

|                                     |            | T  | pH  | MF  | SSed | SST  | SSV  | G y A | DQO  | DBO <sub>5</sub> | DQO <sub>sol</sub> | NT   | PT    |
|-------------------------------------|------------|----|-----|-----|------|------|------|-------|------|------------------|--------------------|------|-------|
|                                     |            | °C | upH | A/P | mL/L | mg/L | mg/L | mg/L  | mg/L | mg/L             | mg/L               | mg/L | mg/L  |
| Salida rejillas finas               | A y B      |    |     |     | 4    | 289  |      |       |      |                  |                    |      |       |
|                                     | C y D      |    |     |     | 4    | 290  |      |       |      |                  |                    |      |       |
|                                     | mezcla     |    |     |     | 3    | 300  |      |       |      |                  |                    |      |       |
| Salida desarenador                  | A          |    |     |     | 4    | 300  |      | 18.6  |      |                  |                    |      |       |
|                                     | B          |    |     |     | 4.5  | 293  |      | 23.7  |      |                  |                    |      |       |
|                                     | C          |    |     |     | 2    | 320  |      | 41.4  |      |                  |                    |      |       |
| Salida distribuidor lodos activados | P1         |    |     |     | 2.5  | 38   | 27   | 12    | 554  | 26               | 442                | 28.7 | 1.74  |
|                                     | P2         |    |     |     | 2    | 46   | 33   | <8.56 | 611  | 25               | 444                | 39.3 | 3.14  |
| Salida Laguna                       | regulación |    |     |     | 9.5  | 340  |      | 47.7  | 2700 | 672              | 1161               | 57.2 | 9.83  |
| Salida UASB RAN 201 Recolector      | A          | 25 | 6.7 | A   | 16   | 553  | 400  | 70.3  | 2163 | 185              | 1006               | 81.1 | 7.49  |
|                                     | B          | 25 | 6.5 | A   | 18   | 540  | 290  | 44.9  | 1965 | 255              | 918                | 79   | 10    |
|                                     | C          | 24 | 6.8 | A   | 1.7  | 46.7 | 40   | 10.3  | 750  | 34               | 548                | 60   | 8.72  |
|                                     | D          | 25 | 6.6 | A   | 6.5  | 210  | 180  | 33.4  | 1271 | 144              | 676                | 60.9 | 6.39  |
|                                     | E          | 25 | 6.7 | A   | 12   | 485  | 285  | 3.33  | 1710 | 93               | 675                | 91.4 | 9.1   |
|                                     | Mezcla     | 25 | 6.7 | A   | 12   | 240  | 225  | 35.7  | 1455 | 166              | 723                | 74.6 | 8.98  |
| Salida primeros aereadores RAE 301  | A1         | 26 | 7.4 |     | 300  | 6250 | 3920 | 38.3  | 6257 | 1162             | 441                | 499  | 59.39 |
|                                     | A2         | 25 | 7.4 |     | 200  | 5070 | 3360 | 99.2  | 7356 | 800              | 470                | 325  | 50.49 |
|                                     | C1         | 24 | 7.4 |     | 45   | 5520 | 3540 | 97.9  | 9942 | 1188             | 478                | 402  | 48.9  |
|                                     | C2         | 25 | 7.4 |     | 350  | 6550 | 4150 | 40.3  | 8742 | 1370             | 495                | 413  | 55.62 |
| Salida segundos                     | A1         | 26 | 7.5 |     | 150  | 5830 | 3740 | 13.6  | 8105 | 1283             | 425                | 447  | 55.88 |
|                                     | A2         | 25 | 7.4 |     | 175  | 5860 | 3780 | 28.9  | 5621 | 1277             | 421                | 353  | 42.8  |

|   |    | T<br>°C | pH<br>upH | MF<br>A/P | SSed<br>mL/L | SST<br>mg/L | SSV<br>mg/L | G y A<br>mg/L | DQO<br>mg/L | DBO <sub>5</sub><br>mg/L | DQO <sub>sol</sub><br>mg/L | NT<br>mg/L | PT<br>mg/L |
|---|----|---------|-----------|-----------|--------------|-------------|-------------|---------------|-------------|--------------------------|----------------------------|------------|------------|
| aereadores<br>RAE 301                       | C1 | 25      | 7.4       |           | 300          | 5660        | 3660        | 30.4          | 10707       | 1360                     | 487                        | 407        | 48.74      |
|   | C2 | 25      | 7.4       |           | 350          | 6770        | 4430        | 39.7          | 10507       | 1313                     | 479                        | 552        | 74.69      |
| Salida<br>terceros<br>aereadores<br>RAE 301 | A1 | 25      | 7.6       | A         | 0.7          | 27          | 25          | <8.56         | 600         | 19                       | 404                        |            |            |
|   | A2 | 26      | 7.4       | A         | 0.9          | 24          | 22.7        | 14            | 555         | 15                       | 448                        |            |            |
|   | C1 | 24      | 7.4       | A         | 400          | 7820        | 5140        | 192           | 10225       | 1273                     | 460                        |            |            |
|   | C2 | 25      | 7.4       | A         | 0.5          | 25.7        | 24.3        | 726           | 520         | 14                       | 463                        |            |            |
| Sólidos<br>anóxicos<br>RAE 301              | A1 |         |           |           | 25           | 17070       | 16100       | 2309          | 1325        | 346                      | 464                        | 145        | 12.85      |
|   | A2 |         |           |           | 94           | 3230        | 2190        | 162           | 3259        | 976                      | 535                        | 319        | 17.15      |
|   | C1 |         |           |           | 150          | 1670        | 1190        | 121           | 3336        | 451                      | 576                        | 196        | 11.47      |
|   | C2 |         |           |           | 450          | 6240        | 4187        | 207           | 10302       | 1054                     | 482                        | 453        | 11.42      |

A: ausencia

P: presencia

La configuración de cada módulo hace que los reactores de los extremos tengan la función de sedimentadores, se tiene cuatro reactores aerobios y dos reactores anóxicos en la parte central del módulo. La salida de los módulos es siempre por los extremos y la entrada por la parte central.

La salida de los compartimentos correspondientes a los primeros y segundo aeradores presentan un comportamiento muy parecido: SST en un intervalo de 5070 a 6550 mg/L y SSV de 3360 a 4430 mg/L. En la salida de los terceros compartimentos, que corresponden a los sedimentadores, en el módulo C1 se presentan valores de SST y SSV que indican arrastre de sólidos. En los tres efluentes restantes si se presenta una disminución de sólidos.

Por otra parte, en las instalaciones de la planta se cuenta con un módulo en donde se han realizado pruebas a nivel piloto (proceso fisicoquímico) para implementar medidas y cumplir con los límites permisibles de SST, DQO y color. De acuerdo con el gerente, estos cambios se implementarán en función de los lineamientos para cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Se tomaron muestras puntuales para analizar la DQO, toxicidad y color verdadero. Los resultados de estas muestras se presentan en la Tabla 264.

**Tabla 264. Resultados de las muestras del módulo piloto**

| Punto                 | DQO<br>mg/L | Color verdadero, m <sup>-1</sup> |           |           |      | CE <sub>50</sub> (%) |     |     | UT  |     |     |
|-----------------------|-------------|----------------------------------|-----------|-----------|------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                       |             | 436<br>nm                        | 525<br>nm | 620<br>nm | pH   | 5'                   | 15' | 30' | 5'  | 15' | 30' |
| Módulo piloto         | 130         | 14.5                             | 3.8       | 1.1       | 7.25 | TND                  | TND | TND | TND | TND | TND |
| NOM-001-SEMARNAT-2021 | 150         | 7                                | 5         | 3         |      | TND                  | TND | TND | TND | 2   | TND |

En este contexto, se observa que la propuesta fisicoquímica permite alcanzar el límite requerido para la DQO. La toxicidad no se detecta en el efluente para las pruebas realizadas. Se rebasa solamente el límite permitido para color verdadero (coeficiente de absorción espectral máximo) para una longitud de onda de 436 nm.

### **37.3 Influencia industrial**

De acuerdo con la información proporcionada por el personal de Mitinfra, actualmente la PTAR FIRIOB recibe las descargas industriales de nueve industrias con diferentes giros: alimenticio, papelera, cervecera y curtiduría (Figura 724, Tabla 241). La proporción, en volumen, es de 70% de aguas municipales y 30% de aguas industriales, mientras que la proporción en carga orgánica es la inversa: 30% carga orgánica municipal y 70% carga orgánica industrial.

Los resultados de los muestreos reportados a Conagua muestran una relación DQO/DBO en el influente que oscila entre 1.79 y 1.96, lo que indica que el agua tiene un muy buen nivel de degradabilidad. Si bien la aportación industrial es tal que puede elevar la concentración de sustancias consumidoras de oxígeno disuelto hasta valores de 6500 mg/L, el comportamiento es semejante al de un agua puramente doméstica. Cabe resaltar que el mayor aporte industrial proviene de la industria alimenticia, cervecera y levaduras.

En el efluente, el cociente DQO/DBO tiene un comportamiento muy distinto del influente ya que alcanza proporciones de 13.13:1 hasta 22.05:1, es decir que la fracción no biodegradable que aporta la industria se hace evidente al final de tratamiento. Esto sin duda, define el hecho que el efluente tratado no esté en condiciones de cumplir con el LP de la NOM-001-SEMARNAT-2021 en este parámetro.

Sin embargo, con la implementación del proceso fisicoquímico propuesto a nivel piloto, es posible que efluente tratado cumpla con los requerimientos de la norma anteriormente mencionada.

## **38 DIAGNÓSTICO DE PERSONAL**

### **38.1 Recursos Humanos**

A continuación, se presenta el resultado del análisis del personal que labora en la PTAR FIRIOB. Esta información corresponde a la obtenida a través del FORMATO 03. RECURSOS HUMANOS que se encuentra en el

## Anexo B.

La plantilla de la PTAR está conformada por 26 personas;

- 9 administrativas
- 10 operadores
- 6 mantenimiento
- 1 laboratorio

De éstas, 14 (53.8%) tienen una antigüedad mayor a nueve años, nueve (34.6%) han laborado en la planta durante un periodo de tres a ocho años, y solamente tres personas (11.6%) cuentan con una antigüedad de dos años o inferior. En cuanto a preparación, cinco personas (19.2%) cursaron la secundaria, seis trabajadores cuentan con preparatoria o bachillerato (23.1%) y 57.7 % (15 personas) tienen una licenciatura.

De esta manera, se puede considerar que la plantilla ha tenido continuidad y Los restantes (81%) se encuentran entre un rango de nueve o menos años., lo que demuestra que desde que entró en operación la PTAR, se ha tenido continuidad en la plantilla, lo que coadyuva en la estabilidad en operación y mantenimiento de la PTAR. El personal tiene formación que le permite trabajar en una planta de tratamiento de aguas residuales, además de la capacitación continua que se ofrece a los trabajadores.

Cuenta con dos certificados:

- I. Quality Management System - ISO 9001:2015, **FM 622726**, registrado el 23 de marzo 2015, revisado el 10 de marzo 2021 y con expiración el 22 de marzo 2024 (Figura 823)
- II. Environmental Management System - ISO 14001:2015, **EMS663304**, registrado el 21 de junio 2018, revisado el 20 de marzo 2021 y con expiración el 20 de junio 2024 (Figura 84).



Figura 823. Certificado ISO-9001-2015.



Figura 824. Certificado ISO-14001-2015

## 38.2 Evaluación de conocimientos

Este apartado es resultado de la aplicación del Formato 04. Evaluación de conocimientos, de lo cual se observó lo siguiente:

- El jefe de la planta de tratamiento (Nahúm Gutiérrez González); debido a los años de experiencia presenta muy buenos conocimientos técnicos y conoce muy bien la PTAR.
- El jefe de laboratorio (Carlos Alberto Gómez Palacios); presenta buenas bases en conocimientos básicos y generales.
- Operadores de la PTAR; tienen buenos conocimientos sobre el tratamiento de aguas residuales.

## 38.3 Capacitación

### 38.3.1 Cursos de capacitación recibidos

A continuación, se citan los cursos que ha recibido, por una vez, el personal en los últimos tres años:

- NOM-001-SEMARNAT-1996



- Polímeros
- Uso y manejo de equipo para fugas de gas cloro
- Uso y manejo de residuos de manejo especial
- Uso de equipo de aire autónomo
- Sistemas de gestión integral
- Curso de auditores internos
- Brigadas
- Temas de seguridad
- Conocimientos técnicos y cálculos de IVL, TRH, TRMC
- Diferentes procesos de tratamiento de aguas
- Osmosis inversa
- Uso y manejo de residuos peligrosos
- Uso y manejo de hipoclorito
- Análisis modo efecto fallas, AMEF
- Auditorías internas (ISO-9000 - ISO-14000)
- Conocimientos técnicos operativos de secado de lodos
- Conocimientos técnicos de operación (cálculos, equipos)

### **38.3.2 Temas de capacitación solicitados**

De acuerdo con la información recolectada el personal de la PTAR mencionó algunos cursos de capacitación de su interés, los cuales se desglosan a continuación:

- Capacitación a jefe de turno
- Capacitación en control de calidad
- Capacitación en área de seguridad
- Todo lo referente a procesos de tratamiento
- Osmosis inversa
- Actualización de normas
- Capacitación en análisis de laboratorio
- Cargas y circuitos eléctricos
- Administración de recursos humanos económicos

Estos cursos son los solicitados por los operadores en los cuestionarios de evaluación. Por otra parte, la compañía tiene un programa de capacitación para el personal de la planta. El programa se divide en cuatro temas fundamentales, seguridad, administración, calidad, mantenimiento y operación (Figura 825).

| PLANTA: FRIJOB                   |   | Mitsui & Co. Infrastructure Solutions, S.A. de C.V. |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      | R-AD-RH-03            |        |                                    |                         |         |
|----------------------------------|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----------------------|--------|------------------------------------|-------------------------|---------|
| FECHA DE REVISIÓN: 29/04/2022    |   | PROGRAMA ANUAL DE CAPACITACION                      |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      | EDICIÓN: 05           |        | NUMERO DE PAGINA: 1 DE 1           |                         |         |
| PROGRAMA ANUAL                   |   | 2022  |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      | FECHA ULTIMALIZACION: |        | 29/12/2022                         |                         |         |
| CUBRIR                           | TEMA  | ENE   | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DICI | DIA                   | MANTEN | REQUISIBLE A IMPARTIR CAPACITACION | PERSONAL REQUERIDO      |         |
|                                  |   |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        |                                    |                         | 1       |
| <b>SEGURIDAD</b>                 |   |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        |                                    |                         |         |
| 1                                | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 2                                | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 3                                | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 4                                | FACTORES DEL RIESGO ECONOMICO DE LA PLANTA ANOMALIA STPS 2018 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 5                                | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 6                                | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 7                                | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 8                                | COMERCIO EN TIEMPO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                     |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 9                                | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 10                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 11                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 12                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 13                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 14                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 15                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 16                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 17                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 18                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 19                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 20                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 21                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 22                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 23                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 24                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 25                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 26                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 27                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 28                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 29                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 30                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 31                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| <b>ADMINISTRACION</b>            |   |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        |                                    |                         |         |
| 32                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 33                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 34                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 35                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| <b>CALIDAD</b>                   |   |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        |                                    |                         |         |
| 36                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 37                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 38                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 39                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| <b>MANTENIMIENTO / OPERACION</b> |   |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        |                                    |                         |         |
| 40                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 41                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 42                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 43                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 44                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 45                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 46                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 47                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 48                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 49                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 50                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 51                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 52                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 53                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 54                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 55                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 56                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 57                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 58                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 59                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 60                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 61                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 62                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 63                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |
| 64                               | MANEJO DE EMERGENCIAS (BOMBA)                                 |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |                       |        | 100                                | Marcos E. Sanchez Pardo | 2019011 |

Figura 825. Programa de capacitación anual 2022

### 38.3.3 Material didáctico entregado

Para coadyuvar en el tema de la capacitación continua, se entregó el siguiente material didáctico en la PTAR

- y) Manuales: El contenido de cada uno de ellos se encuentra en la liga:  
<https://drive.google.com/drive/folders/1m9GYeDsYFscSYAuUpRM5BV8VBsYqT-o8?usp=sharing>
- z) Infografías
- aa) Manual de ejercicios prácticos

Los Manuales constan de seis tomos cuyas temáticas son las siguientes (Figura 257).

- ww) Indicadores sensoriales
- xx) Indicadores analíticos
- yy) Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
- zz) Calidad del agua
- aaa) Control del proceso
- bbb) Seguridad e higiene





**Figura 826. Portada de los manuales.**

Se elaboraron 15 infografías con la información de los manuales, las cuales se mencionan a continuación (Figura 258):

- qqqqq) Arranque de una PTAR de lodos activados
- rrrrr) Higiene y seguridad
- sssss) Indicadores analíticos A
- ttttt) Indicadores analíticos B
- uuuuu) Indicadores sensoriales A
- vvvvv) Indicadores sensoriales B
- wwwww) Índice volumétrico de lodos
- xxxxx) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-001-SEMARNAT-1996
- yyyyy) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-002-SEMARNAT-1996
- zzzzz) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-003-SEMARNAT-1997
- aaaaa) Parámetros de calidad del agua
- bbbbbb) Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados
- ccccc) Problemas frecuentes en un sistema de lodos activados
- dddddd) Relación alimento/microorganismos
- eeeeee) Sistema mecanizado de tratamiento de aguas residuales

## ARRANQUE DE UNA PTAR DE LODOS ACTIVADOS

### Revisión del equipo electromecánico

Realizar un listado de todos los equipos electromecánicos por unidad de proceso. Realizar una prueba de arranque y paro, verificando el giro de motores y si es posible amperaje, esto con la finalidad de que no este obstruido o pegado el motor.

### Revisión hidráulica de los tanques

- Realizar el llenado de las unidades para verificar que no existan fugas o grietas en las paredes.
- El agua será transferida de tanque en tanque.
- Para realizar esta actividad es necesario contar con planos de cada una de las unidades de proceso, para señalar o marcar y describir en estos las fallas que se consideren pertinentes.

**No arrancar si faltan equipos y detalles de construcción**

El arranque de un proceso de lodos activados, se lleva tiempo y deben tenerse ciertos cuidados para lograr su estabilización, así como un buen funcionamiento del proceso. Se recomienda realizarlo en **verano**.

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lodos activados se puede realizar bajo **dos escenarios, con y sin inóculo**, siendo considerado este último como una situación difícil.

#### ARRANQUE SIN INÓCULO

- 1 Introducir agua residual al reactor biológico hasta un cuarto de su capacidad y arrancar la unidad de aereación. Al no existir microorganismos en el desarenador, se generará una gran cantidad de espuma.
- 2 Llenar reactor biológico a un 50% y continuar con la aereación.
- 3 Llenar reactor biológico a un 70% y continuar con la aereación.
- 4 Llenar reactor biológico a un 100% y continuar con la aereación.
- 5 Iniciar con un flujo continuo de agua residual a 20% del flujo de diseño. Iniciar operación en el sedimentador secundario con recirculación al 100%. Analizar SST, M y SVU/M para estimar el desarrollo de la espuma. Tener muestras de agua residual cruda y tratada para determinar DBO y DQO y SST, para establecer la eficiencia del proceso.
- 11 Aumentar el flujo de agua residual al 10%. Calcular recirculación y purga de todos y tratar los efluentes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- 15 Aumentar el flujo de agua residual al 70%. Calcular recirculación y purga de todos y tratar los efluentes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- 20 Aumentar el flujo de agua residual al 100%. Calcular recirculación y purga de todos y tratar los efluentes necesarios. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- 30

#### ARRANQUE CON INÓCULO

**Cálculo de requerimiento de lodos:**

Datos:  
El reactor biológico tendrá 1 500 m<sup>3</sup> (15 kg/m<sup>3</sup>) de SST/M, y un volumen de 4 500 m<sup>3</sup> de lodos de origen de la recirculación, con una concentración de 8 760 mg/L (8.76 kg/m<sup>3</sup>).

Cálculo:  
Masa lodosica = 15 kg/m<sup>3</sup> x 1 500 m<sup>3</sup> = 22 500 kg  
Volumen requerido = 15 230 kg / 8.76 kg/m<sup>3</sup> = 1 738 m<sup>3</sup>  
Se inocula con un 20% = 347 m<sup>3</sup>. En la práctica como mínimo se recomienda no menos del 5%.

Datos:  
1 Llenar el reactor biológico con agua residual, al mismo tiempo agregar el inóculo y aumentar la cantidad de aereación. Iniciar con un flujo de agua residual del 20%. La recirculación en el sedimentador secundario debe ser del 100%. Aumentar la formación de la espuma y comenzar su desarrollo. Analizar SST/M y SVU/M para estimar el desarrollo de la espuma. Tener muestras de agua residual cruda y tratada para determinar DBO o DQO y SST, y establecer la eficiencia del proceso.
- 6 Aumentar el flujo al 50%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.
- 10 Aumentar el flujo al 100%. Continuar con análisis de agua residual y tratada y SST en reactor.

**Es difícil determinar cuándo termina el arranque y cuando inicia la operación normal.**

- Concentración de los parámetros de calidad del agua del efluente.
- Simbiosis durante estos días, tal vez indique una operación normal.
- Presentar valores muy cercanos a los de diseño.

**Parámetros de control de operación muy cercanos a los de diseño.**

## HIGIENE Y SEGURIDAD

La higiene y seguridad deben iniciar por uno mismo y mantenerse para prevenir enfermedades y accidentes en el lugar de trabajo.

### Comité de higiene y seguridad

Las actividades del comité son:

- Realizar inspecciones
- Desarrollar el manual de higiene y seguridad
- Conducir investigaciones de accidentes y lesiones
- Proponer y sugerir capacitación

La capacitación es importante y sirve de medida preventiva contra accidentes e enfermedades.

### Programas

Los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento:

- Programa de higiene y seguridad
- Comités de higiene y seguridad
- Capacitación en higiene y seguridad

### Medidas de higiene

**Hepatitis A**  
**Hepatitis B**  
**Sarampión**  
**Papera**  
**Neumonía**  
**Rubéola**  
**Tétanos**  
**Difteria**

Norma Oficial Mexicana NOM-071-STPS-2005 Empleo de protección personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

**Objetivo:** Establecer los requisitos para la selección, uso y manejo de equipo de protección personal para proteger a los trabajadores de los riesgos del trabajo en áreas de trabajo de plantas de tratamiento de aguas residuales.

**Propósito:** Prevenir a los trabajadores frente a riesgos que conlleva el uso de equipo de protección personal que conlleva a la contaminación de la salud.

Que sea acorde a las actividades de los trabajadores.

Que cumpla con las condiciones, las características y los procedimientos del fabricante para su selección, uso, mantenimiento, almacenamiento, reparación y disposición final.

| Clase y región anatómica | Cara y ojo            | Tipo de riesgo en función de la actividad  |
|--------------------------|-----------------------|--|
| Cabeza                   | Casco cerrado         | Indicados por alto, que sea una posibilidad de proyectarse o caer una actividad.   |
| Ojos y cara              | Antifaz de protección | Indicados para actividades que impliquen el uso de herramientas que generen riesgo de proyección de partículas o líquidos.                                     |
| Oídos                    | Tapones auriculares   | Prevenidos contra riesgo de ruido, de acuerdo al máximo permitido en el ambiente y en el nivel de exposición.  |
| Apertura respiratoria    | Respirador            | Indicados para actividades que impliquen la presencia de gases, vapores, neblinas, humos, polvo, aerosol, etc. Dependiendo del tipo de actividad y del riesgo. |
| Extremidades superiores  | Guantes               | Indicados para actividades que impliquen el contacto con sustancias químicas, biológicas, térmicas o mecánicas que generen lesiones.                           |
| Tronco                   | Cinturón              | Indicados para actividades que impliquen el uso de herramientas que generen riesgo de proyección de partículas o líquidos.                                     |
| Extremidades inferiores  | Botas                 | Indicados para actividades que impliquen el uso de herramientas que generen riesgo de proyección de partículas o líquidos.                                     |

La mejor defensa contra infecciones virales y bacterianas es la observación de prácticas de higiene personal, por lo que se debe:

- Mantener manos y dedos limpios de la nariz, boca, ojos u otros.
- Usar guantes de látex cuando se limpien heridas o heridas, se manejen agua residual, aguas, todos o arena u otros tipos de residuos orgánicos o sólidos, con las aguas residuales o todos.
- Lavarse las manos con jabón, desinfectante con agua caliente, antes de comer o fumar y después de terminar los trabajos.
- Mantener las uñas cortas y remover los materiales dentales que se introducen en las mismas.
- Mantener el aire fresco y remover los materiales sucios que se introducen en las mismas.
- Usar guantes de látex cuando se limpie un trabajador, una para guantes rosa de calle y limpia y para la zona de trabajo.
- Evitar el fumar.
- Evitar el beber.
- Evitar el beber.

## INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para:

- Monitoriar el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

### DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar [biogénica] la materia orgánica.

Para medir [biogénica] la materia orgánica se utiliza el reactivo tetracíclico (alimento) que en un ciclo de 5 días.

Remoción de DBO 90% indican que la PTAR funciona bien.

Remoción de DBO 80% denotan problemas en la PTAR.

Debe existir un balance entre la cantidad de alimento que entra y los microorganismos presentes en el reactor biológico.

### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Es la cantidad de oxígeno que se requieren para oxidar la materia orgánica por medio químico.

Es la medida química posible que entra y sale de la PTAR. La relación DBO/DQO se obtiene monitoriando los días de retención durante un largo periodo de tiempo para establecer su tendencia o comportamiento.

Con este relación y despreciando el DQO se calcula el DBO. DBO/DQO > 0.2 indica un reactor biológico poco biodegradable. DBO/DQO > 0.5 indica un reactor biológico poco biodegradable. DBO/DQO > 1.0 indica un reactor biológico poco biodegradable. Tratamiento biológico.

### FLUJO DE AGUA

El operador tiene el control de la cantidad de agua que ingresa a la PTAR.

Se emplea para el control del proceso para controlar: cargas orgánicas, AM, TMC, TCR, calidad de recirculación y purga de lodos y desinfectación de productos químicos.

Contar con un "log" para cada variable relevante al día de diseño.

Se debe contar con un equipo medidor de gases continuo.

### GRASAS Y ACEITES

En vesículas a los microorganismos, interfiriendo con la transferencia de materia orgánica soluble a través de su pared celular, por lo que disminuyen por 10% su desarrollo. C y A entre 100 y 150 mg/L, entre 0.1 y 0.2 mg/L. Si se eleva a 1 mg/L la superficie del sedimentador secundario.

C y A > 150 mg/L, se presenta aglomeración de lodos en el reactor biológico, lo que ocasiona pérdida de SVU y una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica.

### TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO

Tiempo que permanece cierta cantidad de agua en un tanque.

En el tanque de separación los microorganismos requieren tiempo de retención para oxidar y digerir la materia orgánica soluble.

| Unidad                  | Mayor   | Menor  |
|-------------------------|---|--|
| Reactor biológico       | Separación orgánica de lodos de sedimentación | Rápido, eficiencia de remoción de DBO                          |
| Sedimentador secundario | Desinfectación. Análisis SST en el efluente   | Evitar un tratamiento de sedimentación de lodos en el efluente |

### NUTRIENTES

Los microorganismos requieren especialmente NITRÓGENO y FOSFORO para su desarrollo. Si los aguas residuales, urbanas, están en cantidad excesiva para los microorganismos.

En algunos casos, se requiere su solución para su tratamiento por medios biológicos.

## INDICADORES ANALÍTICOS

Empleados para:

- Monitoriar el funcionamiento de la PTAR
- Conocer la eficiencia del proceso
- Resolver problemas operacionales

### TEMPERATURA

Rango óptimo para la actividad bacteriana sensible: 20 - 35°C

| Actividad de microorganismos | Alta   | Baja  |
|------------------------------|--------|-------|
| Desarrollo                   | Rápido | Lento |
| Producción                   | Alto   | Bajo  |

El aire de un soplador puede incrementar la temperatura del agua hasta en 2°C. Seboato o que puede ser indicador de los 100°C.

### pH

Rango óptimo para asegurar la actividad y el crecimiento de los microorganismos en tanque de aereación: 6.0 - 8.5 unidades.

Por arriba o por abajo de 5.0 a 10.0 unidades la producción biológica muere.

En un proceso que neutraliza se espera un consumo de pH 0.2 a 0.5 unidades, entre el agua de entrada y la de salida.

| Actividad de microorganismos | Alta | Baja |
|------------------------------|------|------|
| Desarrollo                   | Alto | Bajo |
| Producción                   | Bajo | Alto |

### OXÍGENO DISUUELTO (OD)

De 1 a 2 mg/L OD residual satisfacen el ingreso de una carga orgánica alta.

La falta de un OD suficiente inhibe la actividad microbiana y disminuye la remoción de materia orgánica.

Un OD residual mayor a 2 mg/L, afecta negativamente la sedimentación secundaria, ya que la mezcla rompe los flocos, esta situación disminuye la eficiencia y el diámetro.

### CONSUMO DE OXÍGENO

Permite conocer la actividad microbiana en el reactor biológico al medir la velocidad de consumo de oxígeno.

A) Actividad microbiana alta o ingresa una alta carga orgánica o hay demasiados microorganismos.

B) Comportamiento ideal, consumo en los primeros minutos alto, pero con el tiempo se estabiliza y se llega a un valor de cero.

C) Consumo de oxígeno lento y rápidamente se hace estable, denota presencia de pocos microorganismos, o una toxicidad crónica que limita su respiración.

D) Si no existe consumo de oxígeno, la actividad microbiana es nula, indica que ocurre una toxicidad aguda.

### SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y VOLÁTILES

Los SST se emplean para los análisis de recirculación y de purga de lodos.

Los SVU indican indirectamente la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de aereación.

Los SVU se emplean para calcular la relación alimento/microorganismos (A/M) y el tiempo medio de retención celular (TMC).

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Material flotante

- Indicador de altas concentraciones de grasas y aceites.
- Interfiere con la sedimentación y puede causar bajas eficiencias de remoción de DBO.

### Acumulación de sólidos

- Su origen se debe a una operación ineficiente del desarenador o del sedimentador primario asociado.
- Reduce el volumen efectivo de las unidades de proceso afectando su eficiencia.
- Genera zonas anaeróbicas que provocan problemas de sedimentación y mal olor.

### Trayectoria de flujos

- La observación de la trayectoria del flujo se utiliza para detectar cortocircuitos.
- Los cortocircuitos son visibles al observar el movimiento de la espuma, sólidos suspendidos o material flotante.
- Problemas: reducción de tiempos de retención hidráulico, generando operación inadecuada.

### Mezcla y turbulencia

- Un tanque bien mezclado presenta uniformidad de concentraciones en todo su volumen.
- Indicadores de mezcla en el reactor biológico: Formación de depósitos de sólidos en las esquinas. Zonas con concentraciones de CO<sub>2</sub> de alto. Diferencia de concentraciones entre zonas en CO<sub>2</sub> a de 50.
- Turbulencias no uniformes o de baja turbulencia pueden ser causadas por: Difusores obstruidos, Difusores dañados, Exceso de aeración.

### Burbujeo

- En el sedimentador secundario indican que el todo tiene mucho tiempo de residencia (destafloración) se debe incrementar la recirculación de lodo.
- En canales, destafloradores y tanque de contacto de cloro con limpieza deficiente se presenta acumulación de sólidos y condiciones anaeróbicas, que generan burbujas y arrastre de sólidos.

## INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

### Color

- Lodo activado aerado en buenas condiciones: color café ahumado.
- Es un indicativo del estado de salud del lodo.
- Las condiciones de alimento proporcionan diferentes tonalidades.
- Las condiciones ambientales le dan diferente tono de color café.

### Olor

- Una PTAR bien operada no genera malos olores.
- Un proceso de lodos activados saludable tiene un ligero olor a humedad (tierra mojada).
- Un olor séptico, cambia su color a oscuro y el olor es similar al del huevo podrido.

### Tacto

- Una Temperatura o vibración excesiva en equipos electromecánicos y tuberías advierten un mal funcionamiento.

### Algas

- Su crecimiento en las paredes de los tanques o en las cañerías recolectoras indica que altos niveles de nutrientes.

### Turbiedad del efluente

- Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario que el tanque de contacto de cloro indican un mal funcionamiento de la PTAR.

### Espuma

- Color café oscuro: Se puede presentar en el reactor biológico en el sedimentador secundario y se debe a un alto contenido de grasas y proteínas que atrapan a los microorganismos y los flóculos.
- Color café claro: Los niveles de sólidos no son adecuados. El lodo no tiene la edad requerida, se joven.
- Color blanco: En tanques de respiración, reactor biológico y efluente alta concentración de detergentes. En una condición equitativa del proceso de una planta, se presenta en los reactores por las mareas y con mayor impacto que en tanques debido a que la temperatura afecta la actividad metabólica de los microorganismos y no degradan los detergentes.

# ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)

- IVL (mL/g) = Volumen de lodos sedimentados (mL/L) / concentración de SSTLM (g/L)
- El volumen de lodos sedimentados se determina en una probeta de 1 L después de 30 minutos.
- Los valores de IVL están comprendidos dentro del intervalo 150 a 35 mL/g

| Time (min) | Demasiado joven (mL/g) | Edad adecuada (mL/g) | Demasiado viejo (mL/g) |
|------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| 0          | 1000                   | 1000                 | 1000                   |
| 5          | 850                    | 650                  | 550                    |
| 10         | 750                    | 550                  | 450                    |
| 15         | 650                    | 450                  | 350                    |
| 20         | 550                    | 350                  | 250                    |
| 25         | 500                    | 300                  | 200                    |
| 30         | 450                    | 250                  | 150                    |

**Demasiado joven**

- Aumentar la recirculación
- Eliminar la purga

**Edad adecuada**

**Demasiado viejo**

- Reducir al mínimo la recirculación
- Aumentar la purga

- Se registra el volumen del lodo cada 5 minutos
- Los datos se graficarán para obtener una curva de sedimentabilidad, que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el reactor biológico.
- Durante la prueba se podrá apreciar la forma del floculo, su color y olor
- El aspecto final de la prueba da una idea de lo que se espera en el sedimentador secundario
- La información de esta prueba ayudará a conocer el comportamiento del sistema y a detectar problemas operacionales

# NORMATIVA MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

## NOM-001-SEMARNAT-1996

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

| PARÁMETROS  | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS |                        |                                 |                                   |                        |   |                |               |                           |                         |   |                           | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS |                                 |                           |                                   |   |                |                |                           |                         |       |          |      |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |
|---|--|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---|----------------|---------------|---------------------------|-------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---|----------------|----------------|---------------------------|-------------------------|-------|----------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|
|   | RÍOS   |                        |                                 | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES |                        |   | AGUAS COSTERAS |               |                           | SUELO                   |   |                           | RÍOS  |                                 |                           | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES |   |                | AGUAS COSTERAS |                           |                         | SUELO |          |      |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |
| (Miligramos por litro, excepto cuando se especifique) | Uso en riego agrícola (A)                              | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C) | Uso en riego agrícola (B)         | Uso público urbano (C) | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B) | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) | (Miligramos por litro, excepto cuando se especifique) | Uso en riego agrícola (A) | Uso público urbano (B)                                      | Protección de vida acuática (C) | Uso en riego agrícola (B) | Uso público urbano (C)            | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B)  | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) |       |          |      |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |
|   | P.M.   | P.D.                   | P.D.                            | P.M.                              | P.D.                   | P.D.  | P.M.           | P.D.          | P.M.                      | P.D.                    | P.M.  | P.D.                      | P.D.  | P.M.                            | P.D.                      | P.D.                              | P.M.  | P.D.           | P.M.           | P.D.                      | P.M.                    | P.D.  | P.M.     | P.D. |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |
| Temperatura °C (1)                                    | N.A.   | N.A.                   | 40                              | 40                                | 40                     | 40  | 40             | 40            | 40                        | 40                      | 40  | 40                        | 40  | 40                              | 40                        | 40                                | 0.2   | 0.4            | 0.1            | 0.2                       | 0.1                     | 0.2   | 0.2      | 0.4  | 0.1  | 0.2   | 0.4  | 0.1   | 0.2  |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |
| Grasas y Aceites (2)                                  | 15   | 25                     | 15                              | 25                                | 15                     | 25  | 15             | 25            | 15                        | 25                      | 15  | 25                        | 15  | 25                              | 15                        | 25                                | 0.2   | 0.4            | 0.1            | 0.2                       | 0.1                     | 0.2   | 0.2      | 0.4  | 0.1  | 0.2   | 0.05 | 0.1   | 0.1  | 2.0  |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |
| Materia Flotante (3)                                  | Ausente  |                        |                                 |                                   |                        |   |                |               |                           |                         |   |                           |   |                                 |                           |                                   |   |                |                |                           |                         |       |          |      |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |
| Sólidos sedimentables (m/l)                           | 1  | 2                      | 1                               | 2                                 | 1                      | 2   | 1              | 2             | 1                         | 2                       | 1   | 2                         | 1   | 2                               | 1                         | 2                                 | 1   | 2              | 1              | 2                         | 1                       | 2     | 1        | 2    | 1    | 2     | 1    | 2     | 1    | 2    |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |
| Sólidos suspendidos Totales                           | 150  | 200                    | 75                              | 125                               | 40                     | 60  | 75             | 125           | 40                        | 60                      | 150   | 200                       | 75  | 125                             | 75                        | 125                               | N.A.  | N.A.           | N.A.           | N.A.                      | 75                      | 125   | Mercurio | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.005 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.005 | 0.01 |
| Demanda Bioquímica de oxígeno                         | 150  | 200                    | 75                              | 150                               | 30                     | 60  | 75             | 150           | 30                        | 60                      | 150   | 200                       | 75  | 150                             | 75                        | 150                               | N.A.  | N.A.           | N.A.           | N.A.                      | 75                      | 150   | Niquel   | 2    | 4    | 2     | 4    | 2     | 4    | 2    | 4    | 2    | 4    | 2    | 4    | 2    | 4    | 2     | 4    | 2     | 4    |
| Nitrogeno total                                       | 40   | 60                     | 40                              | 60                                | 15                     | 25  | N.A.           | N.A.          | N.A.                      | N.A.                    | 15  | 25                        | N.A.  | N.A.                            | N.A.                      | N.A.                              | 0.5   | 1              | 0.2            | 0.4                       | 0.2                     | 0.4   | 0.5      | 1    | 0.2  | 0.4   | 0.2  | 0.4   | 0.5  | 1    | 0.2  | 0.4  | 0.5  | 1    | 0.2  | 0.4  | 0.5  | 1     | 0.2  | 0.4   |      |
| Fósforo total   | 20   | 30                     | 20                              | 30                                | 5                      | 10  | 20             | 30            | 5                         | 10                      | N.A.  | N.A.                      | N.A.  | N.A.                            | N.A.                      | N.A.                              | 10  | 20             | 10             | 20                        | 10                      | 20    | 10       | 20   | 10   | 20    | 10   | 20    | 10   | 20   | 10   | 20   | 10   | 20   | 10   | 20   | 10   | 20    |      |       |      |

pH de 5 a 10

Para determinar la contaminación por patógenos: Coliformes Fecales, LMP para descargas a aguas y bienes nacionales y para las vertidas al suelo (riego agrícola):  
 • 1000 NMP/100 ml como P.M.  
 • 2000 NMP/100 ml como P.D.

Para determinar la contaminación por parásitos: Huevos de Helminto, LMP para descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola):  
 • 1 H.H. para riego no restringido (CUALQUIER CULTIVO)  
 • 5 H.H. para riego restringido (excepto legumbres y verduras que se consumen crudas)

### NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

#### NOM-002-SEMARNAT-1996

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal

Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C.

Los límites máximos permisibles para los parámetros DBO y SST, son los establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

El rango permisible de pH de 10 y 5 unidades.

La materia flotante debe estar ausente.

No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos considerados peligrosos, conforme a la regulación.

| Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | Promedio mensual | Promedio diario | Instantáneo |
|---|------------------|-----------------|-------------|
| Grasas y aceites  | 50               | 75              | 100         |
| Sólidos sedimentables (mililitros por litro)                          | 5                | 7.5             | 10          |
| Arsénico total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cadmio total  | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Cianuro total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Cobre total   | 10               | 15              | 20          |
| Cromo hexavalente   | 0.5              | 0.75            | 1           |
| Mercurio total  | 0.01             | 0.015           | 0.02        |
| Níquel total  | 4                | 6               | 8           |
| Plomo total   | 1                | 1.5             | 2           |
| Zinc total  | 6                | 9               | 12          |

### NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

#### NOM-003-SEMARNAT-1997

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúnen en servicios al público.

Con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.

**REÚSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO**

Es el que se destina a actividades donde el público usuario está expuesto directamente o en contacto físico. Se consideran los siguientes reusos:

- Llenado de lagos y canales artificiales recreativos con:
- Piscinas en banda:
- Demos:
- Controlaje:
- Equi:
- Fuentes de ornato:
- Lavado de vehículos:
- Juego de parques y jardines.

**REÚSO EN SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO O OCASIONAL**

Es el que se destina a actividades donde el público en general está expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. Se consideran los siguientes reusos:

- Lagos artificiales no recreativos:
- Barreras hidráulicas de seguridad:
- Plantaciones:
- Juego de jardines y senderos en autopistas y en avenidas:
- Fuentes de ornato:
- Campo de golf:
- Abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio:

| TIPO DE REUSO   | PROMEDIO MENSUAL              |                           |                         |                         |            |
|---|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
|   | Coliformes Fecales (MP/100ml) | Huevos de Helminto (P/10) | Grasas y aceites (mg/l) | DBO <sub>5</sub> (mg/l) | SST (mg/l) |
| Servicios al público con contacto directo               | 240                           | ≤ 1                       | 15                      | 20                      | 20         |
| Servicios al público con contacto indirecto u ocasional | 1,000                         | ≤ 5                       | 15                      | 30                      | 30         |

La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada.

El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.







Figura 827. Infografías.

En el Manual de ejercicios prácticos (Figura 259) se presentan una serie de ejercicios prácticos que están clasificados por niveles, de tal manera que el operador podrá resolverlos inicialmente por él mismo. Posteriormente, la complejidad de los ejercicios le requerirá hacer uso de materiales de apoyo, o recurrir a sus colegas para dar una solución adecuada, y finalmente en un nivel superior, para poder resolver el ejercicio tendrá que recurrir a la ayuda del instructor.

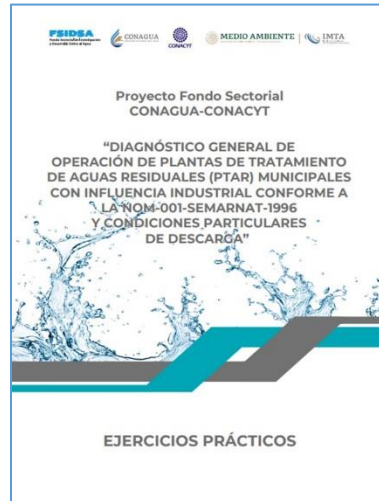
Para la ejecución de estos ejercicios se hará uso de:

- Preguntas de opción múltiple
- Preguntas directas
- Presentación de problemas operacionales
- Preguntas de reflexión, con problemas que desde un punto de vista pueden presentar múltiples interacciones entre los procesos.

Estos ejercicios están relacionados a su vez con conocimientos generales, teóricos y prácticos de la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

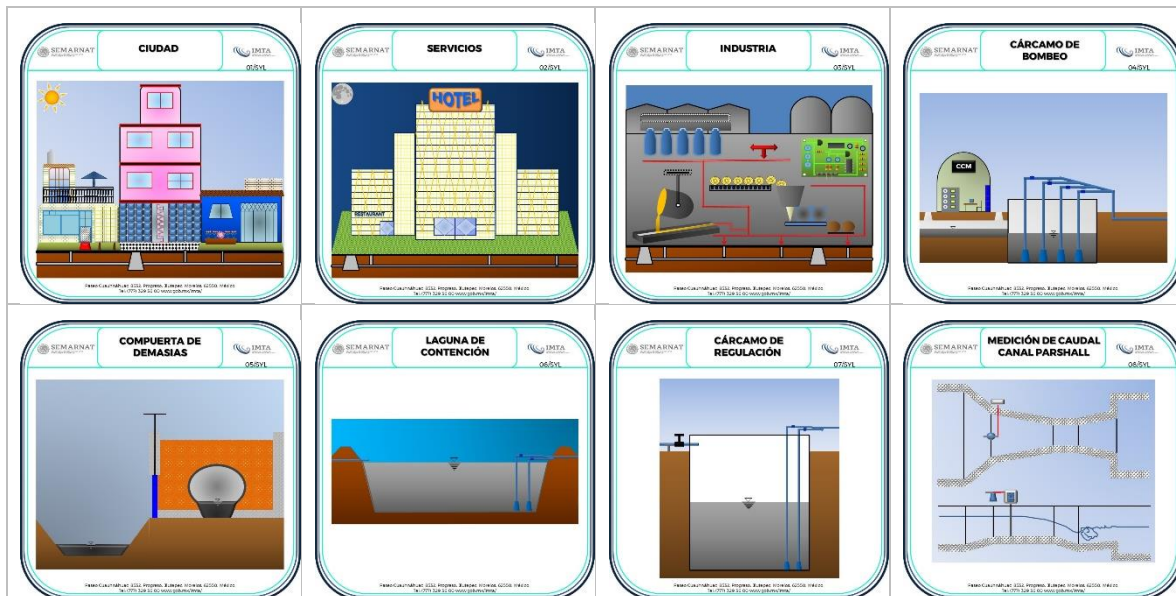
Por lo anterior, lo que pretende este manual es que el operador al final cuente con los conocimientos que le permita discernir los niveles de problemas operacionales que se pueden presentar en una PTAR y, a su vez,

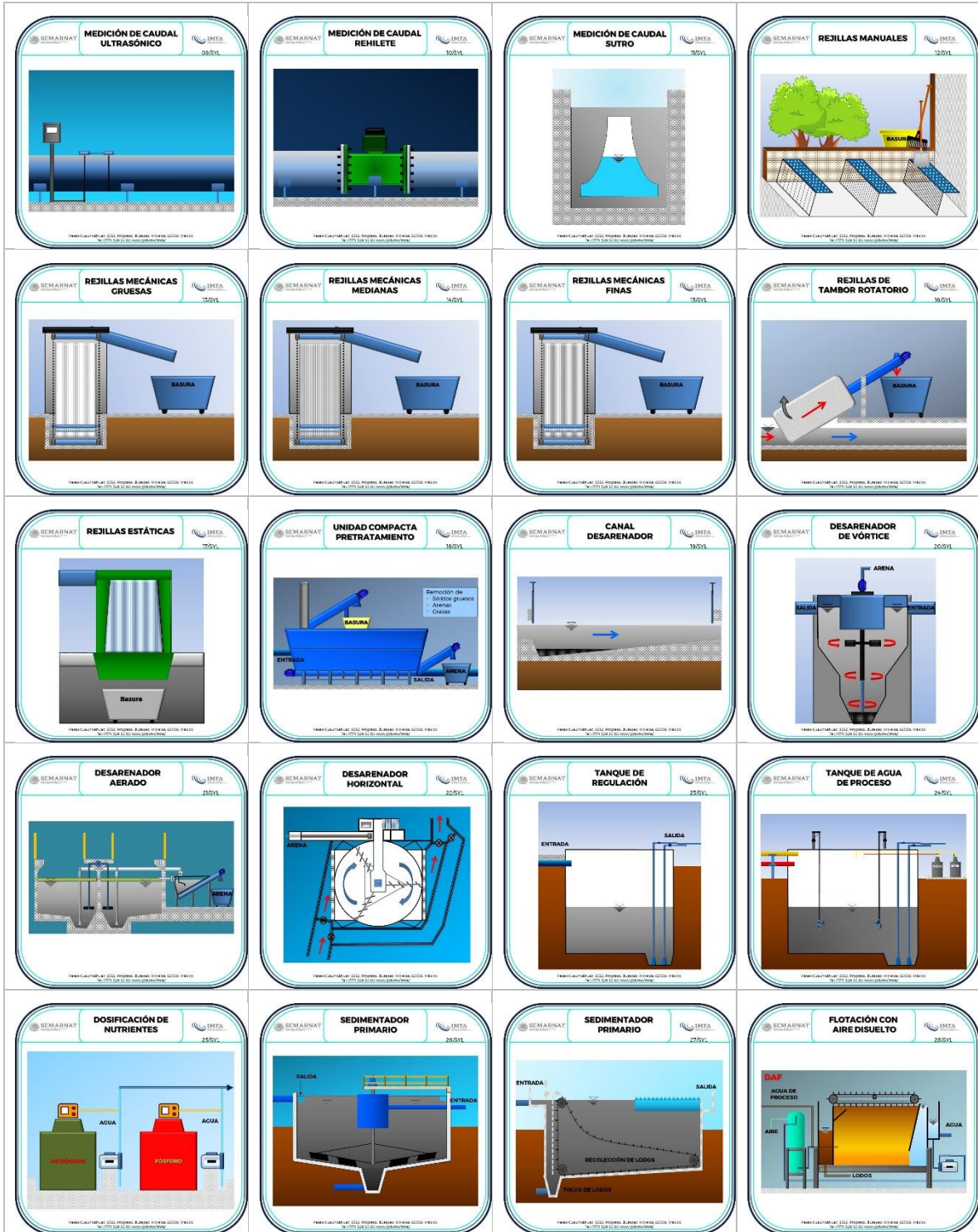
tener una herramienta que le permita jerarquizarlos para obtener la mejor y correcta solución.

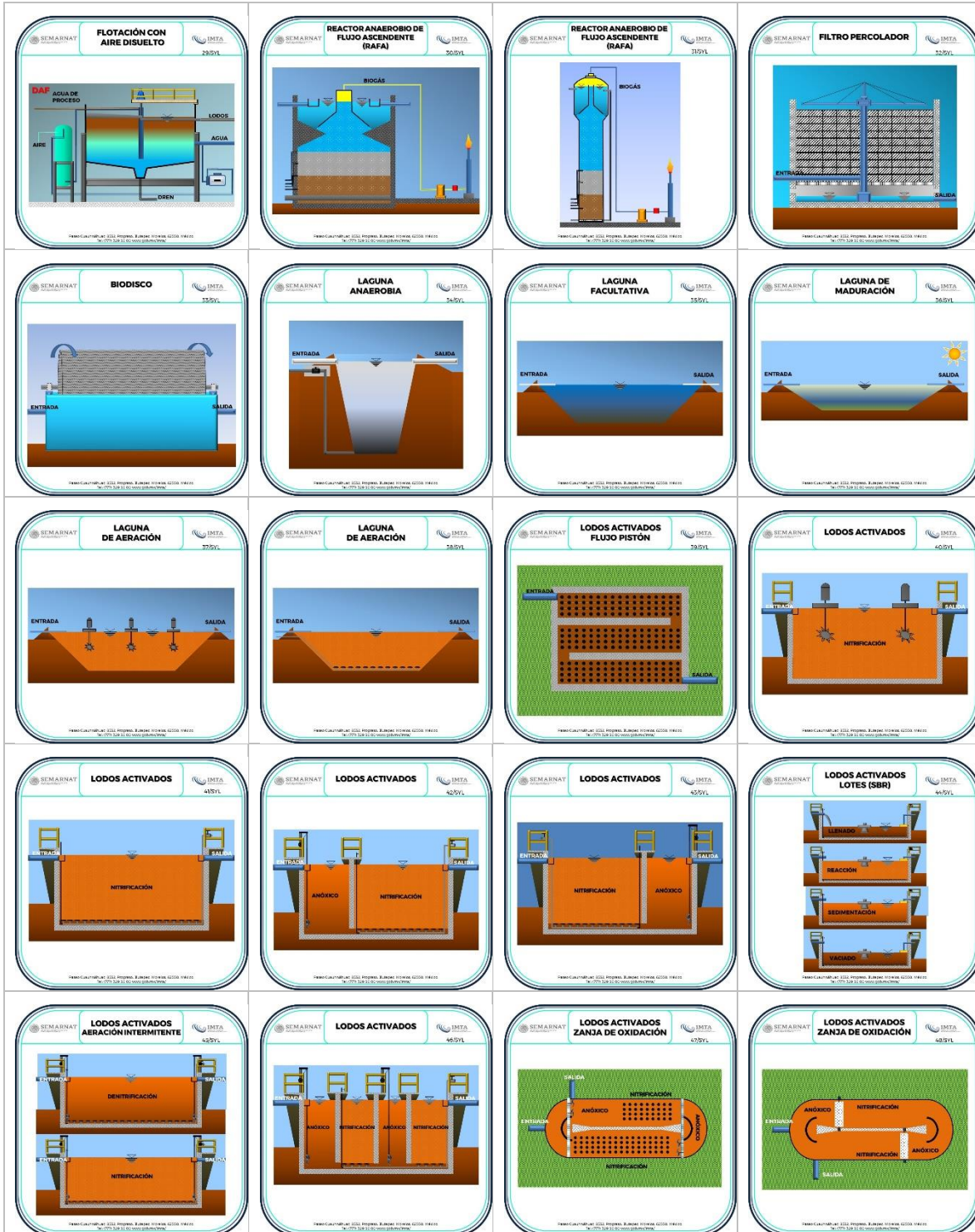


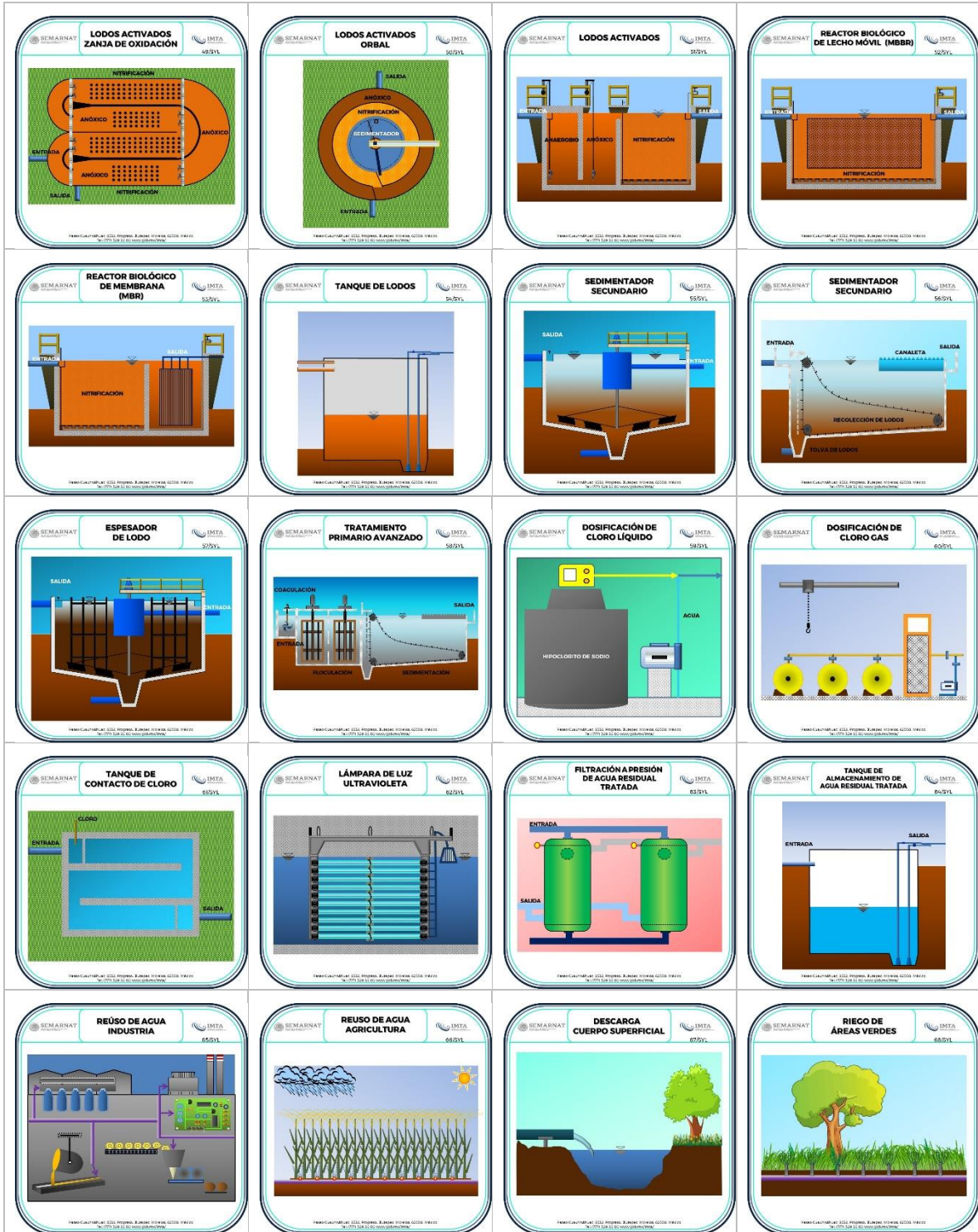
**Figura 828. Manual de ejercicios prácticos.**

Este manual va acompañado de un kit de imágenes (Figura 260) que representan todos los posibles procesos que pueden estar presentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.









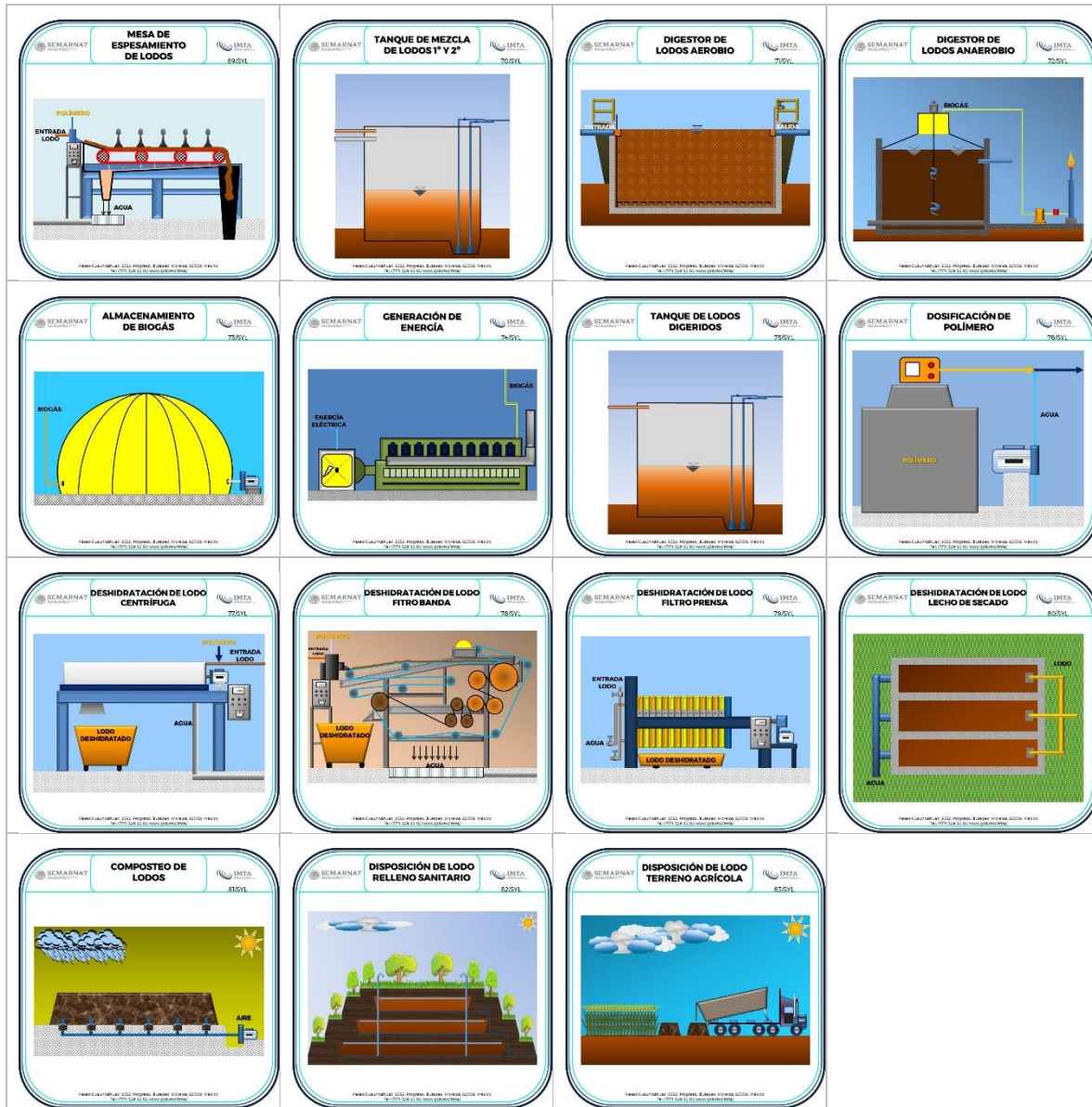


Figura 829. Kit de figuras.

En la Figura 81 se muestra el oficio de entrega del material didáctico.



## CARTA DE ENTREGA Y RECEPCIÓN

### MATERIAL DE APOYO TÉCNICO IMPRESO

El que suscribe Edgar Luis Herrera en representación de la **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "FIRIOB"**, ubicada en Veracruz, manifiesta recibir de conformidad el material de apoyo técnico impreso en perfecto estado, consiste en:

1. Infografía
2. Manual:
  - a. Seguridad e higiene
  - b. Control de proceso
  - c. Calidad del agua
  - d. Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
  - e. Indicadores sensoriales
  - f. Indicadores analíticos
  - g. Ejercicios prácticos
3. Kit de imágenes de proceso

Dicho material impreso está relacionado con las actividades del proyecto Fondo Sectorial CONAGUA-CONACYT "DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA"

Se firma la presente carta de entrega y recepción del material de apoyo técnico impreso a los 25 días del mes de Octubre de 2022.

  
Recibe de conformidad

Figura 830. Entrega de material didáctico.

### **39 SEGURIDAD E HIGIENE**

De acuerdo con el FORMATO 15. SEGURIDAD E HIGIENE que se encuentra en el Anexo I, se cuenta con un dictamen de riesgo de incendio (Figura 831) en la PTAR, realizado por una empresa externa. Se identifica, además:

- riesgo de sismo
- nivel cerámico (solo durante cuatro meses)
- riesgo de explosión; riesgo de incendio
- riesgo de disturbios
- riesgo de derrames
- riesgos químicos
- riesgo de gases orgánicos
- riesgo de caídas
- riesgos eléctricos
- riesgo con sopladores
- riesgos de ingreso de personal no autorizado

El estudio de análisis de riesgos en la PTAR fue realizado por Protección Civil. Las zonas de riesgo están relacionadas con riesgo sanitario, riesgo de caídas, riesgos eléctricos y riesgos de explosiones por gas metano.

La PTAR cuenta con manuales de procedimientos y planes de contingencia (Figura 832 a Figura 835) para atención a incendios, sismos, atención a personal, contingencias técnicas, transporte y almacenamiento de combustibles y sustancias químicas. Asimismo, se efectúan prácticas para la realización de simulacros y derrames de combustibles, así como la realización de simulacros, los cuales son impartidos por personal externo.





**Dictamen de Cumplimiento**  
FR/16/12

|                        |                               |
|------------------------|-------------------------------|
| No. de Contrato:       | 21131C50007                   |
| Fecha de Contrato:     | 7 de septiembre de 2021       |
| Solicitud de Servicio: | 21131DCNOM-002-STPS-201000011 |
| Fecha de Inspección:   | 8 de noviembre de 2021        |

**EMPRESA DE INSPECCIÓN DE PRODUCTOS Y SERVICIOS, S.A. DE C.V.**  
Unidad de Inspección con Acreditación y Aprobación No. UVSTPS 131  
Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2010  
Dictamen de Cumplimiento No. 22131DCNOM-002-STPS-2010001

Ciudad de México, a 13 de enero de 2022.

**FIDEICOMISO DEL SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES DEL ALTO RÍO BLANCO**  
CALLE NORTE 15, NUM. 1 ESQ. DÍAZ MIRÓN, CENTRO, MUNICIPIO IXTACZOQUITLAN, VERACRUZ  
C.P. 94450  
R.F.C. FSA910423H85

De conformidad con el artículo 62 de la Ley de Infraestructura de la Calidad; **EMPRESA DE INSPECCIÓN DE PRODUCTOS Y SERVICIOS, S.A. DE C.V.**, en su carácter de Unidad de Verificación con No. de Acreditación y Aprobación **UVSTPS 131**, con domicilio en calle Turquesa No. 62, Interior 1, Colonia Estrella, Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P. 07810, México, D.F., a solicitud del **FIDEICOMISO DEL SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES DEL ALTO RÍO BLANCO**, dictamina que el centro de trabajo que se describe a continuación cumple con los requisitos establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2010 "Condiciones de Seguridad-Prevención y Protección contra incendios en los centros de trabajo".

| DATOS DEL CENTRO DE TRABAJO              |   |
|--|---|
| Denominación o razón social:             | FIDEICOMISO DEL SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES DEL ALTO RÍO BLANCO                       |
| Domicilio:                               | CALLE NORTE 15, NUM. 1, ESQ. DÍAZ MIRÓN CENTRO, MUNICIPIO IXTACZOQUITLAN, VERACRUZ    |
| Nombre del representante legal:          | ING. ALBERTO RUBIO PIMENTEL   |
| Superficie construida (m <sup>2</sup> ): | 31,958.94 m <sup>2</sup>   Número de trabajadores: 19                                 |
| Tipo de riesgo de incendio:              | Ordinario ( <input checked="" type="checkbox"/> )   Alto ( <input type="checkbox"/> ) |

Este Dictamen de Cumplimiento se expide sin perjuicio del cumplimiento de otras disposiciones legales aplicables al centro de trabajo y sólo avala la evaluación de la conformidad de la **NOM-002-STPS-2010**. El presente Dictamen de Cumplimiento tiene una **vigencia de tres años**, a partir de su fecha de emisión.

  
BIOL. ADRIÁN CRUZ DELGADO  
REPRESENTANTE LEGAL DE  
EMPRESA DE INSPECCIÓN DE  
PRODUCTOS Y SERVICIOS,  
S.A. DE C.V.

  
G.I. SERGIO CRUZ DELGADO  
EVALUADOR TÉCNICO DE  
E.I.P.S.

  
ING. ALBERTO RUBIO PIMENTEL  
REPRESENTANTE LEGAL DE  
FIDEICOMISO DEL SISTEMA DE AGUAS  
RESIDUALES DEL ALTO RÍO BLANCO



Página 1 de 1

Revisión 6

Fecha: octubre de 2020



**Figura 831. Dictamen de riesgo por incendio**

|   |   |                           |
|---|---|---------------------------|
| ATLATEC SA DE CV<br>PLANTA: FIRIOB        | ATLATEC<br>A Subsidiary of WIND 9 Co., Ltd. | I-SE-EM-06                |
| <b>PROCEDIMIENTO DE PRIMEROS AUXILIOS</b> |   |                           |
| FECHA DE REVISION: 17/11/2020             | EDICION: 03                                 | NUMERO DE PAGINAS: 1 DE 7 |

INDICE:

- 1.0 RESPONSABLE
- 2.0 FRECUENCIA
- 3.0 HERRAMIENTAS, EQUIPO Y/O MATERIAL NECESARIO
- 4.0 FORMATOS A LLENAR
- 5.0 DIAGRAMA, GRAFICAS Y/O FOTOGRAFIAS
- 6.0 INSTRUCCION DETALLADA
- 7.0 FIN DEL DOCUMENTO

DOCUMENTO NO CONTROLADO

|   |  |   |
|---|--|---|
| <i>H. Eduardo SF</i><br>Coordinador de Seguridad y Vigilancia | <i>[Signature]</i><br>Coordinador de Calidad | <i>[Signature]</i><br>Superintendente de Planta |
| Elaboró   | Revisó                                       | Aprobó  |

**Figura 832. Procedimiento de primeros auxilios (I-SE-EM-06)**

|                                    |  |                           |
|------------------------------------|--|---------------------------|
| ATLATEC SA DE CV<br>PLANTA: FIRIOB | ATLATEC<br>A subsidiary of Whist & Co., Ltd. | I-SE-GR-01                |
| <b>CONTROL DE FUGAS EN PLANTA</b>  |  |                           |
| FECHA DE REVISION: 17/11/2020      | EDICION: 02                                  | NUMERO DE PAGINAS: 1 DE 5 |

INDICE:

- 1.0 RESPONSABLE
- 2.0 FRECUENCIA
- 3.0 HERRAMIENTAS EQUIPO Y/O MATERIAL NECESARIO
- 4.0 FORMATOS A LLENAR
- 5.0 DIAGRAMA GRAFICAS Y/O FOTOGRAFIAS
- 6.0 INSTRUCCION DETALLADA
- 7.0 FIN DEL DOCUMENTO

DOCUMENTO NO CONTROLADO

|                                       |                   |                           |
|---------------------------------------|-------------------|---------------------------|
|                                       |                   |                           |
| Coordinador de Seguridad y Vigilancia | Jefe de Operación | Superintendente de Planta |
| Elaboró                               | Revisó            | Aprobó                    |

**Figura 833. Control de fugas en planta (I-SE-GR-01).**

|   |   |                           |
|---|---|---------------------------|
| ATLATEC SA DE CV<br>PLANTA: FIRIOB                | ATLATEC<br>A Subsidiary of IMTA S de CV | P-SE-GR-01                |
| <b>PLAN DE ATENCIÓN Y RESPUESTA A EMERGENCIAS</b> |   |                           |
| FECHA DE REVISION: 17/11/2020                     | EDICIÓN: 02                             | NUMERO DE PAGINAS: 1 DE 9 |

INDICE:

- 1.0 OBJETIVO
- 2.0 CAMPO DE APLICACIÓN
- 3.0 RESPONSABILIDADES
- 4.0 PROCEDIMIENTO
- 5.0 DOCUMENTOS DERIVADOS
- 6.0 TERMINOLOGIA Y DEFINICIONES
- 7.0 FIN DEL DOCUMENTO

DOCUMENTO CONTROLADO

|  |                   |                           |
|--|-------------------|---------------------------|
|  |                   |                           |
| Coordinador de Seguridad y<br>Vigilancia | Jefe de Operación | Superintendente de Planta |
| Elaboró                                  | Revisó            | Aprobó                    |

**Figura 834. Plan de atención y respuesta a emergencias (P-SE-GR-01).**

|                                     |   |                 |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
|-------------------------------------|---|-----------------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| PLANTA FIRIOB                       | Mitsui & Co. Infrastructure Solutions, S.A. de C.V. | R-SE-GR-01      |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
| <b>PROGRAMA ANUAL DE SIMULACROS</b> |   |                 |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
| FECHA DE REVISIÓN: 26/04/2022       | EDICIÓN: 02   | PAGINAS: 1 DE 1 |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
| AÑO: 2022                           |   |                 |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
| <b>SIMULACROS PROGRAMADOS</b>       | ENERO   | FEBRERO         | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DECIEMBRE |
| SIMULACRO EVACUACION SISMO          |   |                 |       |       | X    |       |       |        |            |         |           |           |
| SIMULACRO EVACUACION SISMO          |   |                 |       |       |      |       |       |        | X          |         |           |           |
| SIMULACRO EVACUACION SISMO          |   |                 |       |       |      |       |       |        |            |         | X         |           |
| SIMULACRO: CONATO DE INCENDIO       |   |                 |       |       |      |       |       |        |            | X       |           |           |
| SIMULACRO EVACUACION SISMO          |   |                 | X     |       |      |       |       |        |            |         |           |           |

| Brigadas involucradas |  |
|-----------------------|--|
| MARZO                 | SIMULACRO EVACUACION                   |
| MAYO:                 | SIMULACRO EPRE TODAS                   |
| SEPTIEMBRE:           | SIMULACRO CON MEMORATIVO 19 SEPTIEMBRE |
| EVACUACION            |  |
| OCTUBRE:              | SIMULACRO: CONATO DE INCENDIO          |
| NOVIEMBRE:            | SIMULACRO EVACUACION SISMO             |

ING. HECTOR E SANCHEZ PEREZ  
Coordinador de seguridad  
medio ambiente y vigilancia  
Elaboro

ING. MARIA A GUERRERO TORRES  
Gerente de operacion zona golfo  
Aprobó

**Figura 835. Programa anual de simulacros. 2022**

Para el caso de contingencias técnicas, existe un coordinador de seguridad e higiene en la planta. Dentro de la planta aplican disposiciones de seguridad tales como el uso de equipo de protección (overol, botas, chaleco, mascarilla, tapones para los oídos, Figura 836). También cuentan con disposiciones de seguridad para el personal que ingresa a la planta: se toma la temperatura y la presión arterial al momento de entrar a la planta, y se solicitaban pruebas de COVID-19, para evitar contagios. Esta última no fue requerida al personal de IMTA durante los trabajos de campo, pero diariamente fue monitoreada temperatura corporal y presión arterial.



**Figura 836. Equipo de seguridad.**

Dentro de la organización de la PTAR se cuenta con

- brigada de evacuación
- brigada de primeros auxilios
- brigada de prevención y combate de incendio
- brigada de búsqueda y rescate
- brigada de derrames químicos.

Tanto en el área de oficinas como en las instalaciones de la PTAR, se encuentran señalizaciones relacionadas a la seguridad e higiene (Figura

837), así como el plano de ubicación de equipo contra incendios (Figura 838).



Figura 837. Señalización en oficinas y PTAR.



**Figura 838. Plano de ubicación de equipo contra incendios.**

Como medidas preventivas para los riesgos generales asociados a la PTAR, se tiene control de las vacunas y desparasitación de los trabajadores. Debido a que en el tren de tratamiento de la planta no se utilizan reactivos químicos (se cambió el método de desinfección de cloro gas a hipoclorito de sodio) no existen medidas preventivas o correctivas relacionadas.



## 40 LABORATORIO

La PTAR cuenta con un laboratorio de análisis bien equipado, pero no está certificado, a cargo únicamente de Carlos Alberto Gómez Palacios. La mayoría de los análisis se realizan son los requeridos por la NOM-001-Semarnat-1996 (excepto metales pesados) y para control interno del proceso.

Los análisis realizados en el laboratorio son: pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites, fósforo total, nitrógeno total, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y coliformes fecales. Algunos parámetros son monitoreados diariamente, otros están programados cada tercer día o un día a la semana para verificar el funcionamiento de la planta y el cumplimiento de la NOM-001-Semarnat-1996.

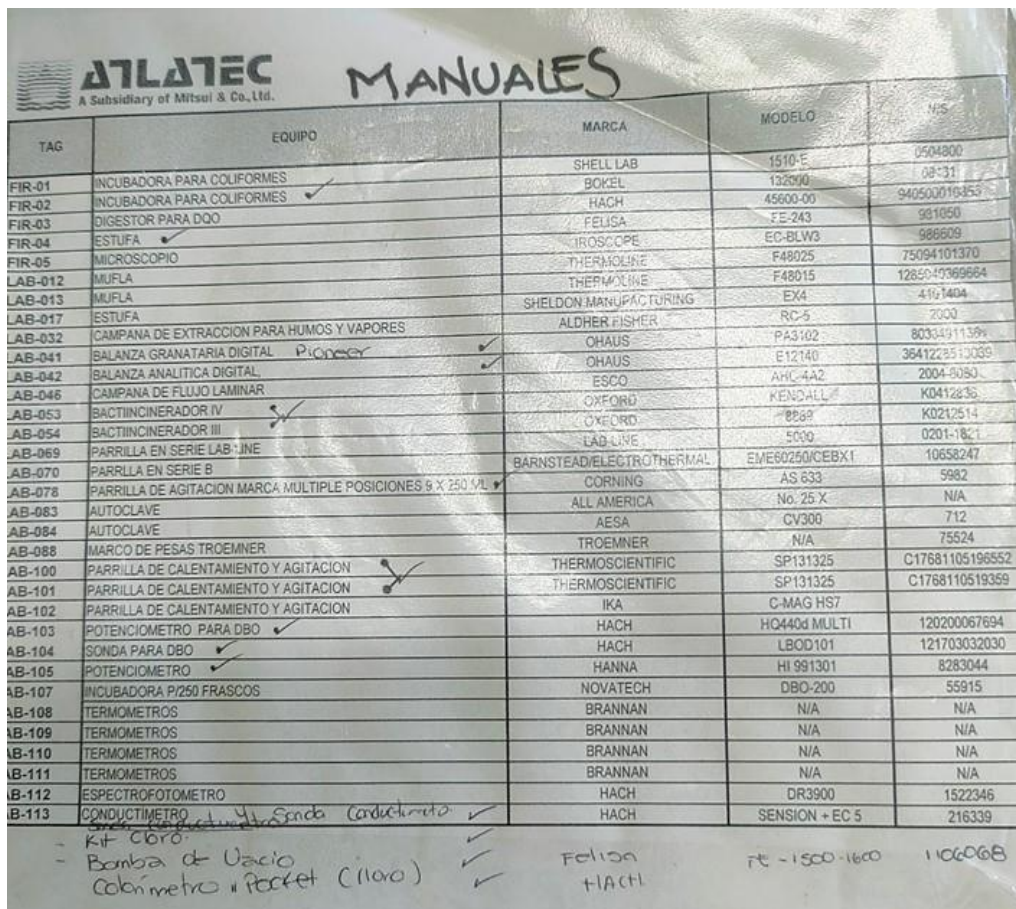
Los equipos con los que cuenta el laboratorio son: dos refrigeradores, una incubadora para Coliformes, digestor para DQO, estufa, mufla, microscopio, una balanza analítica digital, balanza granataria digital, autoclaves, parrillas de agitación, una bomba para pecera, campana de extracción de gases, una campana de flujo laminar, bactiincinerador, parrilla en serie, marco de pesas, autoclave, parrillas de calentamiento y agitación, potenciómetro para DBO, sonda para DBO, potenciómetro, incubadora P/250 frascos, termómetros, espectrofotómetro, conductímetro, kit para cloro, bombas para vacío. Algunos de estos equipos tienen mantenimiento anual. Asimismo, se constató que se cuenta con los manuales para el manejo del equipo (Figura 839).

El responsable de laboratorio ha recibido los siguientes cursos:

- Determinación de SST, SSV, ST y STV
- Determinación de humedad
- Determinación de sólidos sedimentables
- Determinación de pH
- Determinación de color
- Determinación de nitritos y nitratos
- Determinación de DBO
- Determinación de DQO
- Determinación de NTK
- Determinación de sulfatos
- Determinación de nitrógeno amoniacal

- Determinación de relación alfa
- Determinación de fósforo total
- Determinación de coliformes fecales
- Calibración

En este caso, se recomienda que sea capacitado en sistema de garantía de calidad y certificación para implementarlo en el laboratorio. No se cuentan con bitácoras de los equipos ni personal. Asimismo, se sugiere la contratación de una persona para apoyar en la realización de los análisis para el control del proceso.



**ATLATEC**  
 A Subsidiary of Mitsui & Co., Ltd.

**MANUALES**

| TAG     | EQUIPO   | MARCA                    | MODELO         | N/S             |
|---------|--|--------------------------|----------------|-----------------|
|         |  | SHELL LAB                | 1510-E         | 0504800         |
| FIR-01  | INCUBADORA PARA COLIFORMES                                 | BOHEL                    | 120300         | 08*31           |
| FIR-02  | INCUBADORA PARA COLIFORMES                                 | HACH                     | 45600-00       | 9405000193453   |
| FIR-03  | DIGESTOR PARA DBO  | FELISA                   | FE-243         | 981050          |
| FIR-04  | ESTUFA   | TROSCAPE                 | EC-BLW3        | 986609          |
| FIR-05  | MICROSCOPIO  | THERMOLINE               | F48025         | 75094101370     |
| LAB-012 | MUFLA  | THERMOLINE               | F48015         | 1285040996664   |
| LAB-013 | MUFLA  | SHELDON MANUFACTURING    | EX4            | 4101404         |
| LAB-017 | ESTUFA   | ALDHER FISHER            | RC-5           | 7000            |
| LAB-032 | CAMPANA DE EXTRACCION PARA HUMOS Y VAPORES                 | OHAUS                    | PA3102         | 80334911399     |
| LAB-041 | BALANZA GRANATARIA DIGITAL Pioneer                         | OHAUS                    | E12140         | 3641223513039   |
| LAB-042 | BALANZA ANALITICA DIGITAL                                  | ESCO                     | AHC-4A2        | 2004-9030       |
| LAB-046 | CAMPANA DE FLUJO LAMINAR                                   | OXFORD                   | KENDALL        | K0412836        |
| LAB-053 | BACTIINCINERADOR IV  | OXFORD                   | 8869           | K0212814        |
| LAB-054 | BACTIINCINERADOR III                                       | LAB LINE                 | 5009           | 0201-1821       |
| LAB-069 | PARRILLA EN SERIE LAB-LINE                                 | BARNSTEAD/ELECTROTHERMAL | EME60250/CEBX1 | 10658247        |
| LAB-070 | PARRILLA EN SERIE B  | CORNING                  | AS 633         | 5982            |
| LAB-076 | PARRILLA DE AGITACION MARCA MULTIPLE POSICIONES 9 X 250 ML | ALL AMERICA              | NG-25 X        | N/A             |
| LAB-083 | AUTOCLAVE  | AESA                     | CV300          | 712             |
| LAB-084 | AUTOCLAVE  | TROEMNER                 | N/A            | 75524           |
| LAB-088 | MARCO DE PESAS TROEMNER                                    | THERMOSCIENTIFIC         | SP131325       | C17681105196552 |
| LAB-100 | PARRILLA DE CALENTAMIENTO Y AGITACION                      | THERMOSCIENTIFIC         | SP131325       | C1768110519359  |
| LAB-101 | PARRILLA DE CALENTAMIENTO Y AGITACION                      | IKA                      | C-MAG HS7      |                 |
| LAB-102 | PARRILLA DE CALENTAMIENTO Y AGITACION                      | HACH                     | HQ4404 MULTI   | 120200067694    |
| LAB-103 | POTENCIOMETRO PARA DBO                                     | HACH                     | LBOD101        | 121703032030    |
| LAB-104 | SONDA PARA DBO   | HANNA                    | HI 991301      | 8283044         |
| LAB-105 | POTENCIOMETRO  | NOVATECH                 | DBO-200        | 55915           |
| LAB-107 | INCUBADORA P/250 FRASCOS                                   | BRANNAN                  | N/A            | N/A             |
| LAB-108 | TERMOMETROS  | BRANNAN                  | N/A            | N/A             |
| LAB-109 | TERMOMETROS  | BRANNAN                  | N/A            | N/A             |
| LAB-110 | TERMOMETROS  | BRANNAN                  | N/A            | N/A             |
| LAB-111 | TERMOMETROS  | BRANNAN                  | N/A            | N/A             |
| LAB-112 | ESPECTROFOTOMETRO  | HACH                     | DR3900         | 1522346         |
| LAB-113 | CONDUCTIMETRO  | HACH                     | SENSION + EC 5 | 216339          |

Handwritten notes at the bottom of the table:

- Kit color
- Bomba de Vacio
- Colimetro Pocket (1100)
- Felisa
- TI-1500-1600
- 1106068

**Figura 839. Manuales del equipo de laboratorio.**

## 41 CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR

### 41.1 Causas

Para poder ponderar las causas que influyen de manera negativa en el desempeño de la PTAR, se hace uso de una clasificación que consta de tres niveles de impacto, a saber:

#### Nivel I

Son los que presentan un mayor efecto y con problemas físicos difíciles de resolver de las unidades de proceso más importantes.

#### Nivel II

Son los que contribuyen rutinariamente al bajo desempeño o producen mayores efectos en una base periódica o estacional.

#### Nivel III

Son los que presentan mínimos efectos, fáciles y económicos de resolver, normalmente de operación y administración.

Así, con base en la información obtenida de los capítulos anteriores, y la clasificación de las causas que influyen en el desempeño de la PTAR, se elabora la Tabla 37.

**Tabla 265. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR**

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño   | Atención      |
|-----|-------|---|---------------|
| 1   | I     | Remoción ineficiente de grasas y aceites  | Corto plazo   |
| 2   |       | Carga orgánica no biodegradable aportada por la industria.  | Corto plazo   |
| 1   | II    | Presencia de sólidos en tanque de contacto de cloro procedentes de los reactores de aeración/sedimentación. | Mediano plazo |
| 1   | III   | Ausencia de un sistema de garantía de calidad en el laboratorio   | Largo plazo   |

## 41.2 Descripción de la causa y recomendaciones

### 41.2.1 Nivel I

| Causa   | Recomendación   |
|---|---|
| <p><b>1. Remoción ineficiente de grasas y aceites</b></p> <p>Como se observó en el recorrido y conforme a las muestras puntuales tomadas en el efluente de los desarenadores-desgrasadores, la unidad B no cumple con esta función.</p>   | <p>Se recomienda realizar las reparaciones y ajustes necesarios para que la unidad B opere de forma adecuada.</p>   |
| <p><b>2. Carga orgánica no biodegradable aportada por la industria.</b></p> <p>En el efluente, el cociente DQO/DBO tiene un comportamiento muy distinto del influente ya que alcanza proporciones de 13.13:1 hasta 22.05:1, es decir que la fracción no biodegradable que aporta la industria se hace evidente al final de tratamiento.</p> | <p>De acuerdo con los resultados puntuales del efluente de las pruebas piloto, se recomienda implementar el proceso fisicoquímico propuesto a nivel piloto. De esta forma, se puede alcanzar el límite de la DQO para la NOM-001-SEMARNAT-2021.</p> |

### 41.2.2 Nivel II

| Causa   | Recomendación   |
|---|---|
| <p><b>1 Presencia de sólidos en tanque de contacto de cloro procedentes de los reactores de aeración/sedimentación.</b></p> | <p>Se deben reparar / rehabilitar el sistema de aeración para garantizar una aeración uniforme en los reactores y evitar el arrastre de lodos biológicos y leña hacia el canal de salida cuando se descargue el efluente hacia el canal de envío al tanque de contacto.</p> |

### 41.2.3 Nivel III

| <b>Causa</b>   | <b>Recomendación</b>   |
|--|--|
| <b>1 Ausencia de un sistema de garantía de calidad en el laboratorio</b> | Se recomienda implementar un sistema de garantía de calidad en el laboratorio de control de procesos, para dar rastreabilidad y seguridad a los análisis realizados. |

Por otra parte, para el cumplimiento de la NOM001-SEMARNAT-2021 se debe implementar un proceso adicional para no rebasar los límites permisibles para la DQO, SST y el color. Actualmente, se realizan pruebas in situ con un proceso fisicoquímico que, conforme a los resultados de las muestras puntuales, permitirían cumplir con la norma para DQO y color verdadero para longitudes de onda de 525 nm y 620 nm. Se debe analizar si es necesario implementar un proceso adicional de oxidación para cumplir con el límite para una longitud de onda de 436 nm.

Por otra parte, en las condiciones actuales, la planta no opera a caudal de diseño (1250 L/s) sino a un gasto promedio de 700 L/s. Se requiere analizar si se debe instalar un módulo aeróbico suplementario. Si se incrementa el caudal a tratar, también se debe analizar la conveniencia de implementar el proceso fisicoquímico y/o un reactor aerobio suplementario.

## 42 RESUMEN

### 64) Título de concesión de descarga

- a) En los títulos de asignación de los permisos de descarga de los seis municipios que tratan sus aguas en la PTAR FIRIOB se indica que las coordenadas del punto de descarga son: latitud 18°53'11" longitud 097°04'15", lo cual no corresponde al sitio en donde se monitorea el efluente tratado. El punto donde actualmente se afora y caracteriza el efluente tratado está ubicado en latitud 18°51'11.8"N longitud 97°02'51.1"O. Se indica que existe un documento en donde FIRIOB indica a Conagua de que hubo un error al establecer las coordenadas, pero no se constató la existencia del documento mencionado. Se debe realizar la corrección de las coordenadas y así formalizar el punto de descarga de manera oficial con la Conagua.
- b) Los títulos de descarga se encuentran a nombre de: Municipio de Huiloapan de Cuauhtémoc, Municipio de Ixtaczoquitlán, Municipio de Camerino Z. Mendoza, Municipio de Orizaba, Municipio de Río Blanco y Comisión del Agua del Estado de Veracruz (CAEV). La CAEV es responsable de la descarga generada por el Municipio de Nogales.
- c) Los permisos de descarga fijan las características de descarga para cuerpo receptor tipo A con respecto a la NOM-001-SEMARNAT-1996, son otorgados por un plazo de 35 años, contados a partir del 04 de octubre de 1994, esto es, son válidos hasta el 03 de octubre de 2029.

### 65) Memoria de cálculo

- a) No se muestran los cálculos, fórmulas ni detalles de cálculo en la memoria entregada, únicamente se presentan valores iniciales de la calidad del agua, las capacidades de los equipos y unidades de proceso.

### 66) Información histórica de calidad del agua

- a) Los valores de pH, G y A, SST, DBO, PT y DQO en el efluente cumplen con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 y las condiciones específicas y particulares establecidas en los permisos de descarga: El cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021, actualmente, es parcial debido a que la DQO tiene un valor promedio de 400 mg/L y el límite permisible para ríos es de 150 mg/L. De la misma forma, no se cumple el límite permisible de SST (PM: 60mg/L, PD: 72mg/L) al observarse un valor promedio de 74 mg/L. Si se cumplen los límites

permisibles de nitrógeno total y fósforo total. No se cuenta con información histórica del color verdadero ni de la toxicidad, pero se presume que en las condiciones actuales no cumpliría para color.

#### **67) Información del Proceso**

- a) La PTAR cuenta con un programa de mantenimiento de todas las unidades que conforman la planta, así como un programa de mantenimiento preventivo de los equipos electromecánicos.
- b) Se cuenta con bitácoras electrónicas de operación (reportes diarios a la dirección) y de mantenimiento.

#### **68) Funcionamiento de la PTAR**

- a) La PTAR funciona adecuadamente.
- b) Se recomienda rehabilitar el sistema de aeración de los reactores aeróbicos (RAE-301).
- c) En general, el estado físico y de la obra civil son buenos. Se observaron áreas de oportunidad (corrosión de elementos metálicos: escaleras, protecciones, válvulas, entre otros). Durante la evaluación, se constató la presencia de personal para dar mantenimiento a las instalaciones.
- d) Los equipos electromecánicos utilizados para el proceso de tratamiento se encuentran en buen estado y se les da mantenimiento.

#### **69) Influencia industrial**

- a) De acuerdo con la información recolectada, al menos el 30% del volumen del influente a tratar es de origen industrial: alimenticio, tenerías, papel y cartón, cervecera; y corresponde al 70% de la carga contaminante que ingresa a la PTAR.
- b) No se proporcionó información detallada del aporte industrial a la planta de tratamiento.

#### **70) Evaluación de conocimientos**

- a) En general, el personal directivo, administrativo, operadores y laboratorio presentan conocimientos adecuados sobre el sistema de tratamiento de acuerdo con su nivel de desempeño.
- b) Se requiere un curso de capacitación en garantía de calidad para el responsable de laboratorio.
- c) Se entregó material didáctico para apoyar los programas de capacitación interno.

## **71) Seguridad**

- a) La PTAR cuenta con un estudio de análisis de riesgos. Las zonas de riesgo están relacionadas con riesgo sanitario, riesgo de caídas, riesgos eléctricos y riesgos de explosiones por gas metano.
- b) En las instalaciones de la PTAR se aplican disposiciones de seguridad, tales como, el uso de equipo de protección personal, medición de temperatura y presión sanguínea a la entrada de la PTAR, así como medidas para contingencia COVID-19.
- c) Se cuenta con brigadas de evacuación, de primeros auxilios y prevención, prevención y combate a incendios, búsqueda y rescate y de derrames químicos.

## **72) Laboratorio**

- a) Se cuenta con un laboratorio para el control del proceso de tratamiento (no acreditado), que se encuentra bien equipado, en excelentes condiciones físicas, con equipo adecuado. El responsable del área está capacitado para realizar los análisis que se requieren en la PTAR, pero es conveniente contar otro laboratorista.
- b) No se cuenta con bitácoras de equipo ni personal.
- c) El equipo cuenta con mantenimiento.

## **73) Causas que limitan el desempeño de la PTAR**

- a) Actualmente, la PTAR funciona adecuadamente y el efluente cumple la normatividad aplicable (condiciones específicas y particulares de descarga y NOM-001-Semarnat-1996).
- b) Tomado en consideración que la PTAR es operada en forma correcta, los análisis históricos indican que el efluente no cumplirá con los requisitos de la NOM-001-SEMARNAT-2021. El operador (Mitinfra) ha realizado pruebas a nivel piloto para implementar medidas (proceso fisicoquímico) y cumplir con los límites permisibles de SST, DQO y color. De acuerdo con el gerente, estos cambios se implementarán en función de los lineamientos para cumplimiento de la NOM-001 (por publicarse).

## **43 CONCLUSIONES**

En general, la planta de forma adecuada. Se debe revisar la unidad B de los desarenadores para lograr una eficiente remoción de grasas y aceites en el efluente de esta parte del proceso.



Por otra parte, es necesario reparar / rehabilitar el sistema de aeración para garantizar una aeración uniforme en los reactores y evitar el arrastre de lodos biológicos y lemna hacia el canal de salida cuando se descargue el efluente hacia el canal de envío al tanque de contacto.

Se recomienda implementar un proceso adicional de pulimento. El proceso fisicoquímico, actualmente utilizado a nivel de pruebas piloto y conforme a los resultados de las muestras puntuales, permitiría cumplir con la norma para DQO y color verdadero para longitudes de onda de 525 nm y 620 nm. Se debe analizar si es necesario implementar un proceso adicional de oxidación para cumplir con el límite para una longitud de onda de 436 nm.

Por otra parte, en las condiciones actuales, la planta no opera a caudal de diseño (1250 L/s) sino a un gasto promedio de 700 L/s. Se requiere analizar si se debe instalar un módulo aeróbico suplementario. Si se incrementa el caudal a tratar, también se debe analizar la conveniencia de implementar el proceso fisicoquímico y/o un reactor aerobio suplementario.

**Anexo J. Formato 03. Recursos Humanos**

| Nombre                          | Puesto  | Escolaridad  | Antigüedad |              |
|---------------------------------|---|--------------|------------|--------------|
|                                 |   |              | En la PTAR | En el puesto |
| <b>Personal administrativo</b>  |   |              |            |              |
| Germán Gutiérrez Ginez          | Almacenista                                   | Bachillerato | 4 años     | 4 años       |
| Héctor Eduardo Sánchez Pérez    | Coordinador de seguridad y vigilancia         | Licenciatura | 2 años     | 2 años       |
| Nahúm Gutiérrez González        | Jefe de turno                                 | Licenciatura | 14 años    | 12 años      |
| Federico Ángel López            | Chofer  | Bachillerato | 18 años    | 18 años      |
| Sándara García González         | Asistente de oficina y coordinador de calidad | Licenciatura | 12 años    | 3 años       |
| Viridiana Valderrama Morales    | Auxiliar administrativo                       | Licenciatura | 1 año      | 1 año        |
| Izabel Roxana Cruz López        | Jefe administrativo                           | Licenciatura | 12 años    | 12 años      |
| Mario Alfredo Guerrero Torres   | Gerente operativo zona Golfo                  | Licenciatura | 19 años    | 1 año        |
| José Tadeo Ortega Núñez         | Jefe de mantenimiento                         | Licenciatura | 16 años    | 2 años       |
| <b>Personal operativo</b>       |   |              |            |              |
| Ranulfo Ortiz Antonio           | Operador                                      | Preparatoria | 1 año      | 1 año        |
| Edgar Iván Hernández Montesinos | Jefe de turno                                 | Licenciatura | 3 años     | 1 año        |
| Emilio Llame González           | Operador                                      | Secundaria   | 16 años    | 16 años      |
| Enrique Trujillo Tiza           | Operador                                      | Preparatoria | 7 años     | 7 años       |
| Roberto Llame González          | Jefe de turno                                 | Secundaria   | 16 años    | 1 año        |
| Juan Aparicio Ascensión         | Operador                                      | Licenciatura | 4 años     | 1 año        |
| Eduardo de los Santos Morales   | Operador                                      | Licenciatura | 4 años     | 2 años       |
| Mario Guerrero Marcelino        | Jefe de turno                                 | Licenciatura | 17 años    | 5 años       |
| Adrián Calihua Cuicahua         | Operador                                      | Preparatoria | 14 años    | 6 años       |
| Martín Iván Sánchez Alarcón     | Operador                                      | Licenciatura | 3 años     | 3 años       |

| Nombre                             | Puesto                   | Escolaridad  | Antigüedad |              |
|------------------------------------|--------------------------|--------------|------------|--------------|
|                                    |                          |              | En la PTAR | En el puesto |
| <b>Personal de mantenimiento</b>   |                          |              |            |              |
| César Romanos Vázquez              | Auxiliar general         | Secundaria   | 8 años     | 8 años       |
| Francisco Javier Rodríguez         | Oficial eléctrico        | Licenciatura | 14 años    | 5 años       |
| José Oscar Xocua Zepahua           | Auxiliar electromecánico | Bachillerato | 6 años     | 2 años       |
| Ignacio de Jesús Sánchez Hernández | Mecánico                 | Secundaria   | 4 años     | 4 años       |
| Benito Sánchez Luna                | Instrumentista           | Licenciatura | 14 años    | 8 años       |
| Cosme Rodríguez González           | Auxiliar electromecánico | Secundaria   | 12 años    | 9 años       |
| <b>Personal de laboratorio</b>     |                          |              |            |              |
| Carlos Alberto Gómez Palacios      | Jefe de laboratorio      | Licenciatura | 14 años    | 3 años       |

## **PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

### **PROYECTO No. 309621**

# **“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA”**

## **DIAGNÓSTICO DE LA PTAR**

### **“NORTE”**

## **MONTERREY, NUEVO LEÓN**

## ÍNDICE

|        |   |      |
|--------|---|------|
| 1      | INFORMACIÓN DE LA PTAR.....                                   | 1578 |
| 1.1    | Datos generales.....  | 1578 |
| 1.2    | Ubicación.....  | 1578 |
| 1.3    | Descripción del proceso.....                                  | 1579 |
| 2      | REVISIÓN DOCUMENTAL.....                                      | 1580 |
| 2.1    | Planos.....   | 1580 |
| 2.2    | Permiso de descarga.....                                      | 1581 |
| 2.3    | Análisis de la memoria de cálculo.....                        | 1583 |
| 2.3.1  | Datos de diseño.....  | 1583 |
| 2.3.2  | Criterios de diseño.....                                      | 1585 |
| 2.4    | Análisis de la información histórica de calidad del agua..... | 1590 |
| 2.4.1  | Caudal.....   | 1593 |
| 2.4.2  | pH.....   | 1594 |
| 2.4.3  | Coliformes fecales.....                                       | 1595 |
| 2.4.4  | Sólidos Sedimentables (S Sed).....                            | 1596 |
| 2.4.5  | Grasas y Aceites.....   | 1596 |
| 2.4.6  | Materia Flotante.....   | 1596 |
| 2.4.7  | Sólidos suspendidos totales (SST).....                        | 1596 |
| 2.4.8  | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....                      | 1597 |
| 2.4.9  | Nitrógeno Total (NT).....                                     | 1597 |
| 2.4.10 | Fósforo Total (PT).....                                       | 1598 |
| 2.4.11 | Metales y Cianuro.....  | 1599 |
| 2.5    | Análisis de la información del Proceso.....                   | 1599 |
| 2.5.1  | Análisis rutinarios.....                                      | 1599 |
| 2.5.2  | Manual de operación.....                                      | 1603 |
| 2.5.3  | Reportes de operación (bitácoras).....                        | 1603 |
| 2.5.4  | Mantenimiento.....  | 1606 |

|       |   |      |
|-------|---|------|
| 3     | ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR .....   | 1608 |
| 3.1   | Descripción de las unidades de proceso.....         | 1608 |
| 3.2   | Estado de las unidades de proceso .....             | 1615 |
| 3.2.1 | Estado físico de las instalaciones de la PTAR ..... | 1619 |
| 3.2.2 | Equipos electromecánicos.....                       | 1620 |
| 3.3   | Muestreo y calidad del agua residual.....           | 1621 |
| 3.3.1 | Resultados del muestreo compuesto.....              | 1625 |
| 3.3.2 | Resultados del muestreo simple .....                | 1633 |
| 3.3.3 | Determinaciones de campo .....                      | 1637 |
| 3.4   | Influencia industrial.....                          | 1644 |
| 4     | DIAGNÓSTICO DE PERSONAL.....                        | 1647 |
| 4.1   | Recursos Humanos .....                              | 1647 |
| 4.2   | Evaluación de conocimientos .....                   | 1648 |
| 4.3   | Capacitación.....                                   | 1648 |
| 4.3.1 | Cursos de capacitación recibidos.....               | 1648 |
| 4.3.2 | Temas de capacitación solicitados.....              | 1648 |
| 4.3.3 | Material didáctico entregado.....                   | 1649 |
| 5     | SEGURIDAD E HIGIENE.....                            | 1661 |
| 6     | LABORATORIO .....                                   | 1668 |
| 7     | CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR .....    | 1674 |
| 7.1   | Causas .....  | 1674 |
| 7.2   | Descripción de la causa y recomendaciones.....      | 1675 |
| 7.2.1 | Nivel I.....  | 1675 |
| 7.2.2 | Nivel II .....                                      | 1678 |
| 7.2.3 | Nivel III.....                                      | 1680 |
| 8     | RESUMEN .....                                       | 1681 |
| 9     | CONCLUSIONES .....                                  | 1687 |
|       | Anexo A. Formato 3. Recursos Humanos.....           | 1688 |

## TABLAS

|   |      |
|---|------|
| Tabla 1. Datos generales.....   | 1578 |
| Tabla 2. Ubicación y contacto .....   | 1579 |
| Tabla 3. Condiciones particulares de descarga de aguas residuales.....  | 1582 |
| Tabla 4. Calidad del agua de entrada a los módulos de 600 L/s.....  | 1584 |
| Tabla 5. Calidad del agua de entrada al módulo de 1,000 L/s .....   | 1584 |
| Tabla 6. Porcentaje de remoción de tratamiento primario .....   | 1587 |
| Tabla 7. Calidad del agua de entrada a proceso biológico.....   | 1587 |
| Tabla 8. Calidad del agua de entrada a proceso biológico .....  | 1589 |
| Tabla 9. Calidad del agua del efluente de PTAR Norte de 2021.A .....  | 1590 |
| Tabla 10. Calidad del agua del efluente de PTAR Norte de 2021.B .....   | 1591 |
| Tabla 11. Calidad del agua del efluente de PTAR Norte de 2021.C .....   | 1592 |
| Tabla 12. Calidad del agua del efluente de PTAR Norte de 2021.D.....  | 1592 |
| Tabla 13. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua .....                                   | 1623 |
| Tabla 14. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y 2021 ..... | 1625 |
| Tabla 15. Eficiencia de remoción de los principales contaminantes en la PTAR Norte .....                            | 1627 |
| Tabla 15. Eficiencia de remoción global de los trenes de tratamiento.....   | 1636 |
| Tabla 16. Resultados de las determinaciones de pH y OD.....   | 1639 |
| Tabla 17. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR.....                                       | 1674 |

## FIGURAS

|   |      |
|---|------|
| Figura 1. Tren de tratamiento de la PTAR .....  | 1580 |
| Figura 2. PTAR Norte, y punto de descarga.....  | 1581 |
| Figura 3. Tendencia de caudal .....   | 1594 |
| Figura 4. Tendencia de pH en el efluente con relación a la normatividad .....                 | 1595 |
| Figura 5. Tendencia de coliformes fecales en el efluente con relación a la normatividad ..... | 1595 |

|  |      |
|--|------|
| Figura 6. Tendencia de grasas y aceites en el efluente con relación a la normatividad .....              | 1596 |
| Figura 7. Tendencia de sólidos suspendidos totales en el efluente con relación a la normatividad .....   | 1597 |
| Figura 8. Tendencia de demanda bioquímica de oxígeno en el efluente con relación a la normatividad ..... | 1597 |
| Figura 9. Tendencia de nitrógeno total en el efluente con relación a la normatividad .....               | 1598 |
| Figura 10. Tendencia de fósforo total en el efluente con relación a la normatividad .....                | 1599 |
| Figura 11. Tendencia de caudal 2007 a 2021 .....   | 1600 |
| Figura 12. Tendencia de demanda bioquímica de oxígeno con relación a la normatividad .....               | 1600 |
| Figura 13. Tendencia de demanda química de oxígeno con relación a la normatividad .....                  | 1601 |
| Figura 14. Tendencia de la relación DBO/DQO .....  | 1602 |
| Figura 15. Tendencia de la dosis de cloro .....  | 1602 |
| Figura 16. Formato de influente y equipos de pretratamiento .....  | 1603 |
| Figura 17. Formato de reactores biológicos .....   | 1604 |
| Figura 18. Formato de sedimentador secundario .....  | 1604 |
| Figura 19. Registro del área de desinfección .....   | 1605 |
| Figura 20. Suministro de agua residual tratada por medio de pipas .....                                  | 1606 |
| Figura 21 Cárcamo de llegada .....   | 1608 |
| Figura 22. Zona de descarga de pipas con agua residual industrial y de servicios sanitarios .....        | 1609 |
| Figura 23. Sistema de bombeo por tornillo .....  | 1610 |
| Figura 24. Rejillas medianas .....   | 1610 |
| Figura 25. Rejillas finas .....  | 1610 |
| Figura 26. Basura de rejillas medianas y finas .....   | 1611 |
| Figura 27. Desarenadores .....   | 1612 |
| Figura 28. Canal de distribución .....   | 1612 |
| Figura 29. Canal de distribución Tren 6 .....  | 1613 |



|  |      |
|--|------|
| Figura 30. Tren de tratamiento 1 a 5 .....   | 1613 |
| Figura 31. Tren de tratamiento 6.....  | 1614 |
| Figura 32. Sistema de contacto de cloro.....   | 1614 |
| Figura 33. Sistema de bombeo para la industria.....  | 1615 |
| Figura 34. Sólidos en canales de distribución .....  | 1615 |
| Figura 35. Estado del sedimentador primario 1 y 4.....   | 1616 |
| Figura 36. Estado del sedimentador primario 2 y 3.....   | 1617 |
| Figura 37. Estado del sedimentador primario 5.....   | 1617 |
| Figura 38. Estado de reactores de lodos activados.....   | 1618 |
| Figura 39. Estado de sedimentadores secundarios.....   | 1619 |
| Figura 40. Estado físico de las instalaciones de la PTAR.....  | 1620 |
| Figura 41. Matriz de equipos de PTAR Norte .....   | 1621 |
| Figura 42. Puntos de muestreo.....   | 1622 |
| Figura 43. Estado de los sedimentadores en la PTAR Norte.....  | 1627 |
| Figura 44. Variación del caudal en el influente y efluente de la PTAR Norte.....                                 | 1628 |
| Figura 45. Concentración de GyA en el influente y efluente de la PTAR Norte.....                                 | 1629 |
| Figura 46. Variación de CF y <i>E.coli</i> en el influente y efluente de la PTAR Norte .....                     | 1630 |
| Figura 47. Variación del pH y temperatura en el influente y efluente de la PTAR Norte .....                      | 1631 |
| Figura 48. Variación de la toxicidad ( <i>Vibrio fischeri</i> ) en el influente y efluente de la PTAR Norte..... | 1632 |
| Figura 49. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 1.....                      | 1633 |
| Figura 50. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 2.....                      | 1634 |
| Figura 51. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 3.....                      | 1634 |
| Figura 52. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 4.....                      | 1635 |
| Figura 53. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 5.....                      | 1635 |

|  |      |
|--|------|
| Figura 54. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 6.....  | 1636 |
| Figura 55. Comportamiento de las formas de nitrógeno en los Trenes de tratamiento .....      | 1637 |
| Figura 56. Conformación de reactores biológicos.....   | 1638 |
| Figura 57. Puente en reactores biológicos del 1 al 6.....                                    | 1639 |
| Figura 58. Perfil de pH y OD del reactor biológico 1.....                                    | 1641 |
| Figura 59. Perfil de pH y OD del reactor biológico 2.....                                    | 1642 |
| Figura 60. Perfil de pH y OD del reactor biológico 3.....                                    | 1642 |
| Figura 61. Perfil de pH y OD del reactor biológico 4.....                                    | 1643 |
| Figura 62. Perfil de pH y OD del reactor biológico 5.....                                    | 1644 |
| Figura 63. Sustancias transferidas al alcantarillado de Monterrey en el año 2020 (RECT)..... | 1645 |
| Figura 64. Tipos de descargas industriales PTAR Norte.....                                   | 1646 |
| Figura 65. Portada de los manuales.....  | 1650 |
| Figura 66. Infografías.....  | 1655 |
| Figura 67. Manual de ejercicios prácticos.....   | 1656 |
| Figura 68. Kit de figuras.....   | 1660 |
| Figura 69. Implementación ISO 45001 Seguridad y Salud en el Trabajo.....                     | 1661 |
| Figura 70. Reparación de malla en periferia de la PTAR.....                                  | 1662 |
| Figura 71. Área de enfermería.....   | 1662 |
| Figura 72. Señalización.....   | 1663 |
| Figura 73. Señalización deteriorada y área sin señalización.....                             | 1663 |
| Figura 74. Señalización disponible.....  | 1664 |
| Figura 75. Actividades por puesto.....   | 1664 |
| Figura 76. Análisis de riesgo de incendio.....   | 1665 |
| Figura 77. Brigadas en la PTAR.....  | 1667 |
| Figura 78. Instalaciones y equipo de laboratorio.....  | 1670 |
| Figura 79. Identificación de áreas y señalización.....                                       | 1671 |
| Figura 80. Almacén de reactivos y soluciones.....  | 1671 |
| Figura 81. Equipo de seguridad en laboratorio.....   | 1672 |

|   |      |
|---|------|
| Figura 82. Bitácora de registro .....   | 1673 |
| Figura 83. Problemática de sólidos en las diferentes unidades de proceso..... | 1675 |
| Figura 84. Desarenador deshabilitado.....                                     | 1676 |
| Figura 85. Estado actual de los sedimentadores primarios.....                 | 1677 |
| Figura 86. Tanques anóxicos sin agitación .....                               | 1678 |
| Figura 87. Presencia de grasas en canales de conducción.....                  | 1678 |
| Figura 88. Problemática de difusión de aire en reactores biológicos.....      | 1679 |
| Figura 89. Bomba de recirculación de lodos fuera de operación.....            | 1680 |

## 44 INFORMACIÓN DE LA PTAR

### 44.1 Datos generales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “Norte”, inició sus operaciones en agosto de 1995. La PTAR recibe aguas residuales municipales, de comercios e industrias. Fue diseñada originalmente para un caudal de 2,500 L/s y posteriormente en el 2017 fue ampliada a 4,000 L/s. Actualmente la PTAR opera con un gasto de 2,460 L/s aproximadamente sirviendo a una población aproximada de 1,125,350 habitantes. En la Tabla 1 se presentan algunos datos generales de la planta.

**Tabla 266. Datos generales**

| <b>Datos generales</b>                    |                                       |                     |  |
|---|---------------------------------------|---------------------|--|
| Año de construcción                       | <b>1995</b>                           | Inicio de operación | <b>Agosto de 1995</b>                    |
| Municipios de los cuales recibe descargas | <b>San Nicolás, Escobedo y García</b> | Población servida   | <b>1,125,350 hab</b>                     |
| Actualización más reciente                | <b>2017</b>                           | Tipo de tratamiento | <b>Lodos Activados (Convencional-DN)</b> |
| Gasto de diseño                           | <b>4,000 L/s</b>                      | Gasto de operación  | <b>2,460 L/s (2021)</b>                  |

SD: Sin información disponible.

### 44.2 Ubicación

La PTAR “Norte” se encuentra ubicada en Carretera a Colombia 1312 (km 4.5), Colonia Las Malvinas, C.P. 66058, Municipio General Escobedo, Nuevo León. La planta es operada por Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D. (SADM) y se encuentra a cargo del Ing. Víctor Villagrana Reyes. En la Tabla 2 se muestran los datos de ubicación y contacto de la PTAR.

**Tabla 267. Ubicación y contacto**

| <b>Ubicación</b>   |   |  |                    |
|--------------------|---|--|--------------------|
| Nombre de la PTAR  | <b>Norte</b>                                    |  |                    |
| Calle y número     | <b>Carretera a Colombia 1312</b>                |  |                    |
| Colonia y C.P.     | <b>Las Malvinas, CP 66058</b>                   |  |                    |
| Municipio y estado | <b>General Escobedo, Nuevo León</b>             |  |                    |
| Coordenadas        | <b>Lat. 25°47'55.85", Long. - 100°17'34.14"</b> |  |                    |
| <b>Contacto</b>    |   |  |                    |
| Nombre             | <b>Ing. Víctor Villagrana Reyes</b>             | Puesto   | <b>Jefe PTAR</b>   |
| Correo electrónico | <b>vvillagrana@sadm.gob.mx</b>                  | Teléfono   | <b>871 1464926</b> |

### 44.3 Descripción del proceso

En la Figura 1 se muestra el tren de tratamiento de la PTAR Norte. La PTAR se encuentra conformada por un sistema de tratamiento que consta de un cárcamo de llegada de las aguas residuales municipales que cuenta con una rejilla gruesa. Posteriormente el agua es enviada hacia seis rejillas medianas a través de cuatro (dos en uso y dos en reserva) bombas de tornillo que se encuentran ubicadas en un cárcamo que también recibe las descargas industriales. A partir de este punto el agua residual fluye por la PTAR por medio de la gravedad.

La PTAR cuenta con una fosa séptica donde se reciben aguas residuales tanto de servicios sanitarios como de industrias (libres de grasas) que son transportadas en pipas hasta la planta. Esta agua es la que se combina en el cárcamo de bombeo con el agua residual municipal que ingresa al sistema de tratamiento.

El agua es enviada hacia dos rejillas ultrafinas y posteriormente a seis desarenadores. El efluente de los desarenadores pasa por un canal de distribución que envía el agua a seis trenes de tratamiento, cinco de estos trenes están conformados por un sedimentador primario, un reactor de lodos activados tipo flujo pistón con remoción de nitrógeno y un sedimentador secundario. El sexto tren de tratamiento se conforma de un reactor anaerobio tipo flujo pistón, un reactor de lodos activados tipo flujo

pistón y un sedimentador secundario. El efluente de todos los trenes se mezcla para ser enviado a un sistema de desinfección con cloro.

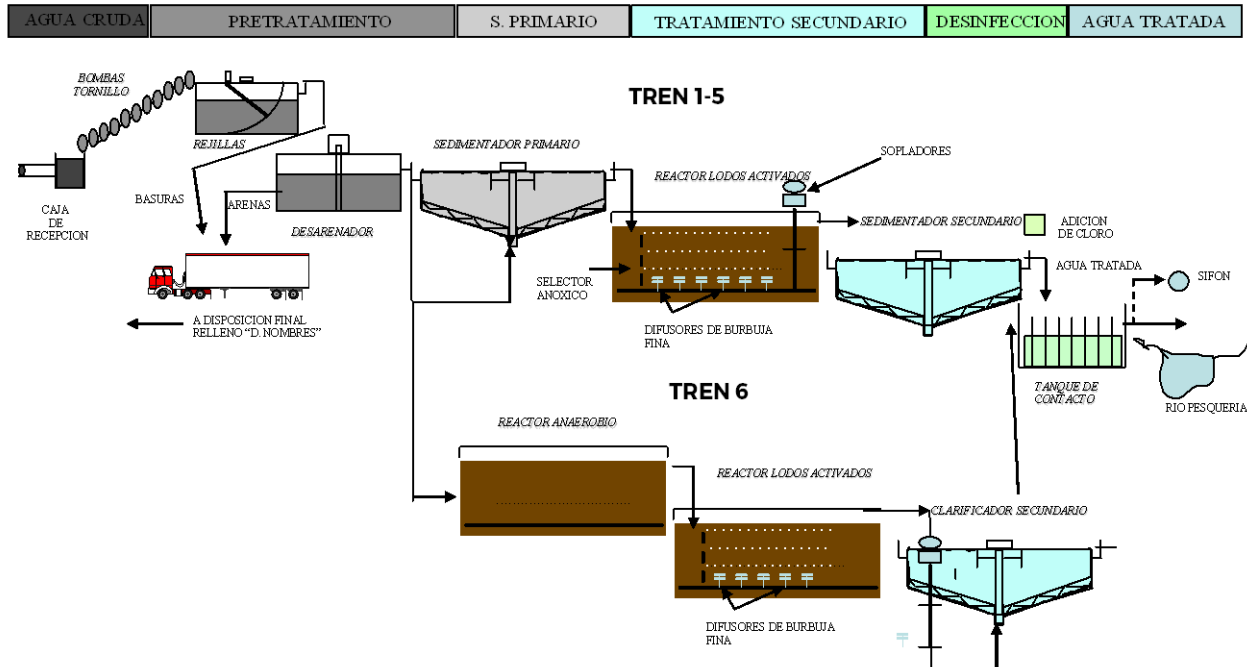


Figura 840. Tren de tratamiento de la PTAR

## 45 REVISIÓN DOCUMENTAL

### 45.1 Planos

Se recopilaron 10 archivos con un tamaño de 7.16 MB relacionados a algunos cortes de las unidades y el arreglo general de la PTAR Norte. Los cuales se pueden consultar en la liga: [https://drive.google.com/drive/folders/1ef3Y7t10Llc7mxxachdlkKJ3GHHGTZfN6?usp=share\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1ef3Y7t10Llc7mxxachdlkKJ3GHHGTZfN6?usp=share_link) y serán entregados en memoria extraíble al término del proyecto.

## 45.2 Permiso de descarga

La planta de tratamiento cuenta con un Título de concesión de descarga otorgada por la Comisión Nacional del Agua con número 06NVL100310/24HSGC02 y permiso para descargar aguas residuales con un volumen total de 252,288,000 m<sup>3</sup>/año (8,000 L/s). Esta información se corrobora en el documento que autoriza la ampliación en tiempo del permiso, con fecha de vencimiento del 17 de mayo de 2022.

Por otra parte, en el documento de las Condiciones particulares de descarga (CPD), segunda hoja, se establece como permiso de descarga un volumen de 79,056,000 m<sup>3</sup>/año (216,591.78 m<sup>3</sup>/d, 2 506.85 L/s), con descarga al Río Pesquería, como se muestra en la Figura 841. Es importante aclarar que existe una diferencia con la primera información.



**Figura 841. PTAR Norte, y punto de descarga.**

El punto de descarga al río Pesquería tiene las siguientes coordenadas 25°48'7.21" N y 100°17'8.36" O, sin embargo, en el título de concesión se indica que la descarga tiene las coordenadas 25°47'52" N y 100°17'11" O, punto que se encuentra al sur del río (Figura 841).

Además de la descarga anterior, existe un envío de agua residual tratada a riego agrícola y para reúso en la industria, en donde se tienen tres líneas identificadas como Laredo, Monclova y S. Victoria.

En la Tabla 268 se muestra una comparación de las condiciones particulares de descarga que fijó la Conagua a la PTAR Norte y se hace una comparación con los Límites máximos permisibles que establecen la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021. Hay que considerar que la mayor cantidad de agua residual tratada es descargada al Río Pesquería y que ésta aguas abajo tiene un uso agrícola.

**Tabla 268. Condiciones particulares de descarga de aguas residuales**

| Parámetro         | Unidades   | NOM-001-SEMARNAT-1996 |         | NOM-001-SEMARNAT-2021 |       | CPD  |      |
|-------------------|------------|-----------------------|---------|-----------------------|-------|------|------|
|                   |            | PM                    | PD      | PM                    | PD    | PM   | PD   |
| pH                | UpH        | 5 - 10                | 5 - 10  | 6 - 9                 | 6 - 9 | NA   | NA   |
| Tem.              | °C         | NA                    | NA      | 35                    | 35    | NA   | NA   |
| G y A             | mg/L       | 15                    | 25      | 15                    | 18    | 15   | 25   |
| Material Flotante |            | Ausente               | Ausente | NA                    | NA    | NA   | NA   |
| S. Sed.           | ml/L       | 1                     | 2       | NA                    | NA    | 1    | 2    |
| SST               | mg/L       | 150                   | 200     | 60                    | 72    | 150  | 200  |
| DBO               | mg/L       | 150                   | 200     | NA                    | NA    | 150  | 200  |
| NT                | mg/L       | 40                    | 60      | 25                    | 30    | 40   | 60   |
| PT                | mg/L       | 20                    | 30      | 15                    | 18    | 20   | 30   |
| As                | mg/L       | 0.2                   | 0.4     | 0.2                   | 0.3   | 0.2  | 0.4  |
| Cd                | mg/L       | 0.2                   | 0.4     | 0.2                   | 0.3   | 0.2  | 0.4  |
| CN                | mg/L       | 1.0                   | 3.0     | 1.0                   | 2.0   | 2    | 3    |
| Cu                | mg/L       | 4.0                   | 6.0     | 4.0                   | 5.0   | 1    | 6    |
| Cr                | mg/L       | 1.0                   | 1.5     | 1.0                   | 1.25  | 1    | 1.5  |
| Hg                | mg/L       | 0.01                  | 0.02    | 0.01                  | 0.015 | 0.01 | 0.02 |
| Ni                | mg/L       | 2.0                   | 4.0     | 2.0                   | 3.0   | 2    | 4    |
| Pb                | mg/L       | 0.5                   | 1.0     | 0.2                   | 0.3   | 0.5  | 1.0  |
| Zn                | mg/L       | 10.0                  | 20.0    | 10.0                  | 15.0  | 10   | 20   |
| CF                | NMP/100 ml | 1000                  | 2000    |                       |       | 1000 | 2000 |
| HH                | H/L        | NA                    | NA      | NA                    | NA    |      |      |
| DQO               | mg/L       |                       |         | 150                   | 180   |      |      |
| COT               | mg/L       |                       |         | 38                    | 45    |      |      |
| Escherichia coli  | NMP/100 ml |                       |         | 250                   | 500   |      |      |



| Color | Long. De onda |  |  | Coefficiente absorción Espectral máximo |  |  |
|-------|---------------|--|--|---|--|--|
|       | 436 nm        |  |  | 7.0 m-1                                 |  |  |
|       | 525 nm        |  |  | 5.0 m-1                                 |  |  |
|       | 620 nm        |  |  | 3.0 m-1                                 |  |  |

PM: Promedio mensual

PD: Promedio diario

### 45.3 Análisis de la memoria de cálculo

El agua residual tratada es descargada al Río Pesquería para su posterior reuso en la agricultura, sin embargo. Las concentraciones de los parámetros con los que se debe cumplir se muestran en la Tabla 268.

El Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D. seleccionó un sistema de tratamiento de aguas residuales, que fue construido en dos fases. La primera cuenta con cinco módulos de 600 L/s para un total de 3,000 L/s, y está conformada con un pretratamiento, tratamiento primario (sedimentadores primarios), proceso biológico de lodos activados flujo pistón con remoción de nitrógeno, sedimentador secundario y tanque de contacto de cloro para la desinfección.

La segunda fase, es un módulo de 1,000 L/s, que parte del mismo pretratamiento de la primera fase, un tanque anaerobio, proceso biológico de lodos activados flujo pistón, sedimentador secundario y finalmente, el agua residual tratada se una con la de la primera fase para ingresar al tanque de contacto de cloro para su desinfección.

#### 45.3.1 Datos de diseño

- c) Caudal y población
  - Medio de 3,000 L/s
  - Población 1,804,667 habitantes
  - Dotación 180 L/hab d
- d) de influente y efluente
- e) Módulo de 600 L/s

En la Tabla 148 se muestra la calidad del agua de entrada a los módulos de 600 L/s.

**Tabla 269. Calidad del agua de entrada a los módulos de 600 L/s**

| <b>Parámetro</b>                             | <b>Unidad</b> | <b>Influente</b> | <b>Efluente</b> |
|--|---------------|------------------|-----------------|
| Temperatura invierno                         | °C            | 15               |                 |
| Temperatura verano                           | °C            | 25               |                 |
| Potencial de hidrógeno (pH)                  | Unidades      | 7.20             |                 |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)          | (mg/L)        | 458.0            | 20.0            |
| Demanda bioquímica de oxígeno soluble (DBOs) | (mg/L)        | 79.2             |                 |
| Demanda química de oxígeno (DQO)             | (mg/L)        | 977.0            |                 |
| Demanda química de oxígeno soluble (DQOs)    | (mg/L)        | 180.0            |                 |
| Sólidos suspendidos totales (SST)            | (mg/L)        | 424.0            | 20.0            |
| Sólidos suspendidos volátiles (SSV)          | (mg/L)        | 315.0            |                 |
| Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)               | (mg/L)        | 57.0             |                 |
| Nitrógeno amoniacal (NH <sub>3</sub> )       | (mg/L)        | 11.0             | 1.0             |
| Fósforo total (P)                            | (mg/L)        | 8.0              |                 |
| Alcalinidad (Ca CO <sub>3</sub> )            | (mg/L)        | 360.0            |                 |

- No presenta datos de grasas y aceites ni de coliformes fecales, los cuales están contemplados en las condiciones particulares de descarga.
- Si bien, es un proceso que remueve nitrógeno, no se estipula cuanto debe contener el efluente.
- En esta parte, se mezclan siglas en inglés y español, además se presentan variables que no están definidas, tales como; si, ss, xi y xs.
- Se dan datos para modelación, pero no especifica que es lo que se modela.

f) Módulo de 1,000 L/s

En la Tabla 270 se muestra la calidad del agua de entrada al módulo de 1,000 L/s.

**Tabla 270. Calidad del agua de entrada al módulo de 1,000 L/s**

| <b>Parámetro</b>                    | <b>Unidad</b> | <b>Influente</b> | <b>Efluente</b> |
|-------------------------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | mg/L          | 390              | 20              |
| Demanda química de oxígeno (DQO)    | mg/L          | 1,200            | 40              |
| Sólidos suspendidos totales (SST)   | mg/L          | 480              | 20              |
| Sólidos suspendidos volátiles (SSV) | mg/L          | 346              |                 |
| Sólidos suspendidos fijos (SSF)     | mg/L          | 134              |                 |

|                                |          |       |         |
|--------------------------------|----------|-------|---------|
| Nitrógeno total Kjeldahl (NTK) | mg/L     | 78    |         |
| Fósforo total (P)              | mg/L     | 12    | 10      |
| Grasas y aceites (G y A)       | mg/L     | 30    | 5       |
| pH                             | Unidades | 7.2   | 10      |
| Sólidos Sedimentables          | MI/L     | 6     | 6 a 8.5 |
| Caudal (Q)                     | L/s      | 1,000 | 1,000   |

- La calidad con la que se diseñó este módulo difiere con la de los módulos de 600 L/s.

### 45.3.2 Criterios de diseño

#### Pretratamiento

No presenta cálculos de rejillas ni de los desarenadores, solo se proporcionan características físicas y parámetros a considerar.

Del canal Parshall se proporcionan medidas.

#### Tratamiento primario

##### a. Módulo de 600 L/S

En este sentido se refiere a los sedimentadores primarios y al parecer se hace la indicación que la información que se proporciona es para una unidad, recordar que existen cinco unidades.

- No se especifica el caudal de agua a tratar por unidad
- Unos cálculos son con 3,000 L/s (caudal total) y otros con 600 L/s (caudal por módulo), lo que crea confusión en los datos reportados.
- Tomando como referencia el área de cada unidad de sedimentación y el dato que se proporciona de tirante, el volumen de sedimentación es de 5,266 m<sup>3</sup>, sin embargo, se proporciona un volumen total de cada tanque de 6,029 m<sup>3</sup>. Por lo que se desconoce cuáles fueron las consideraciones para llegar a este volumen.
- El dato de la pendiente del fondo no es claro en sus unidades.
- El tiempo de residencia hidráulico (TRH) que se reporta es de 2.79 h considerando un volumen de 6,029 m<sup>3</sup>, sin embargo, si se considera el volumen de sedimentación de 5,266 m<sup>3</sup>, el TRH es de 2.44 h, por lo tanto, se desconoce cuál es el valor correcto.
- No se proporciona una fuente para establecer las eficiencias de remoción.
- La eficiencia del 33% de la bomba de lodos es muy baja, esto lleva a una potencia sobrada. Además, no se presenta el cálculo de la potencia.

##### b. Módulo de 1,000 L/s

- Se puede establecer que en este módulo se cuenta con un reactor anaerobio, que se nombra como digestor.

- No presenta cálculos y los únicos datos que se proporcionan son las dimensiones del tanque y la eficiencia de remoción de los parámetros que se muestran en la Tabla 271.

**Tabla 271. Porcentaje de remoción de tratamiento primario**

| <b>Parámetro</b>                    | <b>Unidad</b> | <b>Remoción %</b> |
|-------------------------------------|---------------|-------------------|
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | mg/L          | 42.50             |
| Demanda química de oxígeno (DQO)    | mg/L          | 45.00             |
| Sólidos suspendidos totales (SST)   | mg/L          | 56.00             |
| Sólidos suspendidos volátiles (SSV) | mg/L          | 56.00             |
| Sólidos suspendidos fijos (SSF)     | mg/L          | 56.00             |
| Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)      | mg/L          | 22.00             |
| Fósforo total (P)                   | mg/L          | 20.00             |
| Crasas y aceites (G y A)            | mg/L          | 95.00             |
| pH                                  | Unidades      | 0                 |
| Sólidos Sedimentables               | ml/L          | 100.00            |

### **Tratamiento secundario**

#### **a. Módulo de 600 L/s**

En la Tabla 272 se muestra la calidad del agua de entrada al proceso biológico.

**Tabla 272. Calidad del agua de entrada a proceso biológico**

| <b>Parámetro</b>                             | <b>Unidad</b> | <b>Influente</b> |
|--|---------------|------------------|
| Temperatura invierno                         | °C            | 15               |
| Temperatura verano                           | °C            | 25               |
| Potencial de hidrógeno (pH)                  | Unidades      | 7.20             |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)          | mg/L          | 310.81           |
| Demanda bioquímica de oxígeno soluble (DBOs) | mg/L          | 79.20            |
| Demanda química de oxígeno (DQO)             | mg/L          | 570.67           |
| Demanda química de oxígeno soluble (DQOs)    | mg/L          | 180.00           |
| Sólidos suspendidos totales (SST)            | mg/L          | 169.91           |

| Parámetro                              | Unidad | Influente |
|--|--------|-----------|
| Sólidos suspendidos volátiles (SSV)    | mg/L   | 126.23    |
| Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)         | mg/L   | 31.69     |
| Nitrógeno amoniacal (NH <sub>3</sub> ) | mg/L   | 11.00     |
| Fósforo total (P)                      | mg/L   | 7.04      |
| Alcalinidad (Ca CO <sub>3</sub> )      | mg/L   | 360.00    |

- Nuevamente, se mezclan siglas en inglés y español, y se presentan variables que no están definidas, tales como; si, ss, xi y xs.
- Se dan datos para modelación, pero no especifica que es lo que se modela.
- Se proporciona una relación de DQOb/DBO de 1.6, pero con datos que se proporcionan en la memoria de cálculo, el valor es de 1.51.
- El tiempo de retención de sólidos teórico es de 4.48 d, y el proceso nitrifica y desnitrifica, por lo que se esperaría que fuera alrededor de 15 días.
- En la parte de Producción de Lodos no queda claro cuál es el objetivo de los valores que se proporciona, ni cuál es su uso.
- En el dimensionamiento del reactor, los datos que se dan no son claros, no se especifica si los cálculos son para 600 L/s o para 3,000 L/s. Además, se da un valor de relación largo/ancho cuando son circulares y no se especifica que el reactor está constituido por dos tanques circulares.
- No se presenta ningún cálculo en relación a la sección del tanque anóxico para la desnitrificación.
- En la sección de Requerimiento de oxígeno se establece una cantidad de nitrógeno a oxidar de 15.17 g/m<sup>3</sup>, sin embargo, en la sección de producción de lodo se establece que esa cantidad es de NOx, lo que indica que ese nitrógeno ya está oxidado. Por otra parte, el que se oxida es el Nitrógeno amoniacal y la concentración que se proporciona es de 11 g/m<sup>3</sup>. Lo anterior lleva a que la información no se emplea correctamente y por lo tanto los cálculos realizados están proporcionando datos erróneos.
- No se observa de donde se obtiene el valor de la DQOb removida y si es la total por el sistema o por módulo.
- No es claro si la cantidad de oxígeno calculada es en total por el sistema o por módulo.
- No es claro el cálculo del balance de alcalinidad, ni se requiere o no.
- En la sección de Volumen de aire y cantidad de difusores, no se observa cómo se obtiene el volumen de aire requerido. Además, al dividir el flujo de aire requerido de 1,739.92 m<sup>3</sup>/min entre el flujo de aire por difusor de 0.03 m<sup>3</sup>/min, da un total de 57,997 difusores requeridos, sin embargo, se da un valor de 59,945.

- Se proporciona una DBOe de 29.15 g/m<sup>3</sup>, sin embargo, los cálculos anteriores se realizaron con DQOb. Esto no es congruente. Además, en párrafos anteriores se cita que debe ser de 20 g/m<sup>3</sup>.
- Se presenta un cálculo de la potencia requerida para la bomba de purga de lodos, pero no se tiene un cálculo para la de recirculación de lodos.
- En la sección de dimensionamiento del soplador no es claro cómo se determina la potencia requerida.
- En términos generales no están definidas las variables que se utilizan, no se muestran las ecuaciones con las que se realizan los cálculos, lo que dificulta saber si los valores reportados son correctos y no se presentan referencias.

### b. Módulo de 1,000 L/s

En la Tabla 273 se muestra la calidad del agua de entrada al proceso biológico.

**Tabla 273. Calidad del agua de entrada a proceso biológico**

| Parámetro                           | Unidad   | Influyente | Efluente |
|-------------------------------------|----------|------------|----------|
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | mg/L     | 224.25     | 20       |
| Demanda química de oxígeno (DQO)    | mg/L     | 660.00     | 40       |
| Sólidos suspendidos totales (SST)   | mg/L     | 211.20     | 20       |
| Sólidos suspendidos volátiles (SSV) | mg/L     | 152.24     |          |
| Sólidos suspendidos fijos (SSF)     | mg/L     | 58.96      |          |
| Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)      | mg/L     | 60.84      |          |
| Fósforo total (P)                   | mg/L     | 9.60       | 10       |
| Grasas y aceites (G y A)            | mg/L     | 1.50       | 5        |
| pH                                  | Unidades | 7.20       | 10       |
| Sólidos Sedimentables               | ml/L     | 0.00       | 6 a 8.5  |
| Caudal (Q)                          | L/s      | 1,000      | 1,000    |

- No existe una definición de las variables que se utilizan para realizar los cálculos.
- No se presentan las ecuaciones utilizadas, por lo que se hace difícil seguir los cálculos y sobre todo saber si los datos que se presentan son correctos.
- De acuerdo al tiempo de residencia hidráulico de 10.1 h, el proceso estaría considerado convencional, por lo que la relación alimento microorganismos se recomienda este entre 0.2 y 0.6 kg DBO/kg SSV d, por lo que el valor de 0.17 queda fuera del rango de operación adecuado. Esto supone, problemas por respiración endógena por falta de alimento.

- Si el proceso nitrifica, el tiempo de retención de sólidos de 3.05 d es muy bajo.
- Los cálculos de requerimiento de oxígeno no son claros y tampoco como se considera la nitrificación. Lo anterior lleva a un cálculo de los HPs requeridos del soplador que tampoco es claro.
- En la sección de parámetros de diseño de aeración de burbuja fina, las variables utilizadas para los cálculos presentan unidades de diferentes sistemas de medición. En este se considera la nitrificación, aunque se establece un nitrógeno amoniacal de salida de 10 mg/L, cuando se recomienda este por debajo de 1 mg/L.
- La literatura establece que se emplee 1.42 gO<sub>2</sub>/gDBO y se en este caso se emplea 1 gO<sub>2</sub>/gDBO.
- Se da un requerimiento de aire de 3475.29 lbO<sub>2</sub>/h, que al realizar la conversión correspondiente da 1,576.36 kgO<sub>2</sub>/h, sin embargo, con anterioridad se proporcionó uno de 2,028.46 kgO<sub>2</sub>/h. Por tanto, se desconoce cuál de los dos es el que se empleó.
- De igual manera, se tienen dos cálculos para la potencia del soplador uno es de 2,254 y otro de 1,168 HP.

### **Clarificador secundario**

#### **a. Módulo de 600 L/s**

- Nuevamente unos cálculos se realizan con un caudal de 3,000 L/s y otros con 600 L/s, lo que los hace confusos.

#### **b. Módulo de 1,000 L/s**

- Se proporcionan las dimensiones de una unidad rectangular, cuando se tiene uno circular en planta.
- El cálculo del volumen del tanque da un valor negativo y por lo tanto cuando se realiza el del tiempo de residencia hidráulico, este también es negativo.

### **Tanque de contacto de cloro**

- No existe un cálculo del tanque de contacto de cloro para realizar la desinfección.

## **45.4 Análisis de la información histórica de calidad del agua**

A continuación, se presenta una serie de tablas que muestran la calidad del agua de salida de la PTAR Norte, que se reportó a la Comisión Nacional del Agua en el año de 2021.

Es importante mencionar que los parámetros que se reportaron son los que contemplan sus condiciones particulares de descarga.

### **Tabla 274. Calidad del agua del efluente de PTAR Norte de 2021.A**



| Parámetro     | Unidad     | CPD Promedio |         | Enero A | Enero B | Enero C | Febrero b | Febrero A | Marzo A | Marzo B |
|---------------|------------|--------------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|---------|---------|
|               |            | Mensual      | Diario  |         |         |         |           |           |         |         |
| Caudal        | L/s        |              |         | 2046    | 2677    | 2461    | 2103      | 2136      | 2145    | 2096    |
| pH            |            | 5 a 10       | 5 a 10  | 7.3     | 7.5     | 7.6     | 7.5       | 7.4       | 7.3     | 7.4     |
| Mat. Flotante | Ausente    | Ausente      | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente   | Ausente   | Ausente | Ausente |
| CF            | NMP/100 mL | 1000         | 2000    | 113     | 4       | 3       | 10        | 32        | 3       | 4       |
| G y A         | mg/L       | 15           | 25      | 6       | 8.03    | 6       | 6         | 6         | 6       | 6       |
| S Sed         | ml/L       | 1            | 2       | 0.5     | 0.5     | 0.5     | 0.5       | 0.5       | 0.5     | 0.5     |
| SST           | mg/L       | 150          | 200     | 11.5    | 22.5    | 10      | 10        | 12.35     | 13.5    | 10      |
| DBO           | mg/L       | 150          | 200     | 10.44   | 9.9     | 9.9     | 9.9       | 9.9       | 9.9     | 9.9     |
| NT            | mg/L       | 40           | 60      | 43.45   | 37.53   | 33.37   | 15.74     | 49.54     | 30.61   | 28.79   |
| PT            | mg/L       | 20           | 30      | 2.7     | 2.62    | 0.88    | 0.906     | 1.419     | 2.589   | 1.353   |
| As            | mg/L       | 0.2          | 0.4     | 0.02    | 0.02    | 0.02    | 0.02      | 0.02      | 0.02    | 0.02    |
| Cd            | mg/L       | 0.2          | 0.4     | 0.04    | 0.04    | 0.04    | 0.04      | 0.04      | 0.04    | 0.04    |
| CN            | mg/L       | 2            | 3       | 0.25    | 0.025   | 0.025   | 0.025     | 0.132     | 0.0481  | 0.025   |
| Cu            | mg/L       | 1            | 6       | 0.3     | 0.3     | 0.3     | 0.3       | 0.3       | 0.3     | 0.3     |
| Cr            | mg/L       | 1            | 1.5     | 0.2     | 0.2     | 0.2     | 0.2       | 0.2       | 0.2     | 0.2     |
| Hg            | mg/L       | 0.01         | 0.02    | 0.002   | 0.002   | 0.002   | 0.002     | 0.002     | 0.002   | 0.002   |
| Ni            | mg/L       | 2            | 4       | 0.4     | 0.4     | 0.4     | 0.4       | 0.4       | 0.4     | 0.4     |
| Pb            | mg/L       | 0.5          | 1       | 0.01    | 0.01    | 0.01    | 0.01      | 0.01      | 0.01    | 0.01    |
| Zn            | mg/L       | 10           | 20      | 0.1     | 0.146   | 0.1     | 0.535     | 0.384     | 0.252   | 0.1     |

**Tabla 275. Calidad del agua del efluente de PTAR Norte de 2021.B**

| Parámetro     | Unidad     | CPD Promedio |         | Abril A | Abril B | Abril C | Mayo A  | Mayo B  | Junio A | Junio B |
|---------------|------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|               |            | Mensual      | Diario  |         |         |         |         |         |         |         |
| Caudal        | L/s        |              |         | 2097    | 2460    | 2732    | 2682    | 2682    | 2336    | 2650    |
| pH            |            | 5 a 10       | 5 a 10  | 7.2     | 7.5     | 7.7     | 7.6     | 7.3     | 7.1     | 7.3     |
| Mat. Flotante | Ausente    | Ausente      | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente |
| CF            | NMP/100 mL | 1000         | 2000    | 16      | 3       | 5       | 3       | 3       | 3       | 3       |
| G y A         | mg/L       | 15           | 25      | 12.03   | 6       | 6       | 6       | 6.786   | 6       | 6       |
| S Sed         | ml/L       | 1            | 2       | 0.5     | 0.5     | 0.5     | 0.5     | 0.5     | 0.05    | 0.5     |
| SST           | mg/L       | 150          | 200     | 10      | 11.82   | 10      | 10      | 10      | 10      | 10      |
| DBO           | mg/L       | 150          | 200     | 9.9     | 13      | 11.78   | 9.9     | 9.9     | 9.9     | 9.9     |
| NT            | mg/L       | 40           | 60      | 37.725  | 43.059  | 29.005  | 15.254  | 32.481  | 22.602  | 19.854  |
| PT            | mg/L       | 20           | 30      | 1.839   | 1.098   | 1.818   | 0.3     | 0.3     | 0.474   | 0.3     |
| As            | mg/L       | 0.2          | 0.4     | 0.02    | 0.02    | 0.02    | 0.02    | 0.02    | 0.02    | 0.02    |

| Parámetro | Unidad | CPD Promedio |        | Abril A | Abril B | Abril C | Mayo A | Mayo B | Junio A | Junio B |
|-----------|--------|--------------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|
|           |        | Mensual      | Diario |         |         |         |        |        |         |         |
| Cd        | mg/L   | 0.2          | 0.4    | 0.04    | 0.04    | 0.04    | 0.04   | 0.04   | 0.04    | 0.04    |
| CN        | mg/L   | 2            | 3      | 0.0385  | 0.097   | 0.0329  | 0.025  | 0.0318 | 0.025   | 0.025   |
| Cu        | mg/L   | 1            | 6      | 0.3     | 0.3     | 0.3     | 0.3    | 0.3    | 0.3     | 0.3     |
| Cr        | mg/L   | 1            | 1.5    | 0.2     | 0.2     | 0.2     | 0.2    | 0.2    | 0.2     | 0.2     |
| Hg        | mg/L   | 0.01         | 0.02   | 0.002   | 0.002   | 0.002   | 0.002  | 0.002  | 0.002   | 0.002   |
| Ni        | mg/L   | 2            | 4      | 0.4     | 0.4     | 0.4     | 0.4    | 0.4    | 0.4     | 0.4     |
| Pb        | mg/L   | 0.5          | 1      | 0.01    | 0.01    | 0.01    | 0.01   | 0.01   | 0.01    | 0.01    |
| Zn        | mg/L   | 10           | 20     | 0.1     | 0.1     | 0.1     | 0.1    | 0.1    | 0.1     | 0.1     |

**Tabla 276. Calidad del agua del efluente de PTAR Norte de 2021.C**

| Parámetro     | Unidad     | CPD Promedio |         | Julio A | Julio B | Agosto A | Agosto B | Sep A   | Sep B   |
|---------------|------------|--------------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|
|               |            | Mensual      | Diario  |         |         |          |          |         |         |
| Caudal        | L/s        |              |         | 2416    | 2274    | 1949     | 1842     | 2305    | 2881    |
| pH            |            | 5 a 10       | 5 a 10  | 7.4     | 7.4     | 7.4      | 7.4      | 7.4     | 7.3     |
| Mat. Flotante | Ausente    | Ausente      | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente  | Ausente  | Ausente | Ausente |
| CF            | NMP/100 mL | 1000         | 2000    | 3       | 3       | 3        | 3        | 17      | 3       |
| G y A         | mg/L       | 15           | 25      | 6       | 6       | 6        | 6.408    | 6.043   | 6.096   |
| S Sed         | ml/L       | 1            | 2       | 0.5     | 0.5     | 0.5      | 0.5      | 0.5     | 0.5     |
| SST           | mg/L       | 150          | 200     | 10      | 10      | 10       | 17.8     | 10      | 10      |
| DBO           | mg/L       | 150          | 200     | 11.09   | 9.9     | 9.9      | 9.9      | 12.4    | 9.9     |
| NT            | mg/L       | 40           | 60      | 27.235  | 26.596  | 24.218   | 39.318   | 33.535  | 25.1    |
| PT            | mg/L       | 20           | 30      | 0.306   | 0.98    | 0.472    | 2.239    | 1.38    | 2.082   |
| As            | mg/L       | 0.2          | 0.4     | 0.02    | 0.02    | 0.02     | 0.02     | 0.02    | 0.02    |
| Cd            | mg/L       | 0.2          | 0.4     | 0.04    | 0.04    | 0.04     | 0.04     | 0.04    | 0.04    |
| CN            | mg/L       | 2            | 3       | 0.025   | 0.051   | 0.025    | 0.0715   | 0.084   | 0.025   |
| Cu            | mg/L       | 1            | 6       | 0.3     | 0.3     | 0.3      | 0.3      | 0.3     | 0.3     |
| Cr            | mg/L       | 1            | 1.5     | 0.2     | 0.2     | 0.2      | 0.2      | 0.2     | 0.2     |
| Hg            | mg/L       | 0.01         | 0.02    | 0.002   | 0.002   | 0.002    | 0.002    | 0.002   | 0.002   |
| Ni            | mg/L       | 2            | 4       | 0.4     | 0.4     | 0.4      | 0.4      | 0.4     | 0.4     |
| Pb            | mg/L       | 0.5          | 1       | 0.01    | 0.01    | 0.01     | 0.01     | 0.01    | 0.01    |
| Zn            | mg/L       | 10           | 20      | 0.1     | 0.1     | 0.169    | 0.1032   | 0.1     | 0.1     |

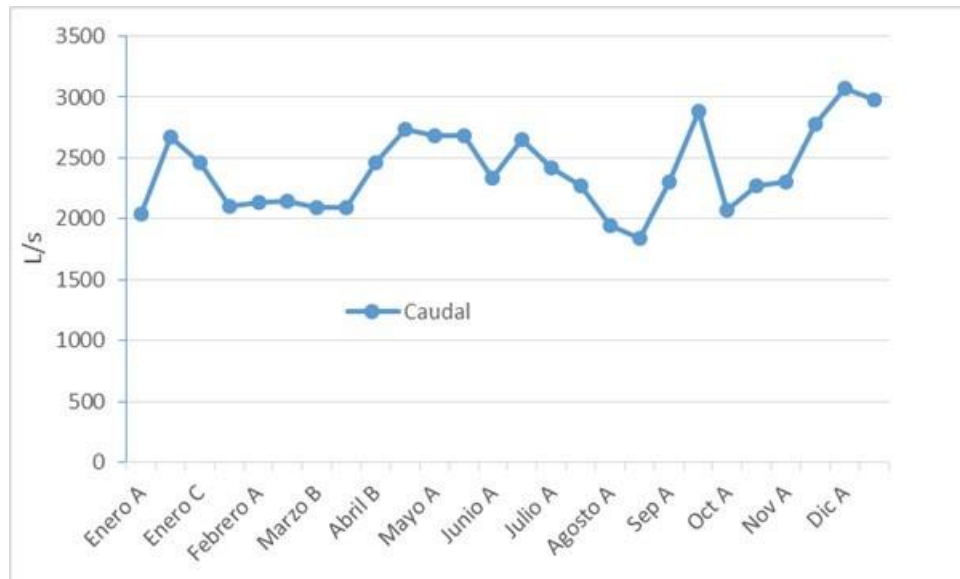
**Tabla 277. Calidad del agua del efluente de PTAR Norte de 2021.D**

| Parámetro     | Unidad     | CPD Promedio |         | Oct A   | Oct B   | Nov A   | Nov B   | Dic A   | Dic B   |
|---------------|------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|               |            | Mensual      | Diario  |         |         |         |         |         |         |
| Caudal        | L/s        |              |         | 2069    | 2274    | 2309    | 2779    | 3069    | 2979    |
| pH            |            | 5 a 10       | 5 a 10  | 7.2     | 7.4     | 7.4     | 7.4     | 7.7     | 7.2     |
| Mat. Flotante | Ausente    | Ausente      | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente |
| CF            | NMP/100 mL | 1000         | 2000    | 8       | 3       | 3       | 36      | 3       | 3       |
| G y A         | mg/L       | 15           | 25      | 6       | 6       | 6       | 6       | 6       | 6       |
| S Sed         | ml/L       | 1            | 2       | 0.5     | 0.5     | 0.5     | 0.5     | 0.5     | 0.5     |
| SST           | mg/L       | 150          | 200     | 10      | 10      | 10      | 10      | 10      | 10      |
| DBO           | mg/L       | 150          | 200     | 9.9     | 9.9     | 9.9     | 9.9     | 9.9     | 11.25   |
| NT            | mg/L       | 40           | 60      | 22.97   | 35.007  | 22.642  | 38.783  | 32.178  | 23.451  |
| PT            | mg/L       | 20           | 30      | 1.79    | 2.41    | 0.3     | 2.48    | 0.912   | 1.38    |
| As            | mg/L       | 0.2          | 0.4     | 0.02    | 0.02    | 0.02    | 0.02    | 0.02    | 0.02    |
| Cd            | mg/L       | 0.2          | 0.4     | 0.04    | 0.04    | 0.04    | 0.04    | 0.04    | 0.04    |
| CN            | mg/L       | 2            | 3       | 0.0497  | 0.0362  | 0.0335  | 0.078   | 0.025   | 0.025   |
| Cu            | mg/L       | 1            | 6       | 0.3     | 0.3     | 0.3     | 0.3     | 0.3     | 0.3     |
| Cr            | mg/L       | 1            | 1.5     | 0.2     | 0.2     | 0.2     | 0.2     | 0.2     | 0.2     |
| Hg            | mg/L       | 0.01         | 0.02    | 0.002   | 0.002   | 0.002   | 0.002   | 0.002   | 0.002   |
| Ni            | mg/L       | 2            | 4       | 0.4     | 0.4     | 0.4     | 0.4     | 0.4     | 0.4     |
| Pb            | mg/L       | 0.5          | 1       | 0.01    | 0.01    | 0.01    | 0.01    | 0.01    | 0.01    |
| Zn            | mg/L       | 10           | 20      | 0.1     | 0.1     | 0.1132  | 0.1     | 0.1     | 0.1     |

A continuación, se presenta una discusión de los parámetros que se reportan a la Conagua, tomando como referencia la NOM-001-SEMARNAT-1996 “que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”, y considerando que el agua residual tratada es descargada a río para uso agrícola. Así como en la NOM-001-SEMARNAT-2021. “que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación”, con descarga a río, así como las CPD que se le fijaron a la PTAR Norte. Para esta discusión se tomaron como referencia los valores de los promedios diario.

#### 45.4.1 Caudal

Si bien la capacidad de tratamiento de la PTAR Norte es de 4,000 L/s, en el año de 2021 operó a un caudal promedio de 2,401 L/s, lo que representa el 60% de su capacidad.



**Figura 842. Tendencia de caudal**

Observando la Figura 842, se aprecia que el menor caudal de tratamiento se presentó en los meses de enero, febrero y agosto. Sin embargo, el caudal del tratamiento presenta grandes variaciones a lo largo del año, los cuales pueden variar desde los 1,900 hasta los 3,000 L/s.

#### **45.4.2pH**

Al ser un proceso de tratamiento biológico, éste considera el empleo de microorganismos, por lo que para que éstos se desarrollen adecuadamente deben coexistir en un rango de 6.0 a 8.5 unidades de pH. Por lo que de acuerdo a lo que se observa en las tablas y gráficas el agua de salida presenta un pH en promedio de 7.4 unidades, dentro de rango, lo que indica que en la PTAR existen microorganismos favorables para la estabilización de la materia orgánica.

Por otra parte, en la NOM-001-SEMARNAT-1996, se estipula un rango óptimo de descarga es de 5 a 10 unidades, y en la NOM-001-SEMARNAT-2021 de 6 a 9, por lo que este parámetro cumple en el efluente de la PTAR (Figura 843).

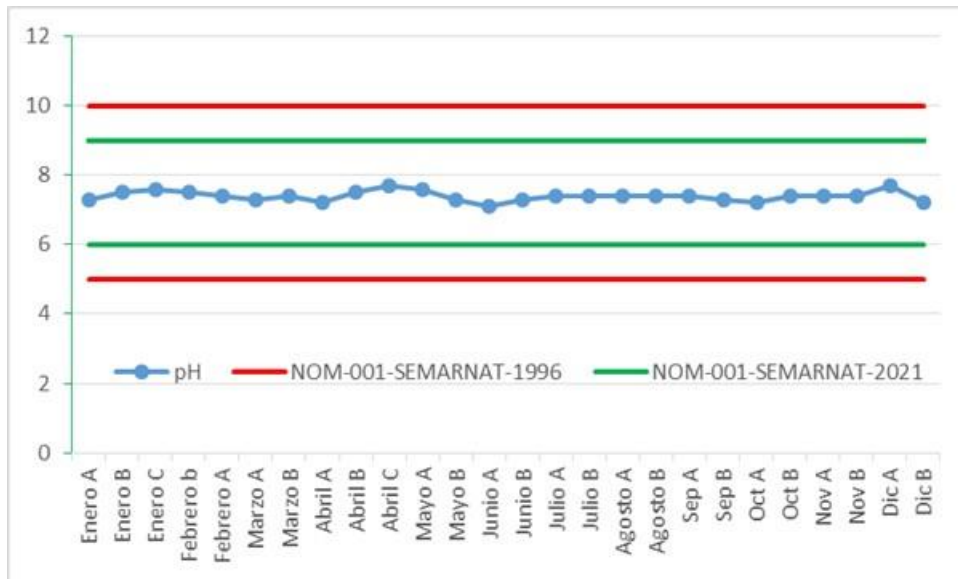


Figura 843. Tendencia de pH en el efluente con relación a la normatividad

#### 45.4.3 Coliformes fecales

La NOM-001-SEMARNAT-1996 y las CPD establecen como LMP y promedio diario 2,000 NMP/100 ml de coliformes fecales, y como se puede apreciar en la Figura 844, los valores reportados en 2021 en su mayoría están por debajo de los 10 NMP/100 ml. Por lo que se cumple con lo establecido por la normatividad.

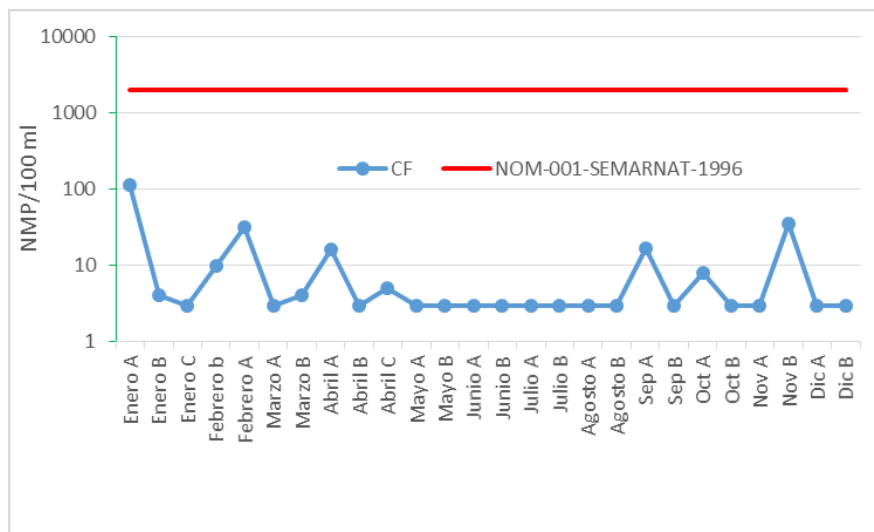


Figura 844. Tendencia de coliformes fecales en el efluente con relación a la normatividad

#### 45.4.4 Sólidos Sedimentables (S Sed)

Los valores que se reportaron son de 0.5 ml/L en todos los meses, por lo que cumple con lo estipulado en las CPD y con la NOM-001-SEMARNAT-1996.

#### 45.4.5 Grasas y Aceites

En la NOM-001-SEMARNAT-1996 y en las CPD se establece como límite máximo permisible para promedio diario de grasas y aceites un valor de 25 mg/L y en la NOM-001-SEMARNAT-2021 de 18 mg/L, y como se puede observar en la Figura 845, estos valores no son rebasados, ya que la concentración máxima se encuentra por debajo de los 15 mg/L y en su mayoría se reportó como menor a los 6 mg/L.

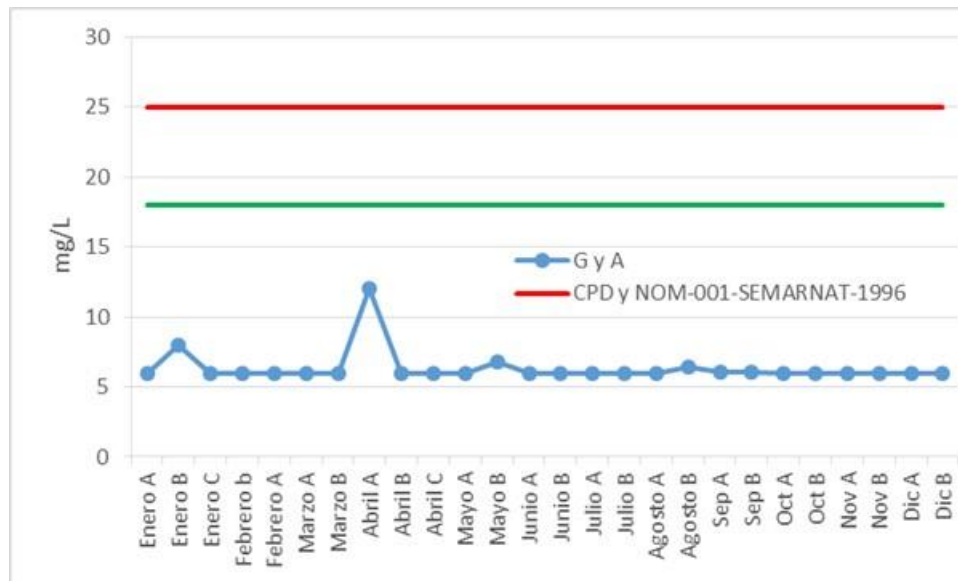


Figura 845. Tendencia de grasas y aceites en el efluente con relación a la normatividad

#### 45.4.6 Materia Flotante

Si bien no están considerados en las CPD, si se reportan y su valor es ausente, por lo que cumple con lo estipulado en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

#### 45.4.7 Sólidos suspendidos totales (SST)

La mayoría de los resultados de SST fueron reportados como menores a 10 mg/L, por lo que se cumple ampliamente lo establecido en las CPD y la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es de 200 mg/L, así como con la NOM-001-SEMARNAT-2021 que es de 72 mg/L (Figura 846Figura 846. ).

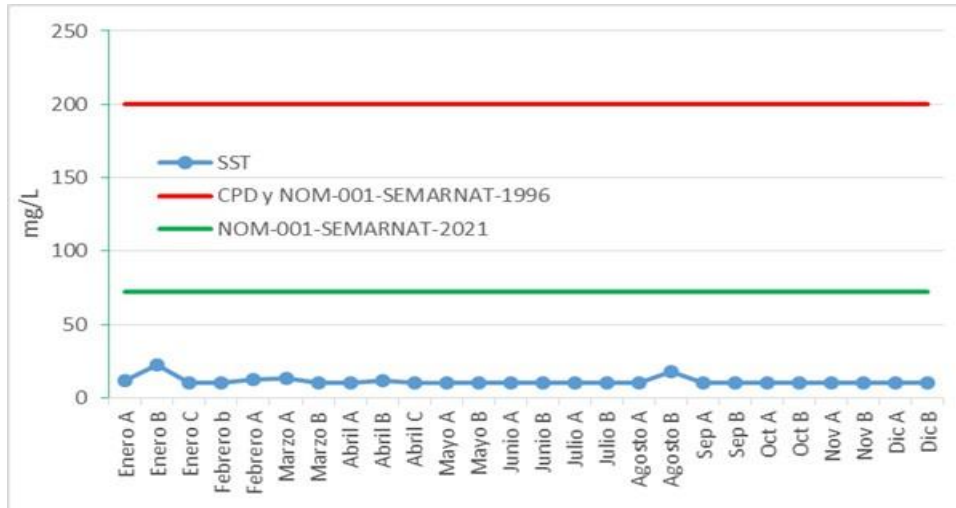


Figura 846. Tendencia de sólidos suspendidos totales en el efluente con relación a la normatividad

#### 45.4.8 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

En las CPD y en la NOM-001-SEMARNAT-1996 se establece como límite máximo permisible una concentración de 200 mg/L de DBO, por lo que la PTAR Norte cumple ampliamente, ya que en su mayoría se reportó una concentración menor a 9.9 mg/L de DBO en el efluente (Figura 847).

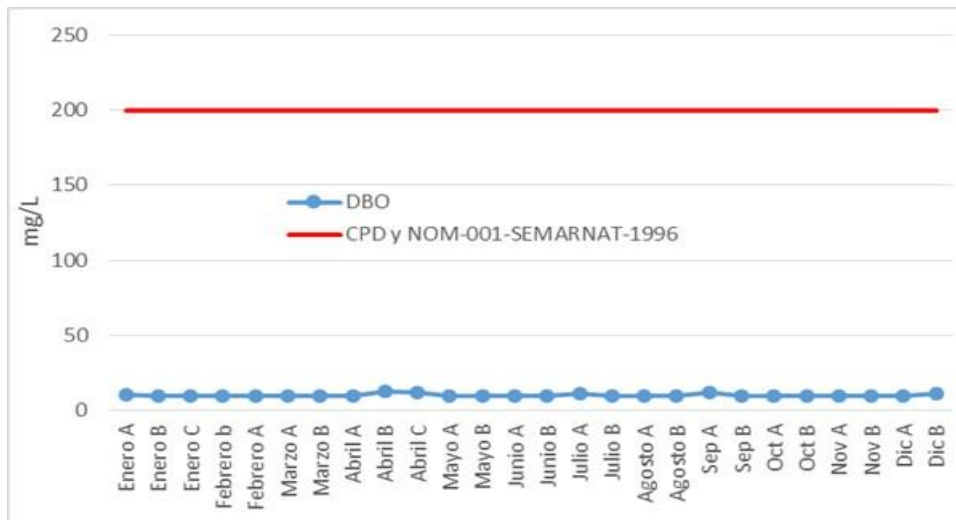


Figura 847. Tendencia de demanda bioquímica de oxígeno en el efluente con relación a la normatividad

#### 45.4.9 Nitrógeno Total (NT)

El límite máximo permisible que se establece en las CPD y en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para nitrógeno total es de 60 mg/L, el cual se cumple en todo el año, sin embargo, para la NOM-001-SEMARNAT-2021, el LMP se baja a 30 mg/L, y como se puede apreciar en cerca de la mitad de los valores no se cumple (Figura 848). Además,

se puede observar que de enero a mayo existe una gran variación en las concentraciones, y que a partir de este mes se reducen un poco, aunque los valores están entre 20 y 40 mg/L.

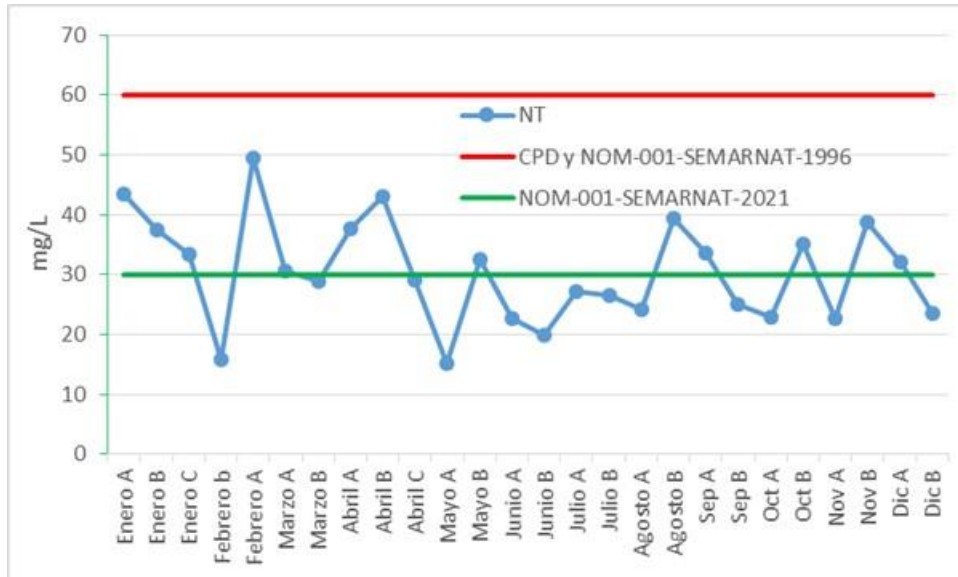
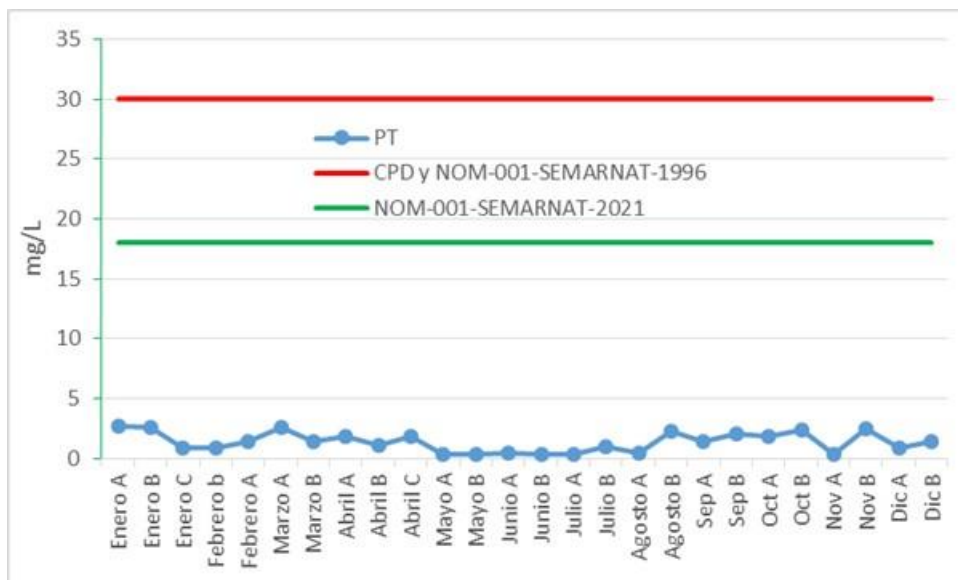


Figura 848. Tendencia de nitrógeno total en el efluente con relación a la normatividad

#### 45.4.10 Fósforo Total (PT)

Las concentraciones de fósforo total que se reportaron en el efluente en 2021 estuvieron en su mayoría por debajo de los 2 mg/L, reportándose un promedio de 1.38 mg/L. Por lo que con relación a las CPD y la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establecen 30 mg/L como LMP, y la NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece 18 mg/L, no se tiene problema en su cumplimiento (Figura 849).





**Figura 849. Tendencia de fósforo total en el efluente con relación a la normatividad**

#### **45.4.11 Metales y Cianuro**

Como se puede apreciar en la Tabla 274 las concentraciones de los metales y cianuros fueron reportados menores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, y en la NOM-001-SEMARNAT-2021. Por lo tanto, siempre se cumplió con ambas normas. Además de las condiciones particulares de descarga establecidas.

En resumen, se puede considerar que el efluente de la PTAR Norte no tiene ningún problema para cumplir con las CPD, la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-2021, sin embargo, se deberá tener especial cuidado en NT cuando la última entre en vigor, ya que se rebasa el LMP establecido por ésta.

#### **45.5 Análisis de la información del Proceso**

##### **45.5.1 Análisis rutinarios**

Actualmente la PTAR cuenta con un laboratorio central equipado, por lo que se proporcionó información de DBO, DQO y SST del influente y efluente, así como de cloro residual y del caudal. Esta información comprende el periodo de 2007 a 2021, y los valores que se reportan son mensuales.

Por la cantidad de información que es, solo se mostraran las gráficas correspondientes.

Es importante informar que de acuerdo a pláticas con el personal de la PTAR, en el año de 2017 entro en operación el módulo seis, con una capacidad de 1,000 L/s. Por lo que esta fecha es un parte aguas en la operación de la PTAR Norte.

##### **Caudal**

En el periodo de 2007 a 2015 se aprecia una tendencia de incremento en el caudal, que aproximadamente va de 1,800 a 2,500 L/s. Sin embargo, a mediados del 2015 hasta enero de 2017 se aprecia un descenso el caudal de agua tratado. Entre 2017 y 2020 el caudal tiene variaciones que van entre los 2,400 y 2,700 L/s. Finalmente, en el año 2021 se observa una estabilización del caudal del tratamiento al estar alrededor de los 2,500 L/s.

En términos generales, a lo largo del periodo de estudio se observa una tendencia a la estabilización del caudal de tratamiento que gira alrededor de los 2,500 L/s (Figura 850Figura 850. ).

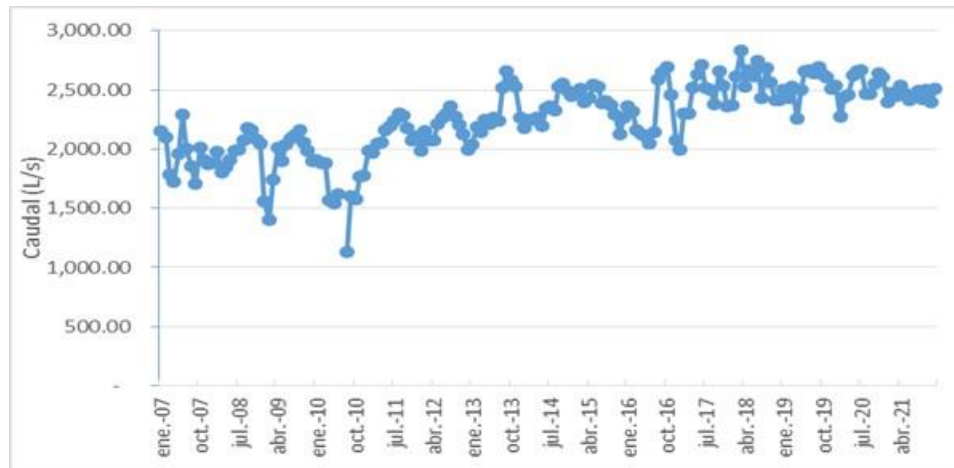


Figura 850. Tendencia de caudal 2007 a 2021

### a) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

En 2007 el influente tiene concentraciones cercanas a los 500 mg/L, sin embargo, se observa una tendencia a disminuir que termina alrededor de los 300 mg/L a finales del año 2015. Después en el periodo de 2016 a 2020, se aprecia una variación que va en un rango de 350 a 500 mg/L. Pero para el año 2021 se observa un descenso de 450 a 300 mg/L, para que en último mes se incremente hasta 416 mg/L (Figura 851).

En relación al efluente, en el periodo de 2007 a 2016, no se observa una tendencia clara de la DBO, al variar entre los 10 y 100 mg/L. Sin embargo, se cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996. Para el periodo de 2017 a 2021 la concentración de la DBO en el efluente se mantiene por debajo de los 10 mg/L. Este cambio se puede deber a la entrada en operación del módulo seis y también al cambio del sistema de aeración, a burbuja fina.

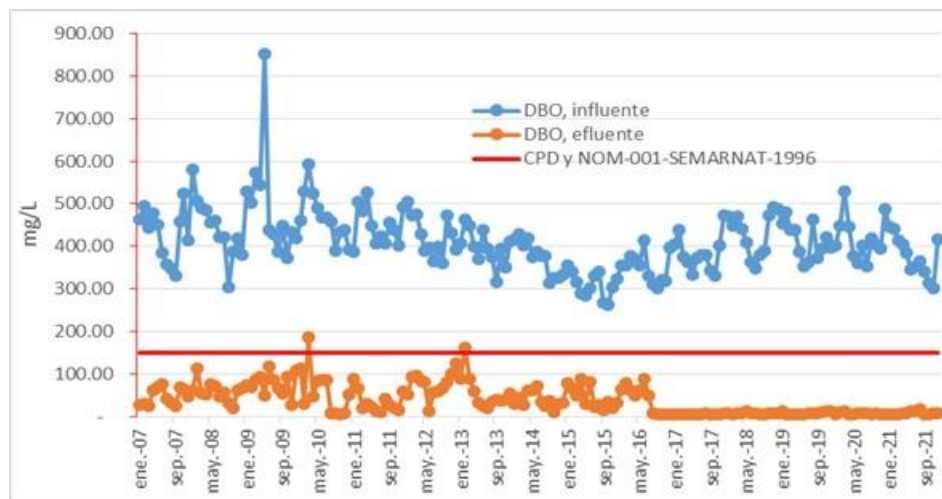
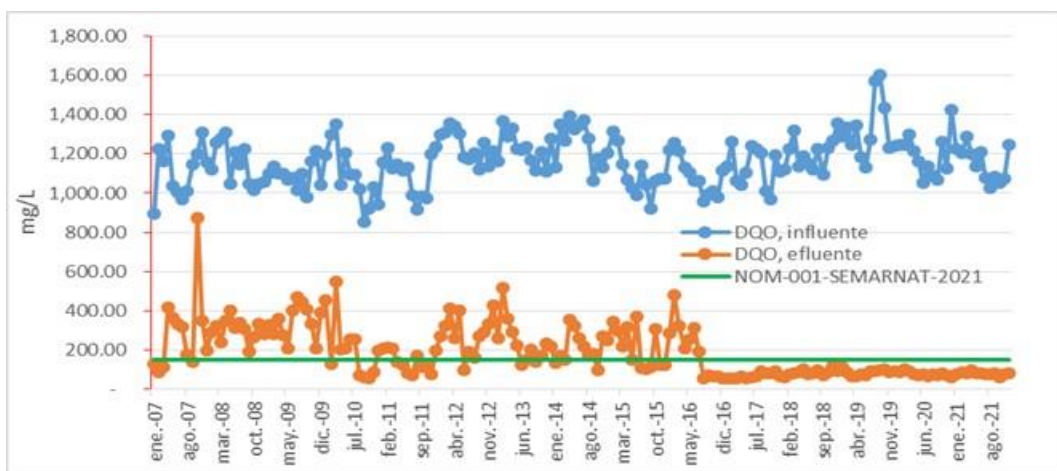


Figura 851. Tendencia de demanda bioquímica de oxígeno con relación a la normatividad

### b) Demanda química de oxígeno (DQO)

Entre los años 2007 a 2011 más o menos la DQO del influente estuvo entre los 1,000 y 1,200 mg/L, para después sufrir un incremento entre los 1,100 a 1,400 mg/L en el periodo de 2012 a 2015, sin embargo, entre los años 2016 a 2018 se regresa al rango de 1,000 a 1,200 mg/L. En los años subsecuentes, 2019, 2020 y 2021, se aprecia que a principios de cada uno de ellos se incrementa la concentración de DQO y después desciende conforme transcurre el año (Figura 852).

La NOM-001-SEMARNAT-2021 establece como LMP para la DQO una concentración de 150 mg/L, por lo que de acuerdo con la Figura 852, no se tiene problemas en su cumplimiento a partir de agosto de 2016. En promedio, se puede decir, que la DQO del efluente está en 80 mg/L.



**Figura 852. Tendencia de demanda química de oxígeno con relación a la normatividad**

### c) Relación DBO/DQO en el influente

El valor de la relación DBO/DQO entre los años 2007-2011 fue muy variable, entre 0.3 a 0.5, sin embargo, en 2012 y 2013, se estabilizó alrededor de 0.33, para descender a menos de 0.3 en los años 2014 y 2015. A partir de 2016 la relación varía entre 0.3 y 0.4.

Se considera que un agua residual municipal tiene una relación DBO/DQO de 0.3 a 0.8, y si ésta es superior a 0.5 se considera fácilmente biodegradable, pero si está por debajo de 0.3, el agua residual puede tener componentes tóxicos o industriales (Metcalf & Eddy, 2003, pag.97).

Por lo que, se considera que esta agua residual tiene un componente industrial, al presentar por ciertos periodos valores cercanos a 0.3 o por debajo de éste (Figura 853).

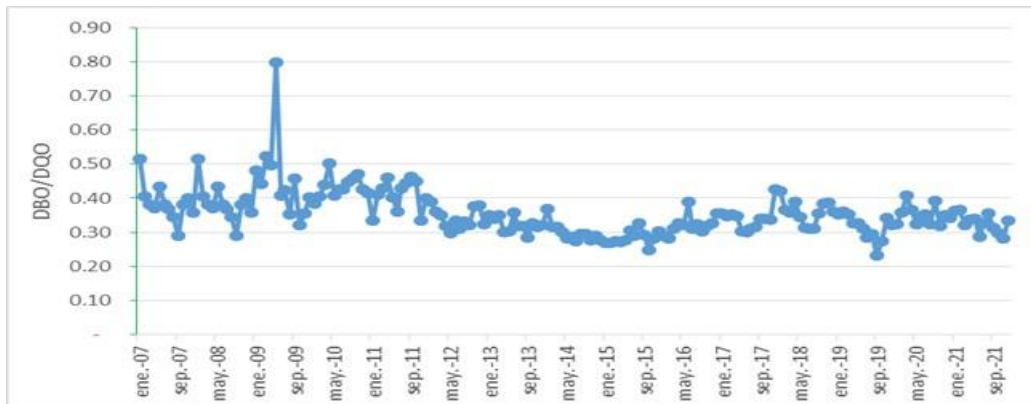


Figura 853. Tendencia de la relación DBO/DQO

#### d) Dosis de cloro

La dosis de cloro que recomienda Conagua para desinfectar un agua residual tratada de origen municipal es de 8 mg/L, sin embargo, como se puede apreciar en la Figura 854., esta dosis nunca se ha empleado en la PTAR Norte. Por otra parte, entre el año 2007 y 2008 la dosis fue de 4 a 6 mg/L, al igual que en el 2011 y 2012, en el año de 2009 y 2010 la variación fue entre 4 y 7 mg/L. En el 2013 se observa una tendencia de descenso que se prolonga hasta el 2015 y está alrededor de los 4 mg/L. Posteriormente la concentración se mantiene alrededor de los 4.5 mg/L hasta 2016. A partir de 2017 se observa un incremento que va hasta los 5.5 mg/L, a principios de 2019, para posteriormente descender a concentraciones de cloro de 4 a 4.5 mg/L hasta el año 2021.

El hecho de que no se adicione la dosis recomendada por Conagua y que se esté empleando una menor cantidad, puede ser debido a que el agua residual que proviene de las descargas industriales pueda ser tóxica para los coliformes fecales y se disminuya su concentración a la entrada de la PTAR Norte, reduciendo así la demanda de cloro para la desinfección.

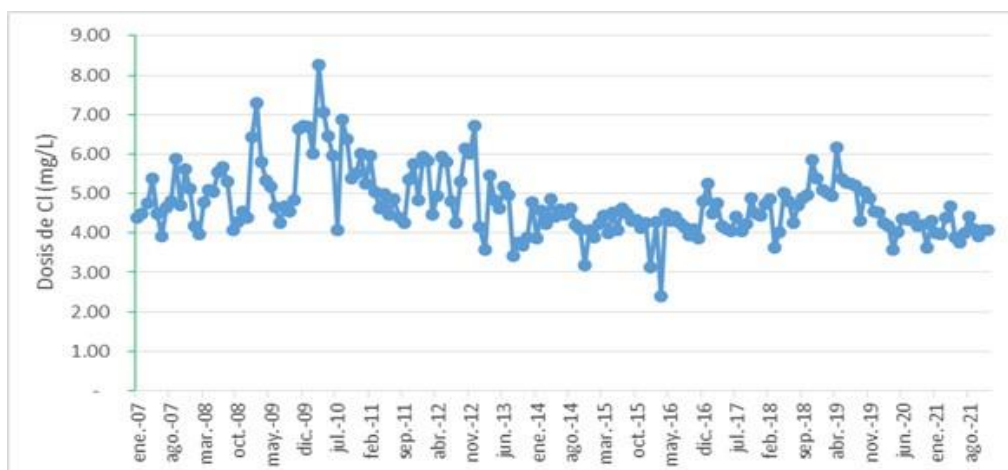


Figura 854. Tendencia de la dosis de cloro

## 45.5.2 Manual de operación

No se proporcionó.

## 45.5.3 Reportes de operación (bitácoras)

En relación a reportes de operación, entregaron en físico copias de muy mala calidad, ya que se dijo por parte del personal encargado que esta información no se digitaliza.

Se proporcionó información en formatos de las siguientes áreas:

### a) Pretratamiento

Se reporta la lectura del totalizador del agua de entrada (influyente), así como es estado en operación de las bombas, rejillas y desarenadores (Figura 855).

### b) Reactor biológico

Solo se reporte si los mezcladores están en operación al igual que los reactores biológicos (Figura 856).

### c) Sedimentador secundario

En este formato se reporta que equipos o unidades están en operación, tales como bombas y sedimentadores secundarios, así como nivel de lodos en sedimentador secundario, el totalizador de lodos de purga y apariencia del efluente (Figura 857).

GERENCIA DE TRATAMIENTO  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "XXXX"

FORMATO DE FLUJO DE INFLUYENTE Y EQUIPOS DE PRETRATAMIENTO

Fecha: 12/04/10  
Turno: A

Operador de Proceso: [Firma]  
Auxiliar de Proceso: [Firma]

Capacidad PTAD: N/A  
EMBAU: [Firma]

| Equipo                | Estado       |                   |          |              |                   |          |
|-----------------------|--------------|-------------------|----------|--------------|-------------------|----------|
|                       | En Operación | Fuera de servicio | Deposito | En Operación | Fuera de servicio | Deposito |
| Rejilla N° 1          |              |                   |          |              |                   |          |
| Rejilla N° 2          |              |                   |          |              |                   |          |
| Rejilla N° 3          |              |                   |          |              |                   |          |
| Rejilla N° 4          |              |                   |          |              |                   |          |
| Rejilla N° 5          |              |                   |          |              |                   |          |
| Rejilla N° 6          |              |                   |          |              |                   |          |
| Rejilla N° 7          |              |                   |          |              |                   |          |
| Rejilla N° 8          |              |                   |          |              |                   |          |
| Rejilla para detriton |              |                   |          |              |                   |          |
| Compartim. N° 1       |              |                   |          |              |                   |          |
| Compartim. N° 2       |              |                   |          |              |                   |          |
| Compartim. N° 3       |              |                   |          |              |                   |          |
| Compartim. N° 4       |              |                   |          |              |                   |          |
| Compartim. N° 5       |              |                   |          |              |                   |          |
| Compartim. N° 6       |              |                   |          |              |                   |          |
| Compartim. N° 7       |              |                   |          |              |                   |          |
| Compartim. N° 8       |              |                   |          |              |                   |          |
| Compartim. N° 9       |              |                   |          |              |                   |          |
| Compartim. N° 10      |              |                   |          |              |                   |          |
| Compartim. N° 11      |              |                   |          |              |                   |          |
| Compartim. N° 12      |              |                   |          |              |                   |          |

| Hora        | COLECCION |           | FLUJO DEBVO |           |
|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|
|             | Flujo E-1 | Flujo E-2 | Flujo E-1   | Flujo E-2 |
| 10:00       |           |           |             |           |
| 11:00       |           |           |             |           |
| 12:00       |           |           |             |           |
| Totalizador | 222210    |           |             |           |
| 13:00 (ed)  |           |           |             |           |

| Compartim.       | Estado       |                   |          | Nivel de lodo (cm) |
|------------------|--------------|-------------------|----------|--------------------|
|                  | En Operación | Fuera de servicio | Deposito |                    |
| Compartim. N° 1  |              |                   |          |                    |
| Compartim. N° 2  |              |                   |          |                    |
| Compartim. N° 3  |              |                   |          |                    |
| Compartim. N° 4  |              |                   |          |                    |
| Compartim. N° 5  |              |                   |          |                    |
| Compartim. N° 6  |              |                   |          |                    |
| Compartim. N° 7  |              |                   |          |                    |
| Compartim. N° 8  |              |                   |          |                    |
| Compartim. N° 9  |              |                   |          |                    |
| Compartim. N° 10 |              |                   |          |                    |
| Compartim. N° 11 |              |                   |          |                    |
| Compartim. N° 12 |              |                   |          |                    |

| Equipo                   | Estado       |                   |          |                    |                    |                    |
|--------------------------|--------------|-------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                          | En Operación | Fuera de servicio | Deposito | Fuera de Operación | Fuera de Operación | Fuera de Operación |
| Bomba de Influyente N° 1 |              |                   |          |                    |                    |                    |
| Bomba de Influyente N° 2 |              |                   |          |                    |                    |                    |
| Bomba de Influyente N° 3 |              |                   |          |                    |                    |                    |
| Bomba de Influyente N° 4 |              |                   |          |                    |                    |                    |
| Bomba de Influyente N° 5 |              |                   |          |                    |                    |                    |
| Bomba de Influyente N° 6 |              |                   |          |                    |                    |                    |

PRETRATAMIENTO

ADVERTENCIA: Para el llenado de los formatos que se describen N/A. No aplicar cuando no se cuenta con ese personal o equipo. N/A. No aplicar cuando por falta de tratamiento o equipo.

~ 1.1 Para cualquier espacio en blanco: FFE. Fuera de servicio.

Figura 855. Formato de influente y equipos de pretratamiento

SERVICIOS DE AGUA Y DRENAJE DE MONTERREY, S.P. DE C.V. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "NORTE" FORMATO PARA TRATAMIENTO SECUNDARIO REACTOR BIOLÓGICO

Fecha: 24/06/13 Operador de Proceso: Jorge Ruiz  
Turno: O.C.T. Auxiliar Proceso Tratamiento: Santiago Nieto

| Equipo        | Estado       |                   |            | Equipo        | Estado       |                   |            | OBSERVACIONES |
|---------------|--------------|-------------------|------------|---------------|--------------|-------------------|------------|---------------|
|               | En Operación | Fuera de servicio | Disponible |               | En Operación | Fuera de servicio | Disponible |               |
| Mixtador N°1  |              |                   |            | Mixtador N°11 |              |                   |            |               |
| Mixtador N°2  | ✓            |                   |            | Mixtador N°12 |              |                   |            |               |
| Mixtador N°3  | ✓            |                   |            | Mixtador N°13 |              |                   |            |               |
| Mixtador N°4  | ✓            |                   |            | Mixtador N°14 |              |                   |            |               |
| Mixtador N°5  | ✓            |                   |            | Mixtador N°15 | ✓            |                   |            |               |
| Mixtador N°6  | ✓            |                   |            | Mixtador N°16 |              |                   |            |               |
| Mixtador N°7  | ✓            |                   |            | Mixtador N°17 |              |                   |            |               |
| Mixtador N°8  | ✓            |                   |            | Mixtador N°18 |              |                   |            |               |
| Mixtador N°9  | ✓            |                   |            | Mixtador N°19 |              |                   |            |               |
| Mixtador N°10 | ✓            |                   |            | Mixtador N°20 |              |                   |            |               |

| Equipo      | Estado       |                   |            | Estados Medio (mg/l) |       | Temperatura |
|-------------|--------------|-------------------|------------|----------------------|-------|-------------|
|             | En Operación | Fuera de servicio | Disponible | 10:00                | 02:00 |             |
| Reactor N°1 | ✓            |                   |            |                      |       |             |
| Reactor N°2 | ✓            |                   |            |                      |       |             |
| Reactor N°3 | ✓            |                   |            |                      |       |             |
| Reactor N°4 | ✓            |                   |            |                      |       |             |
| Reactor N°5 | ✓            |                   |            |                      |       |             |
| Reactor N°6 | ✓            |                   |            |                      |       |             |

| Equipo        | Estado       |                   |            | Temperatura (C) (°F) |       | Presión (psi) | Amperaje (A) | Flujo Aire (CFM) |
|---------------|--------------|-------------------|------------|----------------------|-------|---------------|--------------|------------------|
|               | En Operación | Fuera de servicio | Disponible | 10:00                | 02:00 |               |              |                  |
| Soplador N°1  | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°2  | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°3  | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°4  | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°5  | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°6  | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°7  | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°8  | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°9  | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°10 | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°11 | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°12 | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°13 | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°14 | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°15 | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°16 | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°17 | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |
| Soplador N°18 | ✓            |                   |            |                      |       |               |              |                  |

FO-SAN-OP-38-00

Figura 856. Formato de reactores biológicos

SERVICIOS DE AGUA Y DRENAJE DE MONTERREY, S.P. DE C.V. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "NORTE" FORMATO PARA TRATAMIENTO SECUNDARIO SEDIMENTADOR SECUNDARIO

Fecha: 21/06/13 Operador de Proceso: Carlos Leon  
Turno: O.C.T. Auxiliar Proceso Tratamiento: [Signature]

| Unidad y/o equipo   | Estado       |                   |            | Observaciones |
|---------------------|--------------|-------------------|------------|---------------|
|                     | En Operación | Fuera de servicio | Disponible |               |
| Bomba retorno N°1   | ✓            |                   |            |               |
| Bomba retorno N°2   | ✓            |                   |            |               |
| Bomba retorno N°3   | ✓            |                   |            |               |
| Bomba retorno N°4   | ✓            |                   |            |               |
| Bomba retorno N°5   | ✓            |                   |            |               |
| Bomba retorno N°6   | ✓            |                   |            |               |
| Bomba retorno N°7   | ✓            |                   |            |               |
| Bomba retorno N°8   | ✓            |                   |            |               |
| Bomba retorno N°9   | ✓            |                   |            |               |
| Bomba retorno N°10  | ✓            |                   |            |               |
| Bomba lodo Sec. N°1 | ✓            |                   |            |               |
| Bomba lodo Sec. N°2 | ✓            |                   |            |               |
| Bomba lodo Sec. N°3 | ✓            |                   |            |               |
| Bomba lodo Sec. N°4 | ✓            |                   |            |               |
| Bomba lodo Sec. N°5 | ✓            |                   |            |               |
| Bomba lodo Sec. N°6 | ✓            |                   |            |               |
| Bomba lodo Sec. N°7 | ✓            |                   |            |               |
| Bomba lodo Sec. N°8 | ✓            |                   |            |               |
| Bomba nata Sec. N°1 | ✓            |                   |            |               |
| Bomba nata Sec. N°2 | ✓            |                   |            |               |
| Bomba nata Sec. N°3 | ✓            |                   |            |               |
| Bomba nata Sec. N°4 | ✓            |                   |            |               |

| Unidad y/o equipo                       | Estado       |                   |            | Observaciones           |
|---|--------------|-------------------|------------|-------------------------|
|   | En Operación | Fuera de servicio | Disponible |                         |
| Sedimentario N°1                        | ✓            |                   |            | Presión (kg/cm²): 10.00 |
| Sedimentario N°2                        | ✓            |                   |            |                         |
| Sedimentario N°3                        | ✓            |                   |            |                         |
| Sedimentario N°4                        | ✓            |                   |            |                         |
| Sedimentario N°5                        | ✓            |                   |            |                         |
| Sedimentario N°6                        | ✓            |                   |            |                         |
| Bomba de agua de Venta línea Montecruz  | ✓            |                   |            | Apariencia del efluente |
| Bomba de agua de Venta línea Laredo     | ✓            |                   |            |                         |
| Bomba de agua de Venta línea a Colombia | ✓            |                   |            |                         |

FO-SAN-OP-38-00

Figura 857. Formato de sedimentador secundario

d) Turbo sopladores (TS)

Como se mencionó con anterioridad, la calidad de las copias que se proporcionaron es muy mala. En este sentido, es muy difícil poder entender la información que se registra en este formato.

En términos generales la información que se registra es:

- Porcentaje de operación, los TS 2, 3 y 4 operan al 94%, 7 y 8 al 95%, 9 y 12 al 96%.
- Revoluciones por minuto, los TS 2, 3 y 4 operan con 22,500, 7 y 8 con 25,000, 9 y 12 con 25,300.
- Presión de succión, de descarga y diferencia.
- Flujo de aire, los TS 2, 3, 7 y 8 proporcionan 2,200 m<sup>3</sup>/min, 4 y 9 1,200 m<sup>3</sup>/min, 12 con 2,400 m<sup>3</sup>/min.
- Temperatura, de succión y descarga del aire y del motor.

### e) Cloración

En ésta solo se reportan los equipos que están operando y el consumo de cloro, como se muestra en la Figura 858.

### f) Agua residual tratada a pipas

Además, se entregó un reporte del agua residual tratada que se suministra por medio de pipas (Figura 859).

Como se puede observar, en la mayoría de los formatos solo se reporta si los equipos o unidades están en operación y no se reporta información referente al control del proceso de tratamiento.

**FORMATO DE SISTEMAS DE DESINFECCIÓN**

Fecha: 27/01/2014  
Turno: 10:14

**Tabla 1: Estado de Equipos**

| Equipo                        | En Operación | Fuera de servicio  | Disponible |
|-------------------------------|--------------|--------------------|------------|
| Motor N°1                     | ✓            |                    |            |
| Motor N°2                     | ✓            |                    |            |
| Motor de Servicio N°1         |              | ✓                  |            |
| Motor de Servicio N°2         |              | ✓                  |            |
| Compresor N°1                 | ✓            |                    |            |
| Compresor N°2                 | ✓            |                    |            |
| Almacen N°1                   | ✓            |                    |            |
| Almacen N°2                   | ✓            |                    |            |
| Polpa N°1                     | ✓            |                    |            |
| Polpa N°2                     | ✓            |                    |            |
| Deposito de Agua de venta N°1 | ✓            |                    |            |
| Deposito de Agua de venta N°2 | ✓            |                    |            |
| Deposito de Agricultura N°1   |              | Disponible         |            |
| Deposito de Agricultura N°2   |              | Fuera de servicio  |            |
| Deposito de Agricultura N°3   |              | Carpa Aire de frío |            |

**Tabla 2: Operación de Equipos**

| Equipo                | Válv. (h/mg) | Temp. (°C) | Presión (PSI) | Revoluciones (RPM) |       |
|-----------------------|--------------|------------|---------------|--------------------|-------|
| Motor N°1             | 10:00        | 18:00      | Gas           | Agua               | 25000 |
| Motor N°2             |              |            |               |                    |       |
| Motor de Servicio N°1 |              |            |               |                    |       |
| Motor de Servicio N°2 |              |            |               |                    |       |
| Compresor N°1         | 10:14        | 10:50      | 100           | 120                |       |
| Compresor N°2         |              |            |               |                    |       |

**Tabla 3: Consumo de Cloro**

| Equipo                       | Flujo (litros/min) | Presión (PSI) | Consumo de Cloro (kg) | Consumo de Cloro (mg) |
|------------------------------|--------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| Descarga 1 (Cuerpo Receptor) | 2000               | 2.200         | 1.100                 |                       |
| Descarga 2 (Deposito)        | 0                  | 1.200         | 1.100                 |                       |
| Descarga 3 (Agua de venta)   |                    |               |                       |                       |

**Observaciones:**  
Sistema de Cloración en funcionamiento.  
Consumo de Cloro: 2.200 kg.

**APROBACIONES:**  
Gerente de Planta: [Firma]  
Supervisor de Operación: [Firma]

**ADVERTENCIAS:** Para el llenado de los formatos que se describen en este formato, el personal debe estar en el momento de la operación de los equipos. Para calcular el consumo de cloro, se debe tener en cuenta el flujo de agua y el tiempo de operación de los equipos.

Figura 858. Registro del área de desinfección

SECRETARÍA DE AGUA Y DRENAJE DE MONTERREY, I.D.  
GERENCIA DE TRATAMIENTO  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NORTE  
REGISTRO DE SUMINISTRO DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN PIPAS

| HORA  | CLIENTE              | LECTURA MEDIDOR |       | EN<br>MANTENIMIENTO | OPERADOR PIPA       |         | ALIX OPERACION BOM |       |
|-------|----------------------|-----------------|-------|---------------------|---------------------|---------|--------------------|-------|
|       |                      | INICIAL         | FINAL |                     | NOMBRE              | PIPA    | NOMBRE             | PIPA  |
| 8:30  | COBAMOSA             | ---             | ---   | 15m                 | GILBERTO CONTRALBA  | EW15250 | ALBERTO CONTRALBA  |       |
| 8:55  | G.T. OCAJALAPAN      | ---             | ---   | 18m                 | HUGO MARTINEZ       | 008898  |                    | 11.60 |
| 9:30  | MULTI DIOCES         | ---             | ---   | 15m                 | ROBERTO ESPINOZA    | 1157125 |                    | 11.60 |
| 10:10 | OLSA LLOJA           | ---             | ---   | 8m                  | JOSE LUIS           | 1128795 |                    | 11.60 |
| 10:30 | MAQUIMAQ             | ---             | ---   | 25m                 | JOSE CONTRALBA      | 278155  |                    | 11.60 |
| 11:15 | G.T. OCAJALAPAN      | ---             | ---   | 18m                 | HUGO MARTINEZ       | 008898  |                    | 11.60 |
| 11:40 | DESARROLLOS LOCSA    | ---             | ---   | 40m                 | SEBASTIAN MALDONADO | 3370477 |                    | 11.60 |
| 12:10 | MULTI DIOCES         | ---             | ---   | 15m                 | ROBERTO ESPINOZA    | 1157125 |                    | 11.60 |
| 13:15 | FRANCISCA RAMA       | ---             | ---   | 10m                 | FRANCISCA RAMA      | NA 2024 |                    | 11.60 |
| 13:55 | G.T. OCAJALAPAN      | ---             | ---   | 18m                 | HUGO MARTINEZ       | 008898  |                    | 11.60 |
| 14:30 | UNEARMA              | ---             | ---   | 2m                  | CARLOS VALDE        | 500000  |                    | 11.60 |
| 15:15 | CANTO CONSTRUCCIONES | ---             | ---   | 10m                 | SEBASTIAN MALDONADO | 1163870 |                    | 11.60 |
| 15:50 | G.T. OCAJALAPAN      | ---             | ---   | 18m                 | HUGO MARTINEZ       | 008898  |                    | 11.60 |
| 16:20 | ISTEM ELECTROL       | ---             | ---   | 10m                 | FRANCISCO BARRA     | 1112418 |                    | 11.60 |
| 17:15 | ASER ZUBIYANT        | ---             | ---   | 10m                 | CECILIA PERA        | 1115231 |                    | 11.60 |
| 17:30 | MULTI DIOCES         | ---             | ---   | 15m                 | ROBERTO ESPINOZA    | 1157125 |                    | 11.60 |

Figura 859. Suministro de agua residual tratada por medio de pipas

#### 45.5.4 Mantenimiento

Se proporcionó un archivo en Excel que se llama "CONTROL DE ÓRDENES DE MANTENIMIENTO 2021", en lugar del programa de mantenimiento anual.

En este documento se describen 6,918 reportes, que van desde simples revisiones de equipos o instalaciones hasta actividades de limpieza, y en algunos casos de mantenimiento preventivo. A continuación, se citan algunas de las actividades reportadas.

- Realizar revisión general en capacitores de CCM's.
- Realizar revisión de compresor de aire 2, fuera por cortocircuito.
- Realizar revisión de evaporador 1.
- Realizar revisión de swicht de Bomba Tornillo # 3.
- Realizar conexión de Maquina de Soldar en módulo 3.
- Corte de zacate, maleza, arbustos y árboles.
- Recolección de basura en las diferentes áreas.
- Barrer vialidades de PTAR.
- Bombas de agua: Revisión de componentes, toma de lectura de amperaje y limpieza de tablero y/o gaveta.
- Revisión de componentes, toma de lectura de amperaje, revisión de protecciones y limpieza de tablero y/o gaveta de bomba sumergible.
- Revisión de nivel aceite de bomba y fugas.
- Sistema Desarenador: Checar nivel aceite a moto-reductor, nivel de aceite de transmisión, lubricación de cadena, revisión condiciones de mirilla, revisión de fugas de reductor y corona.
- Realizar reparación de Corto Circuito en líneas de alimentación de soplador de Aire 6.



- Bomba de Influyente 4, revisión de fugas a reductores de bomba, lubricación de reductores de bomba, revisión de nivel de aceite con varilla, reponer aceite, lubricación de chumacera inferior de bomba.

Esta hace suponer que no se cuenta con un programa de mantenimiento preventivo de equipo electromecánico y éste es más bien correctivo.

## 46 ESTADO ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

### 46.1 Descripción de las unidades de proceso

El agua residual que ingresa a la PTAR llega aun cárcamo con una profundidad de 10 m en el que sedimentan los sólidos más grandes y pesados y son extraídos por medio de una cuchara bivalva. La extracción de los sólidos se realiza una vez al día. Posteriormente el agua pasa a través de una rejilla gruesa que permite retener toda la basura grande que llega a la planta (Figura 860).



**Figura 860 Cárcamo de llegada**

El agua se envía a un cárcamo de bombeo en el que se mezcla con el agua proveniente de la fosa séptica que recibe y almacena las descargas de más de 100 pipas diarias procedentes tanto de industrias como de servicios sanitarios portátiles (Figura 861). Personal de la PTAR proporcionó información en la que mencionan que durante el mes de febrero de 2021 se recibieron 800 m<sup>3</sup> de agua proveniente de servicios sanitarios portátiles y 16,000 m<sup>3</sup> de agua proveniente de industrias, sin embargo, para julio de 2021 el caudal se incrementó hasta 2,000 m<sup>3</sup>/mes de agua proveniente de servicios sanitarios portátiles y 32,000 m<sup>3</sup>/mes de agua proveniente de industrias. El personal también mencionó que se desconoce el porcentaje de mezcla de estas aguas provenientes de pipas con el agua que proviene del

alcantarillado debido a que no existe un medidor de flujo, la regulación del caudal es a través de compuertas únicamente.



**Figura 861. Zona de descarga de pipas con agua residual industrial y de servicios sanitarios**

El agua cruda es bombeada por medio de cuatro bombas de tornillo (dos en uso y dos en reserva) de 250 HP, las cuales se muestran en la Figura 862 a un nivel más elevado para permitir que el resto del sistema de tratamiento opere por gravedad.



**Figura 862. Sistema de bombeo por tornillo**

El agua es enviada a un sistema de cribado por medio de seis rejillas medianas automáticas de 1.5 cm de separación de las cuales tres se encuentran fuera de operación y una en mantenimiento (Figura 863).



**Figura 863. Rejillas medianas**

Después de las rejillas medianas, el agua es enviada a un sistema de cribado consistente de dos rejillas autolimpiables ultrafinas (Figura 864) marca Huber de las cuales una se encuentra en mantenimiento.



**Figura 864. Rejillas finas**

Diariamente se extraen de 4 a 6 m<sup>3</sup> de basura de las rejillas medianas y finas, la cual se envía al Relleno Sanitario Dulces Nombres (Figura 865).



**Figura 865. Basura de rejillas medianas y finas**

La PTAR cuenta con seis desarenadores de flujo horizontal con extracción mecánica de arenas los cuales se muestran en la Figura 866, de éstos solamente uno se encuentra fuera de operación. Parte de los desarenadores se encuentran cubiertos con la finalidad de no permitir la liberación de olores desagradables.



**Figura 866. Desarenadores**

El efluente de los desarenadores es enviado a los trenes de tratamiento a través de canales de distribución tal como se muestran en la Figura 867. Cada canal cuenta con un medidor Parshall y un medidor ultrasónico de flujo.



**Figura 867. Canal de distribución**

Los trenes de tratamiento 1 a 5 se encuentran diseñados para un caudal de 600 L/s, mientras que el tren de tratamiento 6 se encuentra diseñado para un caudal de 1,000 L/s. Para el caso del tren de tratamiento 6 además del agua residual se envía también agua de lavado de los lodos de desecho (Figura 868), con la finalidad de incrementar la concentración de lodos y la carga orgánica.



**Figura 868. Canal de distribución Tren 6**

Los trenes de tratamiento 1 al 5 se muestran en la Figura 869 constan de un sedimentador primario, un reactor de lodos activados tipo flujo pistón con remoción de nitrógeno y un sedimentador secundario, las tres unidades de tratamiento son circulares. Los cinco trenes de tratamiento se encontraban operando.



**Figura 869. Tren de tratamiento 1 a 5**

El tren de tratamiento 6 mostrado en la Figura 870 consta de un reactor anaerobio tipo flujo pistón completamente sellado, con tubería para la liberación del biogás formado, seguido por un reactor de lodos activados de flujo pistón, ambos reactores rectangulares y por último un sedimentador secundario circular. El tren de tratamiento 6 se encontraba operando.



**Figura 870. Tren de tratamiento 6**

El efluente de todos los trenes de tratamiento desemboca a un canal que envía el agua tratada a dos sistemas de contacto de cloro (Figura 871) cuyas medidas son 20x84 cada uno y cuenta con 24 mamparas. En la salida de la PTAR se tiene un canal Parshall para cada clorador y un medidor ultrasónico para determinar el caudal de salida.



**Figura 871. Sistema de contacto de cloro**

Parte del agua residual tratada es enviada a la industria, para ello se cuenta con un sistema de bombeo adicional que se muestra en la Figura 872.





Figura 872. Sistema de bombeo para la industria

## 46.2 Estado de las unidades de proceso

Se observó que en los canales de distribución hay una gran cantidad de sólidos (Figura 873), debido a que el pretratamiento no funciona adecuadamente, principalmente las rejillas medianas y finas, ya que la mayoría se encuentra fuera de operación.



Figura 873. Sólidos en canales de distribución

Para el caso del tren de tratamiento del 1 al 5 en el que se cuenta con sedimentadores primarios, se puede observar una gran cantidad de sólidos acumulados como consecuencia de la falta de una adecuada operación del pretratamiento. Para el Sedimentador Primario (SP) 1 y SP4 se observa una capa de lodo flotando, falta de desnatador y burbujeo en la superficie del sedimentador, lo cual significa que el sistema no ha sido purgado adecuadamente (Figura 874 ).



**Figura 874. Estado del sedimentador primario 1 y 4**

En el SP2 se observa falta de mampara de separación, falta de desnatador y presencia de vegetación en la superficie del sedimentador. El SP3 tampoco cuenta con membrana de separación (Figura 875).



**Figura 875. Estado del sedimentador primario 2 y 3**

El SP5 presenta al igual que el resto de los sedimentadores acumulación de sólidos y falta de desnatador (Figura 876). En todos los SP no se aprecia purga de lodos lo que hace que los sólidos pasen a la siguiente unidad de tratamiento.



**Figura 876. Estado del sedimentador primario 5**

Debido a la gran cantidad de sólidos que son enviados del sedimentador primario a los reactores de lodos activados, en la zona anóxica de los mismos se puede observar una gran acumulación de sólidos (Figura 877). Además de la acumulación de sólidos, se observa que los mezcladores de la zona anóxica en su mayoría no funcionan. Por otro lado, debido a la acumulación de sólidos y falta de limpieza se observa vegetación dentro de los reactores aerobios. La presencia de los sólidos puede disminuir la eficiencia de remoción de los contaminantes en el sistema.



**Figura 877. Estado de reactores de lodos activados**

En el caso de los sedimentadores secundarios se puede observar una falta de mantenimiento, ya que en los vertedores se puede apreciar la presencia de algas (Figura 878). Debido a los problemas con los sólidos que se tienen en las etapas anteriores, también se presentan sólidos flotando en la superficie de los sedimentadores. En el sedimentador secundario 1 se observa crecimiento de vegetación y en el sedimentador secundario 6 se observa presencia de natas.





**Figura 878. Estado de sedimentadores secundarios**

#### **46.2.1 Estado físico de las instalaciones de la PTAR**

En general se pudo observar que la planta requiere mantenimiento del parque vehicular ya que se encuentra en muy mal estado. Muchos equipos se encuentran fuera de operación debido a que requieren reparaciones mayores. Las instalaciones metálicas en su gran mayoría se encuentran corroídas. Falta poda de hierba en las instalaciones del canal de distribución.

Para el caso del desarenador se observó que el acceso es muy complicado e inseguro y no existe un pasillo para trasladarse entre unidades, lo cual resulta peligroso. Los pasillos se encuentran bloqueados por los mismos equipos. Se pudo apreciar malos olores en la zona de desarenación causado principalmente por la inadecuada disposición de los sólidos extraídos. En la Figura 879 se puede observar los problemas mencionados anteriormente.






**Figura 879. Estado físico de las instalaciones de la PTAR**

#### **46.2.2 Equipos electromecánicos**

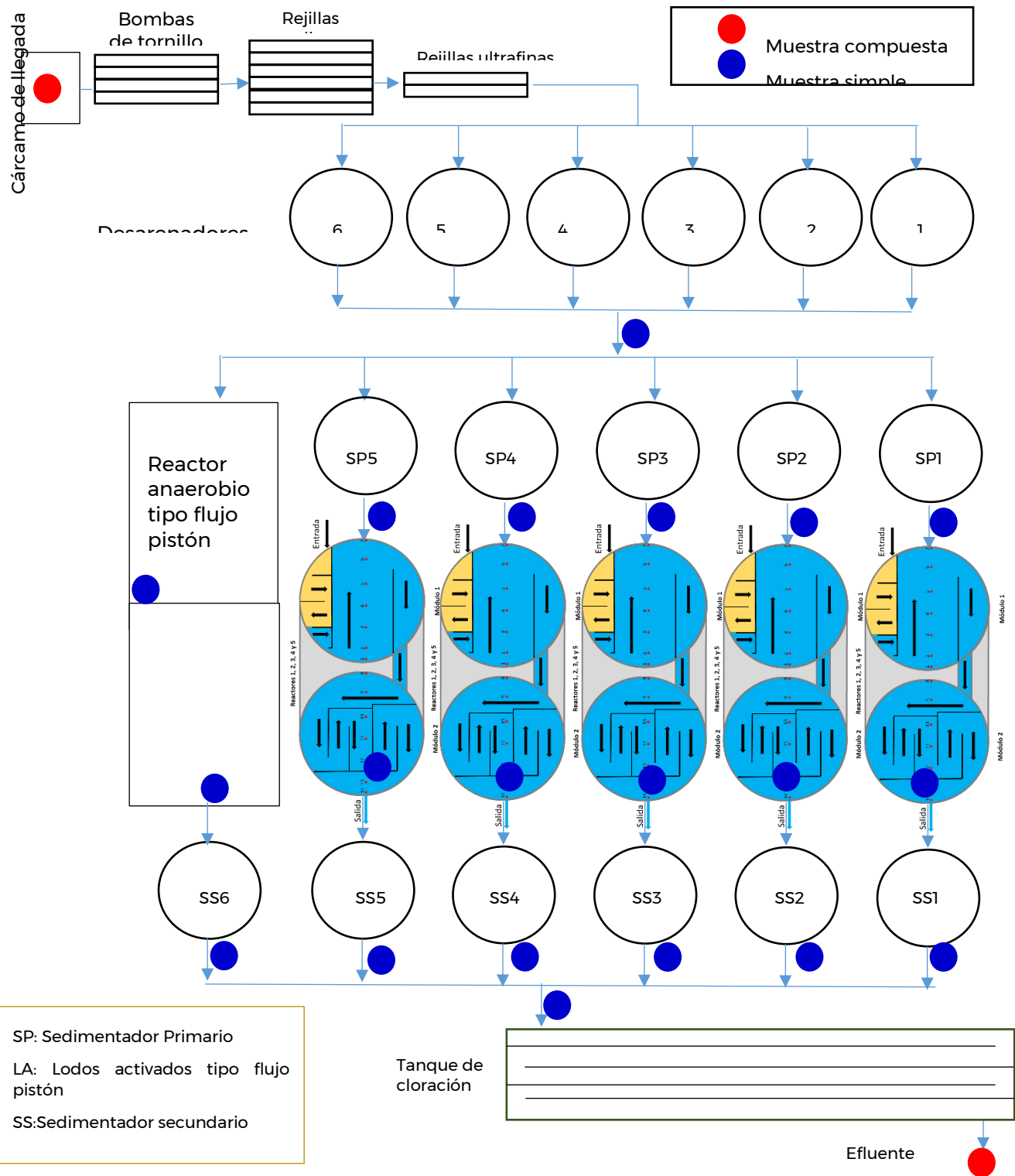
Se realizó el levantamiento de equipos electromecánicos de la PTAR. Se encontró que gran parte de los equipos se encuentran fuera de operación por lo que se requiere mantenimiento y/o adquisición. El personal de la PTAR cuenta con una matriz de equipos priorizados por orden de necesidad, por lo que tienen información del estado de cada uno de los equipos que tiene la planta (Figura 880).

|  |      |   |                                  |                               |   |                              |   |
|--|------|---|----------------------------------|-------------------------------|---|------------------------------|---|
| FECHA: ENERO / 2022 MATRIZ DE EQUIPOS E INSTALACIONES Y SUS EFECTOS                |      |   |                                  |                               |   |                              |   |
| No. SAP  | AREA | EQUIPO/INSTALACION                      | TOTAL DE EQUIPOS / INSTALACIONES | NIVEL DE PRIORIDAD            |   |                              | EFECTOS EN EL PROCESO DE NO ATENDERSE ADECUADAMENTE LA CONDICION URGENTE  |
|  |      |   |                                  | PRIORIDAD 1 CONDICION URGENTE | PRIORIDAD 2 CONDICION CRITICA O DE RIESGO | PRIORIDAD 3 CONDICION NORMAL |   |
| <b>EQUIPOS DE PROCESO</b>  |      |   |                                  |                               |   |                              |   |
| <b>PRETRATAMIENTO</b>  |      |   |                                  |                               |   |                              |   |
| 3000009  | **   | CUCHARA BARRAJ                          | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ASUJAMIENTO DE CARGAMO DE INFLUENTE   |
| 3000020  | **   | BOMBA DE INFLUENTE 1                    | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ASUJAMIENTO DE CARGAMO DE INFLUENTE   |
| 3000030  | **   | BOMBA DE INFLUENTE 2                    | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ASUJAMIENTO DE CARGAMO DE INFLUENTE   |
| 3000031  | **   | BOMBA DE INFLUENTE 3                    | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ASUJAMIENTO DE CARGAMO DE INFLUENTE   |
| 3000033  | **   | BOMBA DE INFLUENTE 4                    | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ASUJAMIENTO DE CARGAMO DE INFLUENTE   |
| 3000029  | **   | TABLERO DE CONTROL BOMBA DE INFLUENTE 1 | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ASUJAMIENTO DE CARGAMO DE INFLUENTE   |
| 3000030  | **   | TABLERO DE CONTROL BOMBA DE INFLUENTE 2 | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ASUJAMIENTO DE CARGAMO DE INFLUENTE   |
| 3000031  | **   | TABLERO DE CONTROL BOMBA DE INFLUENTE 3 | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ASUJAMIENTO DE CARGAMO DE INFLUENTE   |
| 3000033  | **   | TABLERO DE CONTROL BOMBA DE INFLUENTE 4 | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ASUJAMIENTO DE CARGAMO DE INFLUENTE   |
| 3001010  | **   | BANDA TRANSPORTADORA DE SÓLIDOS MAYORES | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ADJULACIÓN DE BASURA EN EL AREA, GENERA MALA MAQUEN Y CONDICIONES INSAUBRES PARA EL PERSONAL                                      |
| 3000803  | **   | REJILLA AUTOMÁTICA US FILTER NO 1       | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ADJULACIÓN DE BASURA EN EL AREA, GENERA MALA MAQUEN Y CONDICIONES INSAUBRES PARA EL PERSONAL                                      |
| 3000809  | **   | REJILLA AUTOMÁTICA US FILTER NO 2       | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ADJULACIÓN DE BASURA EN EL AREA, GENERA MALA MAQUEN Y CONDICIONES INSAUBRES PARA EL PERSONAL                                      |
| 3000810  | **   | REJILLA AUTOMÁTICA US FILTER NO 3       | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ADJULACIÓN DE BASURA EN EL AREA, GENERA MALA MAQUEN Y CONDICIONES INSAUBRES PARA EL PERSONAL                                      |
| 3000811  | **   | REJILLA AUTOMÁTICA US FILTER NO 4       | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ADJULACIÓN DE BASURA EN EL AREA, GENERA MALA MAQUEN Y CONDICIONES INSAUBRES PARA EL PERSONAL                                      |
| 3000812  | **   | REJILLA AUTOMÁTICA US FILTER NO 5       | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ADJULACIÓN DE BASURA EN EL AREA, GENERA MALA MAQUEN Y CONDICIONES INSAUBRES PARA EL PERSONAL                                      |
| 3000813  | **   | REJILLA AUTOMÁTICA US FILTER NO 6       | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | ADJULACIÓN DE BASURA EN EL AREA, GENERA MALA MAQUEN Y CONDICIONES INSAUBRES PARA EL PERSONAL                                      |
| 3000829  | **   | REJILLA AUTOLIMPIABLE ULTRAFINA 7       | 2                                | 1                             | N/A                                       | 2                            | EXCESO DE BASURA EN PROCESO BAJA VIDA UTIL DE EQUIPOS DE BOMBEO, DISMINUYEN LA CAPACIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA GENERANDO BY-PASS |
| 3000810  | **   | REJILLA AUTOLIMPIABLE ULTRAFINA 8       | 2                                | 1                             | N/A                                       | 2                            | EXCESO DE BASURA EN PROCESO BAJA VIDA UTIL DE EQUIPOS DE BOMBEO, DISMINUYEN LA CAPACIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA GENERANDO BY-PASS |
| 3000882  | **   | SISTEMA DESARENADOR 1                   | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | DISMINUYE LA CAPACIDAD DE MANEJO DE ARENAS DE PRETRATAMIENTO AFECTA A CLARIFICADORES PRIMARIOS Y SISTEMAS DE BOMBEO               |
| 3000883  | **   | SISTEMA DESARENADOR 2                   | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | DISMINUYE LA CAPACIDAD DE MANEJO DE ARENAS DE PRETRATAMIENTO AFECTA A CLARIFICADORES PRIMARIOS Y SISTEMAS DE BOMBEO               |
| 3000884  | **   | SISTEMA DESARENADOR 3                   | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | DISMINUYE LA CAPACIDAD DE MANEJO DE ARENAS DE PRETRATAMIENTO AFECTA A CLARIFICADORES PRIMARIOS Y SISTEMAS DE BOMBEO               |
| 3000885  | **   | SISTEMA DESARENADOR 4                   | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | DISMINUYE LA CAPACIDAD DE MANEJO DE ARENAS DE PRETRATAMIENTO AFECTA A CLARIFICADORES PRIMARIOS Y SISTEMAS DE BOMBEO               |
| 3000886  | **   | SISTEMA DESARENADOR 5                   | 1                                | 0                             | N/A                                       | 1                            | DISMINUYE LA CAPACIDAD DE MANEJO DE ARENAS DE PRETRATAMIENTO AFECTA A CLARIFICADORES PRIMARIOS Y SISTEMAS DE BOMBEO               |

**Figura 880. Matriz de equipos de PTAR Norte**

### 46.3 Muestreo y calidad del agua residual

Para realizar el muestreo del agua residual de la PTAR se realizó un recorrido previo a las instalaciones con personal de la planta con la finalidad de identificar los puntos de muestreo más adecuados para la caracterización de la calidad del agua. Los puntos de muestreo seleccionados de la PTAR Norte se muestran en la Figura 881. Los puntos de muestreo para el análisis de las muestras compuestas (24 h) fueron en el cárcamo de llegada y en el efluente después de la cloración. Para el caso de las muestras simples se analizó el agua residual a la salida de los desarenadores (mezcla), a la salida de los sedimentadores primarios (Tren 1 al 5) y del reactor anaerobio (Tren 6) y a la salida de los sedimentadores secundarios analizando los parámetros de materia orgánica, sólidos y nutrientes. Dentro de los reactores biológicos de lodos activados de flujo pistón se analizaron las concentraciones de SST ySSV. En el efluente de los sedimentadores secundarios (mezcla) se realizó la determinación de toxicidad (Tabla 278).



**Figura 881. Puntos de muestreo**



**Tabla 278. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del agua**

| Punto                                 | 1                   | 2              | 3                             | 4         | 5                        | 6                           | 7         | 8                | 9                        |               |
|---------------------------------------|---------------------|----------------|-------------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|-----------|------------------|--------------------------|---------------|
| Parámetros                            | Descripción         | Influente PTAR | Salida desarenadores (mezcla) | Salida SP | Salida reactor anaerobio | Salida reactores biológicos | Salida SS | Salida mezcla SS | Cárcamo retorno de lodos | Efluente PTAR |
| NOM-001-SEMARNAT-1996                 | pH                  |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | Temp                |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | Materia flotante    |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | Sól. Sed.           |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | CyA                 |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | SST                 |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | DBO                 |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | NT                  |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | PT                  |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | Metales             |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | HH                  |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | CF                  |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
| NOM-001-SEMARNAT-2021 y/o adicionales | DQO                 |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | Toxicidad aguda     |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | Color verdadero     |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | Cianuros            |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | E.Coli              |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | SSV                 |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | Nitratos            |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | Nitrógeno amoniacal |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |
|                                       | Norgánico           |                |                               |           |                          |                             |           |                  |                          |               |



|                  |  |                             |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                             |
|------------------|--|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| Tipo de muestreo |  | Compuesto, 24 h, 6 muestras | Muestreo simple | Muestreo simple | Muestreo simple | Muestreo simple | Muestreo simple | Muestreo simple | Muestreo simple | Compuesto, 24 h, 6 muestras |
|------------------|--|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|

### 46.3.1 Resultados del muestreo compuesto

En la Tabla 279 se muestran los resultados del muestreo compuesto. De acuerdo con el título de descarga la planta descarga sus aguas residuales al Río Pesquería en un 31% y el restante caudal de agua residual es enviado a riego agrícola y para reúso en la industria. Por esta razón existen para la descarga final de esta planta Condiciones Particulares de Descarga (CPD), entre los parámetros que se contemplan se encuentran SST, DBO, NT, PT, entre otros.

**Tabla 279. Resultados de laboratorio de la muestra compuesta y comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y 2021**

| Parámetro         | Unidades | Muestreo compuesto |           | NOM-001-SEMARNAT-1996 | NOM-001-SEMARNAT-2021 | CPD  |
|-------------------|----------|--------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|------|
|                   |          | Influyente         | Efluente  | PM                    | PM                    | PM   |
| pH                | UpH      | 7.39               | 7.0       | 5 - 10                | 6 - 9                 | NA   |
| Tem.              | °C       | 30.5               | 31        | NA                    | 35                    | NA   |
| G y A             | mg/L     | 109.45             | 12.70     | 15                    | 15                    | 15   |
| Material Flotante |          | Presencia          | Presencia | Ausente               | NA                    | NA   |
| S. Sed.           | ml/L     | 12                 | 0.9       | 1                     | NA                    | 1    |
| SST               | mg/L     | 260                | 28.3      | 150                   | 60                    | 150  |
| DBO               | mg/L     | 198                | 5.2       | 150                   | NA                    | 150  |
| NT                | mg/L     | 67.6               | 70.6      | 40                    | 25                    | 40   |
| PT                | mg/L     | 6.99               | 1.6       | 20                    | 15                    | 20   |
| As                | mg/L     | 0.0013             | <0.0010   | 0.2                   | 0.2                   | 0.2  |
| Cd                | mg/L     | <0.030             | <0.030    | 0.2                   | 0.2                   | 0.2  |
| Cu                | mg/L     | 0.11               | <0.050    | 4.0                   | 4.0                   | 1    |
| Cr                | mg/L     | <0.10              | <0.010    | 1.0                   | 1.0                   | 1    |
| Hg                | mg/L     | <0.0005            | <0.0005   | 0.01                  | 0.01                  | 0.01 |
| Ni                | mg/L     | <0.10              | <0.10     | 2.0                   | 2.0                   | 2    |
| Pb                | mg/L     | <0.10              | <0.10     | 0.5                   | 0.2                   | 0.5  |

|                  |            |          |          |      |         |      |
|------------------|------------|----------|----------|------|---------|------|
| Zn               | mg/L       | 0.44     | 0.19     | 10.0 | 10.0    | 10   |
| CF               | NMP/100 ml | 3.91E+07 | 5.61E+03 | 1000 |         | 1000 |
| HH               | H/L        | 0        | 0        | NA   | NA      |      |
| DQO              | mg/L       | 839      | 77.2     |      | 150     |      |
| Escherichia coli | NMP/100 ml | 1.67E+07 | 1.65E+03 |      | 250     |      |
| Color            |            | 4.1      | 1.6      |      | 7.0 m-1 |      |
|                  | 436 nm     | 1.9      | 0.6      |      | 5.0 m-1 |      |
|                  | 525 nm     | 1.2      | 0.4      |      | 3.0 m-1 |      |
|                  | 620 nm     |          |          |      |         |      |

De acuerdo con los resultados obtenidos de caracterización de la descarga final de la PTAR se observa que los parámetros que no cumplen las CPD son los CF y el NT. Para el caso de la NOM-001-SEMARNAT-1996 no hay cumplimiento del material flotante, CF y NT y los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021 son NT y *E. coli*. Esto probablemente es debido a que en el momento de la evaluación de la PTAR se encontró que los sedimentadores primarios no funcionaban adecuadamente, no se encontraban en funcionamiento o no contaban con el desnatador ni la purga de lodos, además de que se observó la falta de mantenimiento, por lo que los sólidos se acumulan y son enviados a los sistemas biológicos de LA, esto hace que haya una sobresaturación de sólidos que no se pueden remover en los sedimentadores secundarios ya que se sobrepasa su capacidad de diseño y por ende cierta parte de los sólidos sale en el efluente de estos sistemas, tal como se puede observar en la Figura 882.



Sedimentadores primarios

Sedimentadores secundarios

**Figura 882. Estado de los sedimentadores en la PTAR Norte**

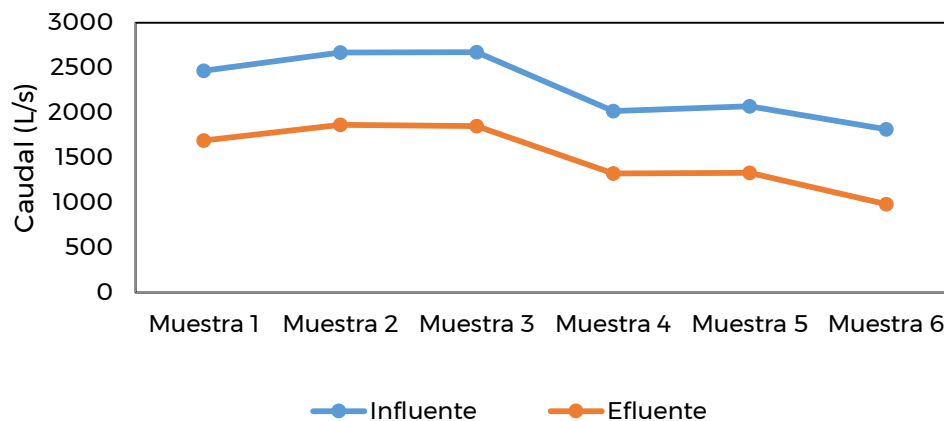
La eficiencia global de tratamiento de acuerdo con los resultados anteriores se muestra en la Tabla 280. Se observa que la planta en las condiciones actuales presenta una buena remoción de materia orgánica, PT y sólidos, éstos últimos a pesar de que en la planta visualmente se observa lo contrario. El NT no es removido en el sistema a pesar de que el reactor biológico cuenta con una zona anóxica, sin embargo, esta no opera adecuadamente debido a que los mezcladores no se encuentran funcionando.

**Tabla 280. Eficiencia de remoción de los principales contaminantes en la PTAR Norte**

| Parámetro        | Remoción (%) |
|------------------|--------------|
| DBO <sub>5</sub> | 97           |

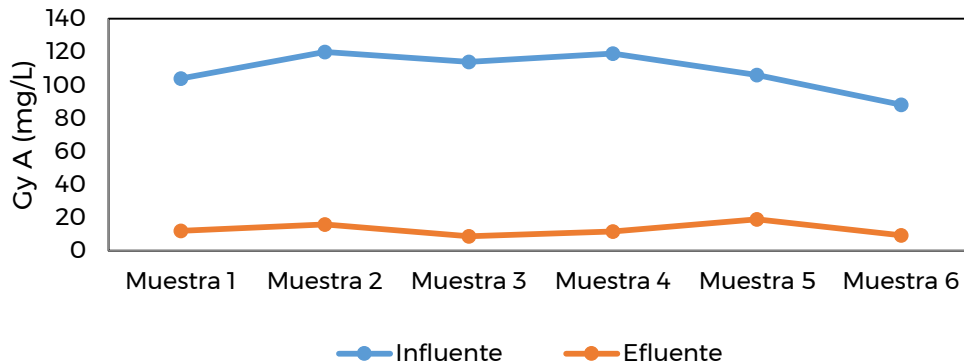
| Parámetro | Remoción (%) |
|-----------|--------------|
| DQO       | 91           |
| NT        | -4           |
| PT        | 77           |
| SST       | 89           |

En la Figura 883 se muestra la variación del caudal durante el muestreo compuesto. El máximo caudal presentado en el influente de la PTAR fue 2,672 L/s y el menor caudal fue 1,815 L/s (promedio 2,285 L/s). El efluente de la planta presentó un caudal promedio de 1,507 L/s. Tanto el influente como el efluente presentaron el mismo comportamiento. El caudal en el influente representa solamente un 57% del caudal total de diseño de la PTAR, es decir, la planta se encuentra subutilizada, lo que probablemente permite alcanzar altas remociones de materia orgánica, sin embargo, cuando la planta se opere con el caudal de diseño se presentarán problemas de eficiencia si se continúa sin atender los problemas operacionales. Los bajos caudales en la entrada probablemente se deban a la escasez de agua en la zona.



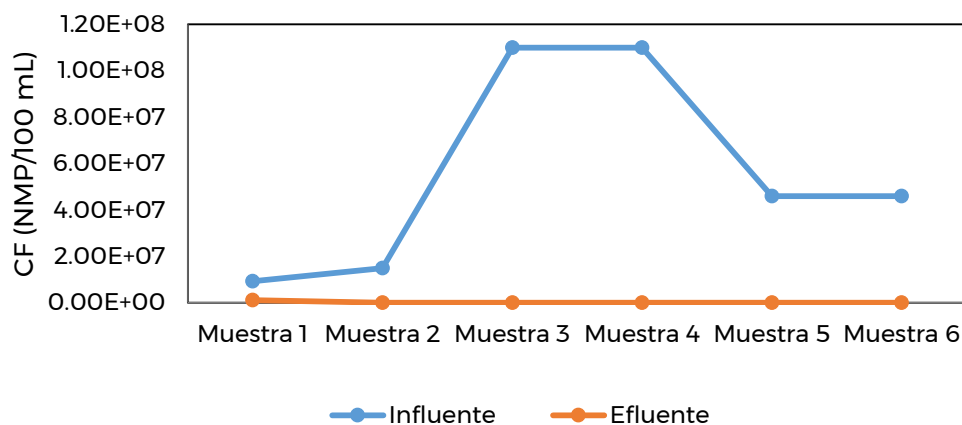
**Figura 883. Variación del caudal en el influente y efluente de la PTAR Norte**

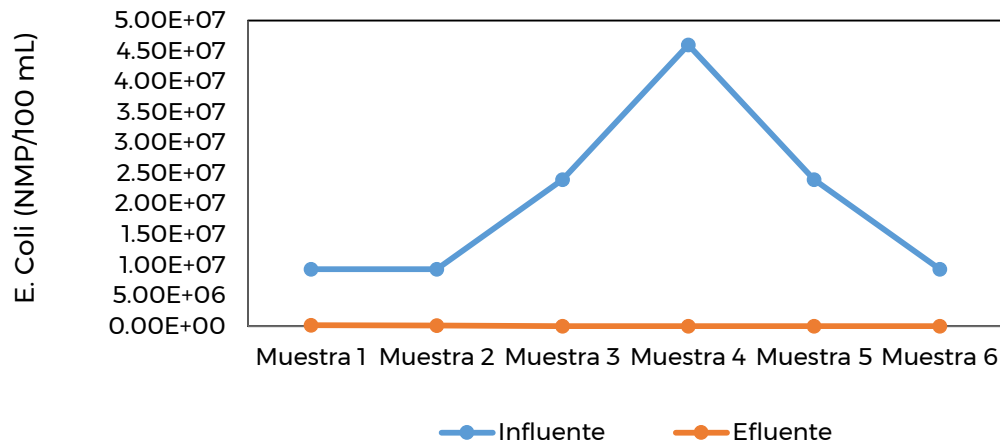
Las GyA tuvieron un comportamiento muy estable tanto en el influente como en el efluente, con las concentraciones menores la muestra 6 la cual fue tomada en la madrugada. La concentración de GyA en el influente de la PTAR se mantuvo en un rango entre 88 a 120 mg/L con un promedio ponderado de 109.45 mg/L. En el efluente la concentración de GyA se encontró en un rango entre 8.65 y 18.9 mg/L con un promedio ponderado de 12.70 mg/L el cual se encuentra dentro de los límites permisibles (15 mg/L) de la NOM-001-SEMARNAT-1996, 2021 y CPD (Figura 884).



**Figura 884. Concentración de GyA en el influente y efluente de la PTAR Norte**

En la Figura 885 se presenta el comportamiento de los CF y *E. coli* durante el muestreo compuesto. Se encontró que en el influente la concentración de CF se presentó en el rango entre  $9.30E+06$  a  $1.10E+08$  NMP/100 mL, mientras que la concentración en el efluente fue de  $4.00E+00$  a  $1.10E+06$  NMP/100 mL. Para la *E.coli* la concentración en el influente se mantuvo en un rango entre  $9.30E+06$  a  $4.60E+07$  NMP/100 mL y en el efluente en un rango entre  $3.00E+00$  a  $1.50E+05$  NMP/100 mL. Los valores de concentración de CF y *E.coli* en el efluente (media geométrica:  $5.61E+03$  y  $1.65E+03$ , respectivamente) fueron mayores a los permitidos por la normatividad aplicable. Los mayores valores tanto de CF como de *E.coli* se obtuvieron en la muestra 1, tomada al tiempo que se hacía la observación de la presencia de sólidos en el efluente de los sedimentadores secundarios.



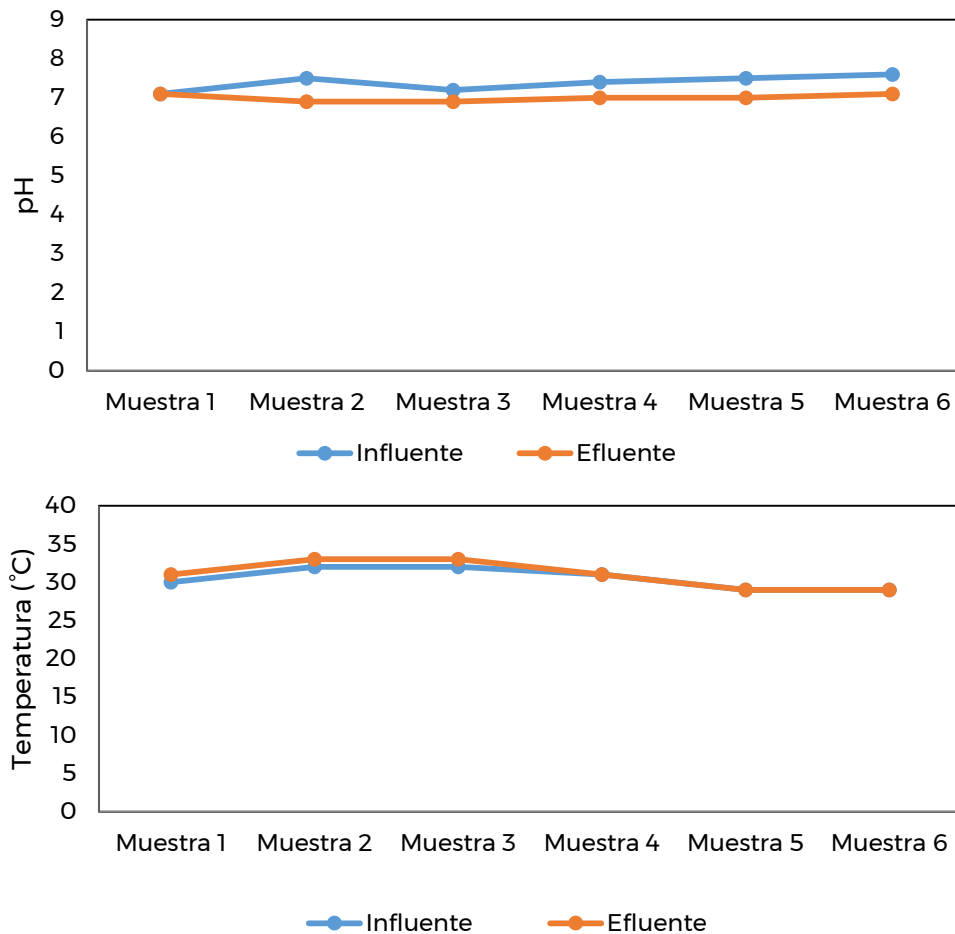


**Figura 885. Variación de CF y *E.coli* en el influente y efluente de la PTAR Norte**

El pH y temperatura tanto en el influente como en el efluente presentaron un comportamiento estable (Figura 886). El pH en el influente presentó valores en un rango entre 7.1 a 7.6 (promedio 7.38) y en el efluente presentó valores en un rango entre 6.9 a 7.1 (promedio 7). Estos valores son adecuados para el desarrollo de los microorganismos dentro de los sistemas biológicos y se encuentran dentro de los límites permisibles de la normatividad.

La temperatura tanto en el influente como en el efluente se mantuvo en un rango de valores entre 29 a 33°C con valores promedio de 30.5 y 31°C en el influente y efluente, respectivamente.





**Figura 886. Variación del pH y temperatura en el influente y efluente de la PTAR Norte**

En la Figura 887 se presentan los resultados de la toxicidad determinada durante el muestreo compuesto. Como se puede observar en la gráfica la Concentración Letal media ( $CE_{50}$ ) en el influente se presentó en un rango entre 3.582 y 25.225%, lo que corresponde a 27.917 y 3.964 UT, respectivamente.

Con respecto a la toxicidad en el efluente esta se encontró en un rango de valores entre sin toxicidad a 4.853 UT. De acuerdo con lo que marca la NOM-001-SEMARNAT-2021 se deben reportar los valores de toxicidad de todas las muestras a los 15 min, en este sentido para la muestra 1, 2, 3, 4, 5 y 6 los valores de toxicidad fueron NA, 2.342, 3.063, 4.43, 3.371 y NA, respectivamente (NA: No aplica debido a que  $CE_{50}$ : Toxicidad no detectada), por lo que se rebasan el límite permisible de la NOM-SEMARNAT-2021.

En un análisis realizado al efluente de los sedimentadores secundarios (mezcla antes de entrar al tanque de cloración) se encontró que para todas las muestras (se tomaron seis muestras) no se detectó  $CE_{50}$  (Toxicidad no detectada) por lo que no se presenta toxicidad. Esto puede significar que probablemente la toxicidad que se encontró en el efluente del tanque de cloración se deba a subproductos del cloro tales como los

compuestos organoclorados o cloramidas que se forman por la presencia de sólidos en el agua residual.

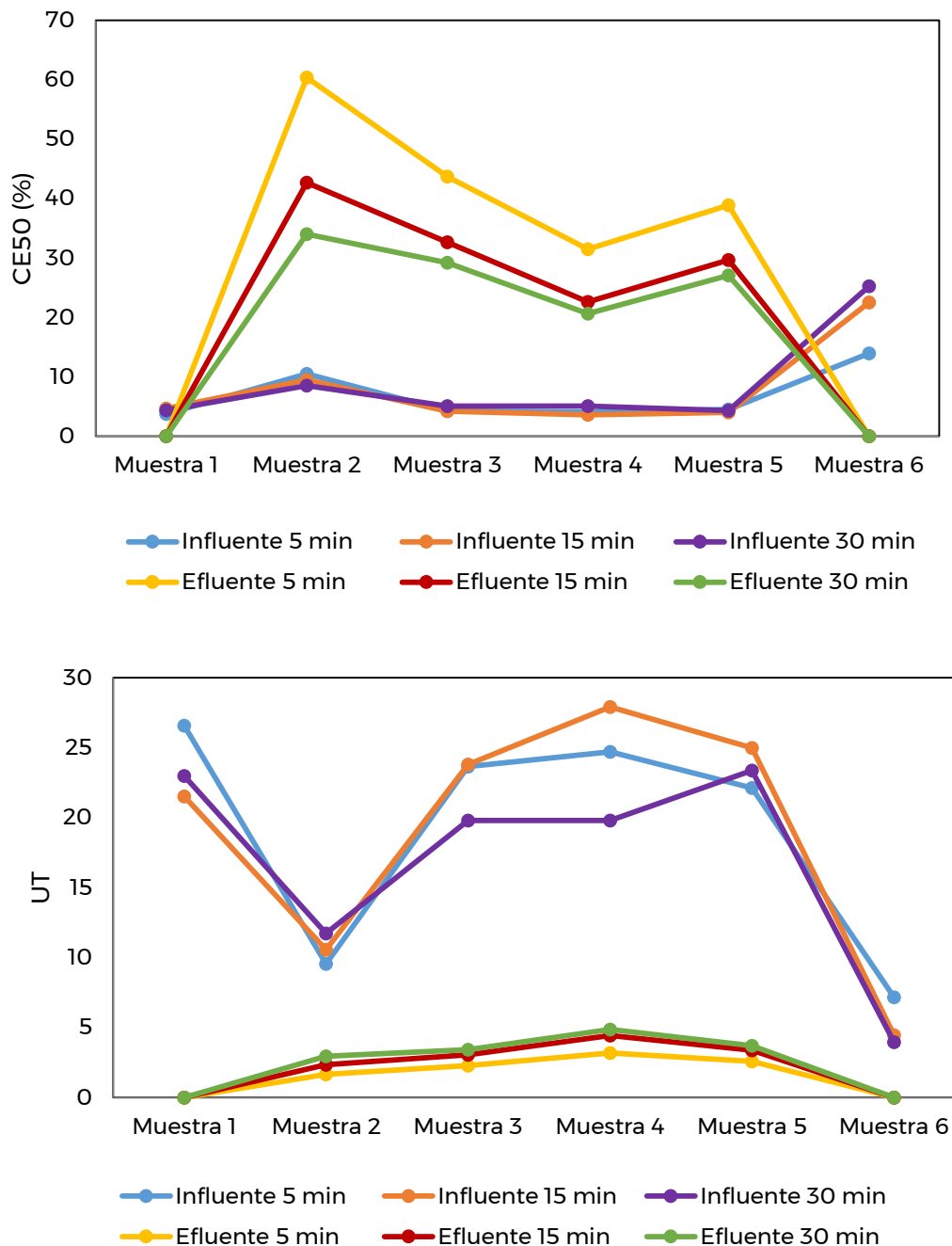


Figura 887. Variación de la toxicidad (*Vibrio fischeri*) en el influente y efluente de la PTAR Norte

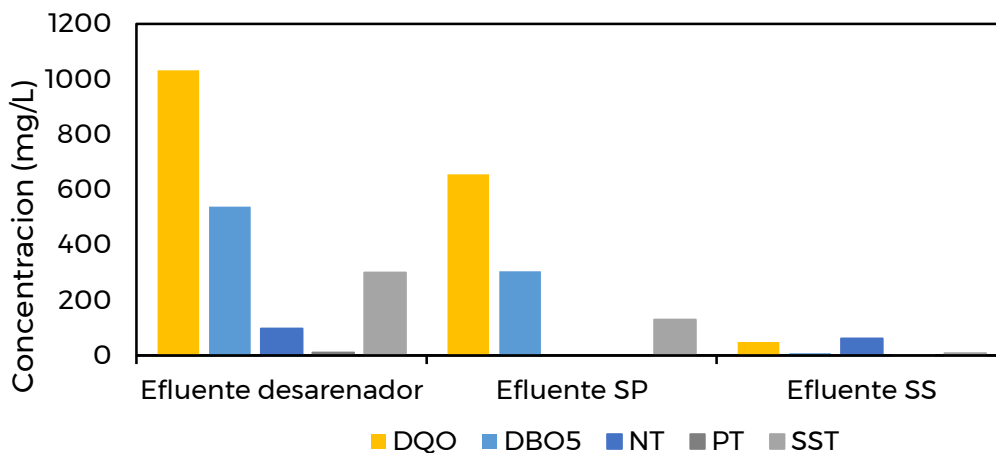
### 46.3.2 Resultados del muestreo simple

Se realizó el monitoreo del agua residual a través de los seis trenes de tratamiento. Los trenes 1 a 5 están conformados por un sedimentador primario, un reactor doble de lodos activados de flujo pistón y un sedimentador secundario. El tren de tratamiento 6 consta de un reactor anaerobio, un reactor de lodos activados y un sedimentador secundario.

En las Figura 888 a la Figura 893 se presenta el comportamiento de la DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, PT y SST en cada etapa de los diferentes trenes de tratamiento de la PTAR Norte. Debido a que el influente se distribuye de forma homogénea en los cuatro trenes de tratamiento, los valores de cada parámetro en el influente (efluente del desarenador en este caso que es el que ingresa directamente a los trenes de tratamiento) son los mismos (1032, 538, 96.7, 10.13 y 300 mg/L de DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, PT y SST, respectivamente).

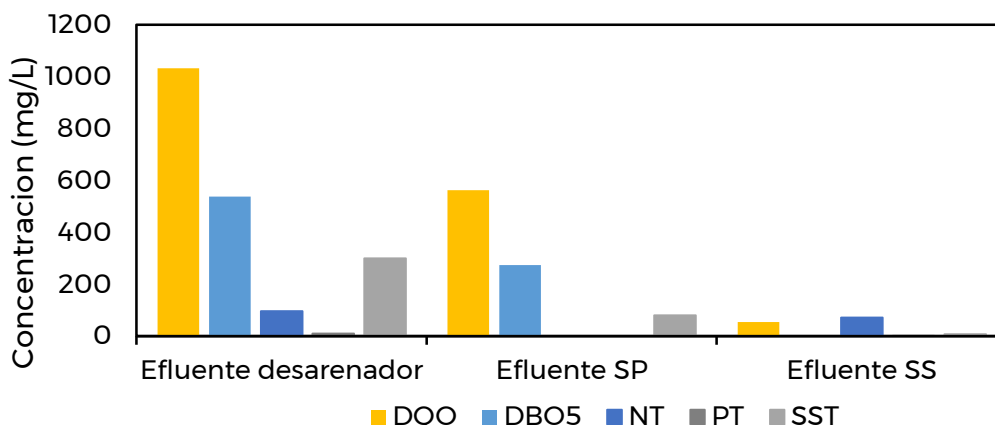
Los trenes de tratamiento 1 al 5 presentan el mismo comportamiento, se observa que la mayor parte de la materia orgánica, sólidos y nutrientes se remueven en el reactor biológico, sin embargo, una parte de dichos parámetros (36-70%) se remueve en el sedimentador primario.

En el tren de tratamiento 1 el efluente presenta valores a la salida del sedimentador de 48.4, 8.2, 61.5, 0.89 y 7.67 mg/L de DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, PT y SST, respectivamente.



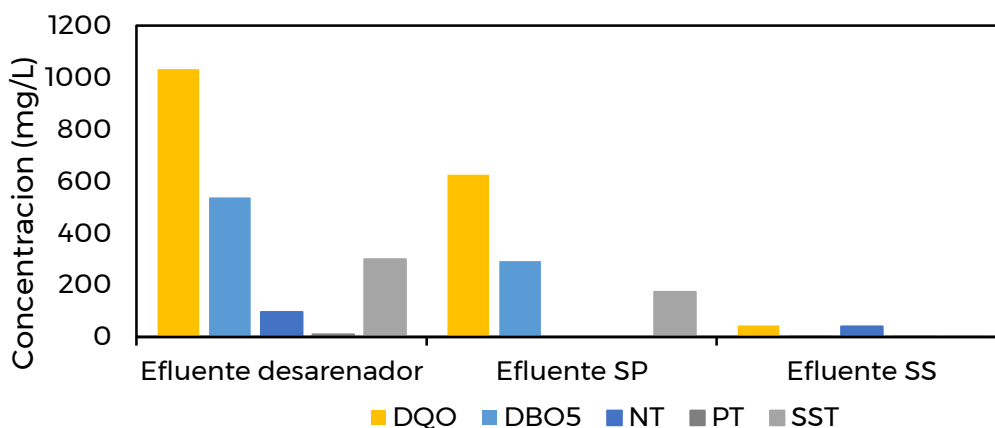
**Figura 888. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 1**

El Tren de tratamiento 2 presenta remociones del 45, 49 y 73% de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST, respectivamente en el sedimentador primario, mientras que en el sedimentador secundario se presentan valores finales de 54.7, 4.5, 71.7, 0.63 y 8 mg/L para la DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, PT y SST, respectivamente.



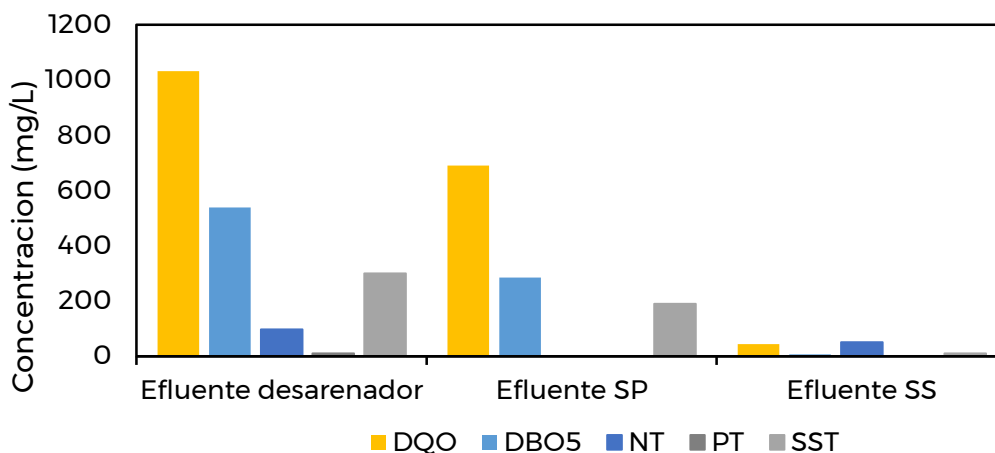
**Figura 889. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 2**

En el Tren de tratamiento 3 el efluente del sedimentador primario presenta valores de 690, 285 y 190 mg/L DQO, DBO<sub>5</sub> y SST, respectivamente. En el efluente del sedimentador secundario se obtienen valores de DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, PT y SST de 45.1, 5.9, 40.8, 0.3 y 4.4 mg/L, respectivamente.



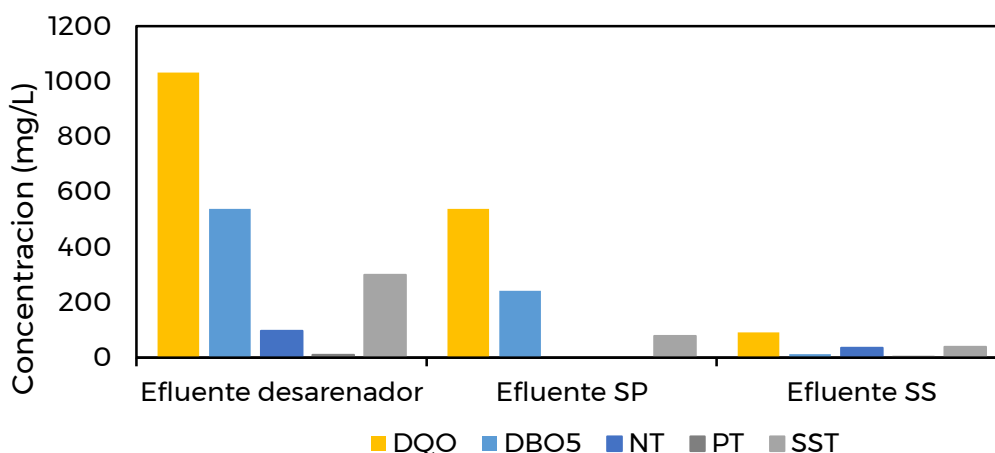
**Figura 890. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 3**

En el Tren de tratamiento 4 los valores finales de DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, PT y SST fueron 43.7, 6.2, 50.6, 0.57 y 10 mg/L.



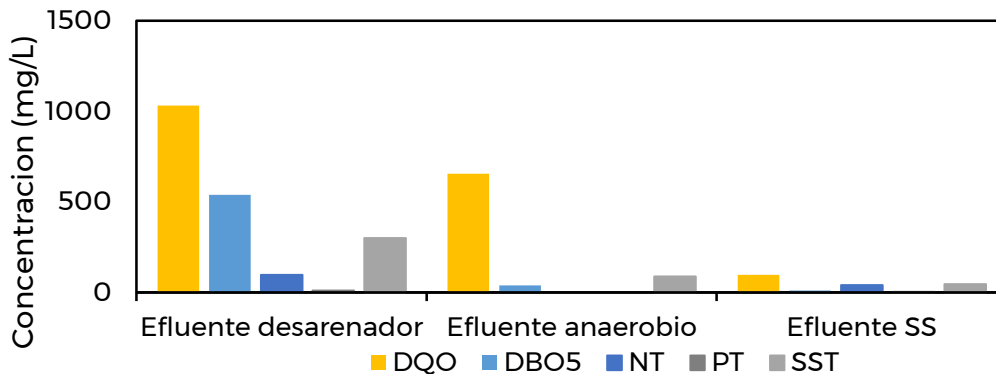
**Figura 891. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 4**

En el Tren de tratamiento 5 se obtiene la mayor remoción de SST con un valor en el efluente del sedimentador primario de 78 mg/L (74%). La DQO presenta un valor de 539 mg/L en el efluente del sedimentador primario y 91.2 mg/L en el sedimentador secundario. La DBO<sub>5</sub> presenta valores de 242 mg/L en el efluente del sedimentador primario y de 12 mg/L en el efluente del sedimentador secundario.



**Figura 892. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 5**

El Tren de tratamiento 6 presenta una concentración de DQO en el efluente del reactor anaerobio de 656 mg/L y posteriormente en el efluente del sedimentador secundario se obtiene un valor de 97.5 mg/L. El efluente del sedimentador secundario en este tren de tratamiento presenta valores de DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, PT y SST de 97.5, 11, 40.9, 2.36 y 46 mg/L, respectivamente.



**Figura 893. Comportamiento de los principales contaminantes en el Tren de tratamiento 6**

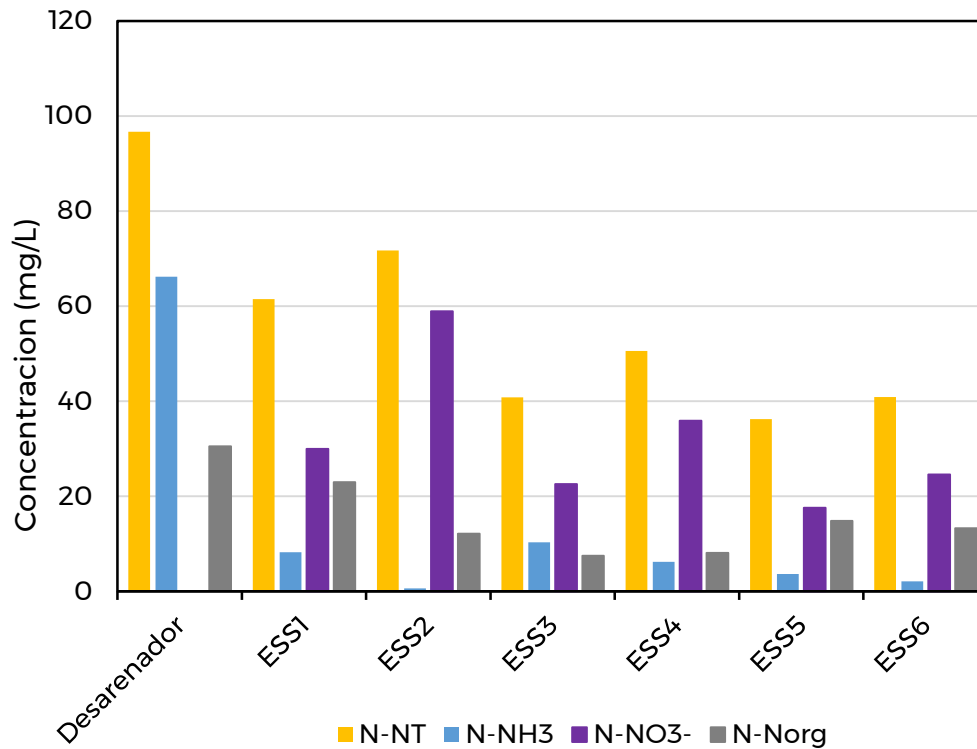
En la Tabla 281 se presenta la eficiencia de remoción global en los trenes de tratamiento. Se observa que en general los trenes 1 al 4 se comportan de forma similar alcanzando remociones de 95 al 96% para DQO y de 98 al 99% para DBO<sub>5</sub>. Los trenes de tratamiento 5 y 6 a pesar de ser diferentes con respecto a sus unidades de tratamiento presentan remociones muy similares.

Con respecto al nitrógeno se presentan bajas remociones considerando que los tratamientos 1 al 5 son sistemas con una zona anóxica, sin embargo, esto se debe a la falta de mezclado en dicha zona y al exceso de sólidos presentes. Lo anterior puede comprobarse con las altas concentraciones de nitratos en los reactores (Figura 894).

Las remociones alcanzadas en todos los trenes son altas debido a la subutilización de la PTAR puesto que trabaja con caudales menores a los de diseño.

**Tabla 281. Eficiencia de remoción global de los trenes de tratamiento**

| Parámetro | Remoción (%) |        |        |        |        |        |
|-----------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           | Tren 1       | Tren 2 | Tren 3 | Tren 4 | Tren 5 | Tren 6 |
| DQO       | 95%          | 95%    | 96%    | 96%    | 91%    | 91%    |
| DBO5      | 98%          | 99%    | 99%    | 99%    | 98%    | 98%    |
| NT        | 36%          | 26%    | 58%    | 48%    | 63%    | 58%    |
| PT        | 91%          | 94%    | 97%    | 94%    | 71%    | 77%    |
| SST       | 97%          | 97%    | 99%    | 97%    | 87%    | 85%    |



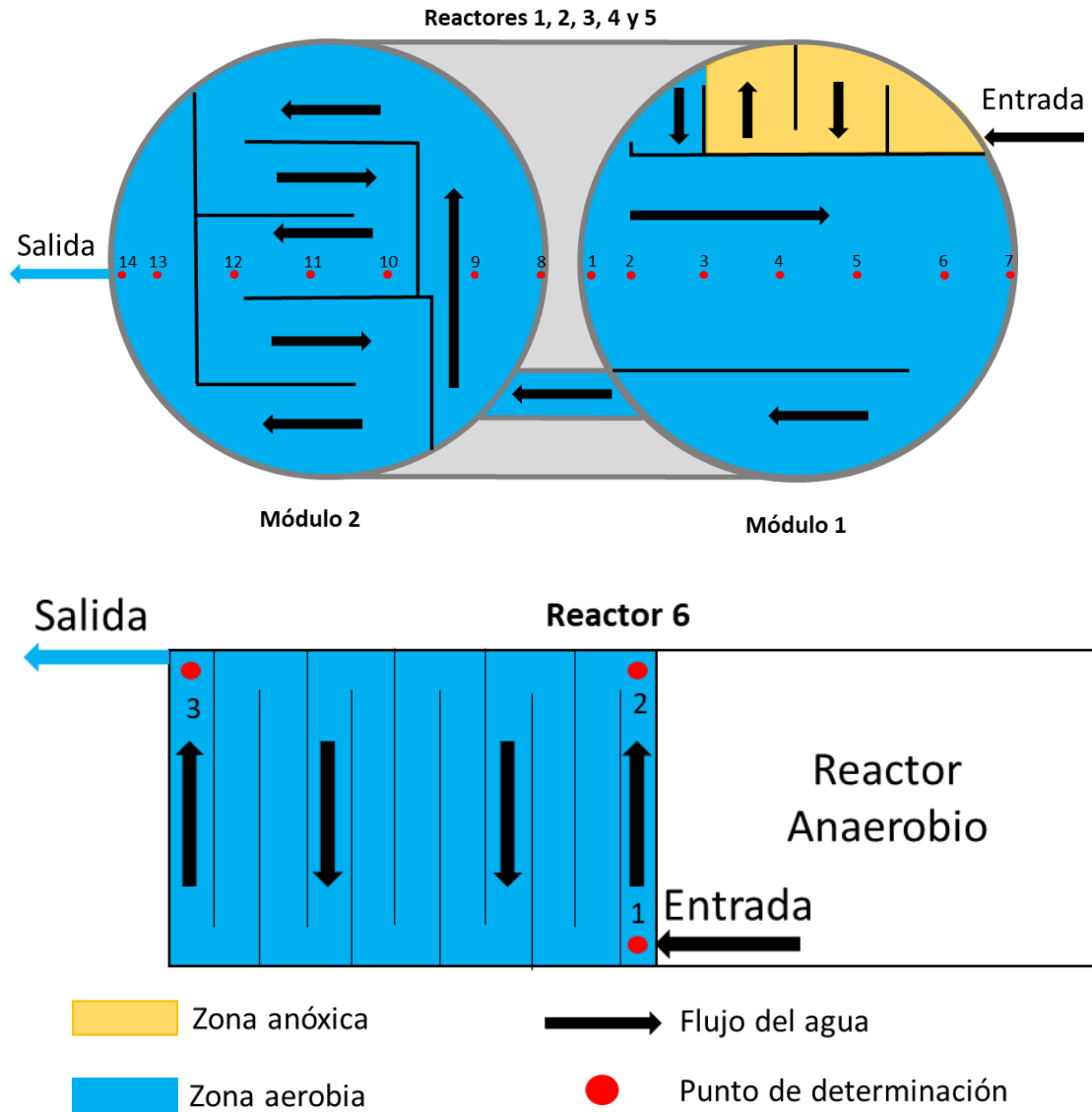
**Figura 894. Comportamiento de las formas de nitrógeno en los Trenes de tratamiento**

### 46.3.3 Determinaciones de campo

#### a) Perfil de pH y Oxígeno disuelto en los reactores biológicos

En la memoria de cálculo inicial de la PTAR Norte en se consideró la construcción de seis reactores biológicos, con una configuración circular y conformado por dos módulos, como se muestra en la Figura 895, sin embargo, solo se construyeron cinco.

Posteriormente, en 2016 se procedió a desarrollar la memoria de cálculo para la construcción de un módulo de 1,000 L/s (Reactor 6), que consideró un reactor anaerobio seguido de uno aerobio en configuración de flujo pistón (Figura 895).



**Figura 895. Conformación de reactores biológicos**

Adicionalmente, los reactores biológicos del 1 al 5 cuentan con un puente en la parte central de cada módulo, como se muestra en la Figura 896.





**Figura 896. Puente en reactores biológicos del 1 al 6.**

Debido a la configuración de los reactores (1 a 5), no se puede dar un seguimiento del perfil de pH y OD de acuerdo con el flujo del agua, por lo que se decidió utilizar el puente que está situado en la parte media de los reactores para realizar las determinaciones. Esto solo permitió monitorear la parte aerobia, ya que la parte anóxica que no presenta un acceso seguro para las determinaciones.

Es conveniente citar que en el reactor biológico cuatro y en el puente del módulo 1, se encuentra con cinta de peligro, lo que limita su acceso, por lo que no se realizaron las determinaciones.

La distancia entre cada uno de los puntos para las determinaciones fue de 10 m, a excepción de los puntos 1 y 2, y 13 y 14, que fue de 5 m (Figura 895).

En el reactor 6, que se diseñó con otra configuración, el acceso fue aún más complicado, por lo que solo se determinaron en tres puntos, que se muestran en la Figura 895.

Los resultados de las determinaciones de pH y OD se muestran en la Tabla 282.

**Tabla 282. Resultados de las determinaciones de pH y OD**

| Punto | Reactor 1 |      | Reactor 2 |      | Reactor 3 |      | Reactor 4   |    | Reactor 5 |      | Reactor 6 |      |
|-------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-------------|----|-----------|------|-----------|------|
|       | pH        | OD   | pH        | OD   | pH        | OD   | pH          | OD | pH        | OD   | pH        | OD   |
| 1     | 7.45      | 0.27 | 7.40      | 0.16 | 7.52      | 0.33 | Zona segura | no | 7.24      | 0.18 | 7.36      | 0.61 |
| 2     | 7.44      | 0.31 | 7.39      | 0.20 | 7.52      | 0.23 |             |    | 7.24      | 0.30 | 7.28      | 1.00 |
| 3     | 7.44      | 0.37 | 7.30      | 0.39 | 7.51      | 0.24 |             |    | 7.24      | 0.54 | 7.05      | 0.30 |
| 4     | 7.44      | 0.35 | 7.30      | 0.62 | 7.52      | 0.39 |             |    | 7.23      | 0.41 |           |      |
| 5     | 7.42      | 0.34 | 7.30      | 0.46 | 7.51      | 0.38 |             |    | 7.21      | 0.41 |           |      |

| Punto | Reactor 1 |      | Reactor 2 |      | Reactor 3 |      | Reactor 4 |      | Reactor 5 |      | Reactor 6 |    |
|-------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|----|
|       | pH        | OD   | pH        | OD   | pH        | OD   | pH        | OD   | pH        | OD   | pH        | OD |
| 6     | 7.41      | 0.55 | 7.31      | 0.67 | 7.51      | 0.32 |           |      | 7.17      | 0.36 |           |    |
| 7     | 7.39      | 0.49 | 7.29      | 0.62 | 7.49      | 0.43 |           |      | 7.14      | 0.47 |           |    |
| 8     | 7.26      | 0.27 | 7.17      | 0.17 | 7.27      | 0.30 | 7.29      | 0.64 | 7.13      | 0.28 |           |    |
| 9     | 7.25      | 0.22 | 7.07      | 0.36 | 7.20      | 0.31 | 7.20      | 0.22 | 7.18      | 0.18 |           |    |
| 10    | 7.25      | 0.16 | 7.06      | 0.25 | 7.20      | 0.23 | 7.20      | 0.33 | 7.17      | 0.50 |           |    |
| 11    | 7.26      | 0.19 | 7.07      | 0.35 | 7.20      | 0.13 | 7.19      | 0.32 | 7.16      | 0.40 |           |    |
| 12    | 7.27      | 0.20 | 7.05      | 0.21 | 7.20      | 0.14 | 7.19      | 0.24 | 7.16      | 0.23 |           |    |
| 13    | 7.33      | 0.26 | 6.97      | 0.24 | 7.20      | 0.36 | 7.12      | 0.25 | 7.19      | 0.08 |           |    |
| 14    | 7.33      | 0.23 | 6.97      | 0.30 | 7.20      | 0.39 | 7.13      | 0.44 | 7.20      | 0.05 |           |    |

El objetivo de realizar estas determinaciones es el de conocer si se lleva a cabo la nitrificación y desnitrificación en el reactor biológico.

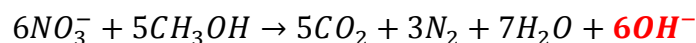
Los reactores biológicos del 1 al 5 presentan en su inicio una zona o celda anóxica, por lo que el proceso fue acondicionado para eliminar nitrógeno. Así, en primer lugar, en el proceso de desnitrificación se produce alcalinidad por lo que el pH del agua a la salida de esta zona debe subir levemente con relación al de entrada. En segundo lugar, en la zona de aeración se da el proceso de nitrificación, el cual consume alcalinidad, por la que el pH a la salida de este proceso será menor.

Bajo esta premisa, el comportamiento del pH en el reactor biológico se relaciona directamente con las reacciones en las que está presente el nitrógeno; nitrificación y desnitrificación.

Nitrificación (condición ácida,  $H^-$ )



Desnitrificación (condición alcalina,  $OH^-$ )

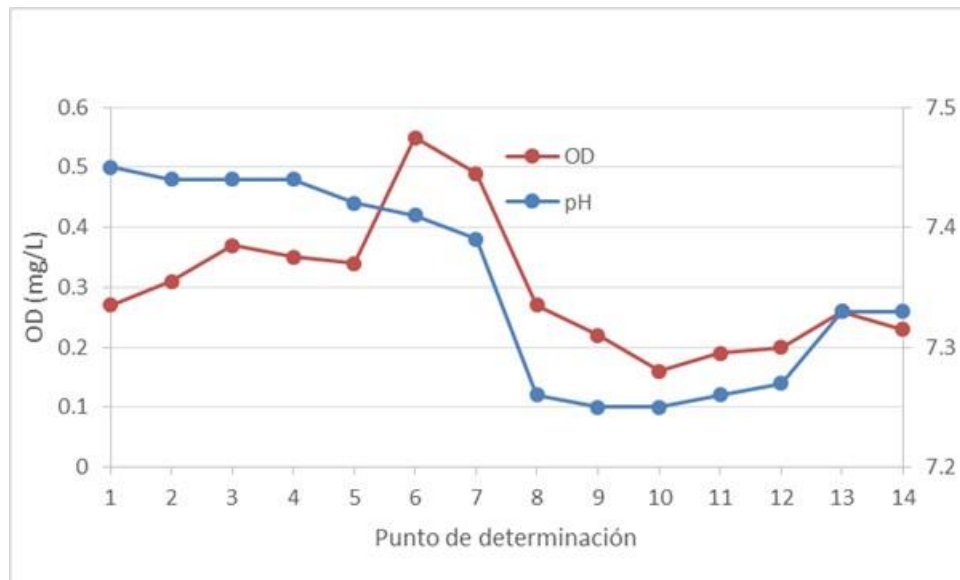


Así, el pH dentro de la zona anóxica será de menos a más, o por lo menos casi igual (aumentará), y en la zona de aeración de más a menos (disminuirá).

En relación con la presencia de oxígeno disuelto (OD) en el reactor biológico, la concentración de OD en la zona anóxica debe estar en un rango de 0.1 a 0.3 mg/L y en la zona de aeración debe ir de más a menos, debido a que en un inicio se tiene mayor carga orgánica y por tanto una mayor demanda de oxígeno y casi al final la demanda disminuye porque ya no hay materia orgánica que oxidar, y de acuerdo a la literatura se recomienda que se tenga un residual de aproximadamente 2 mg/L.

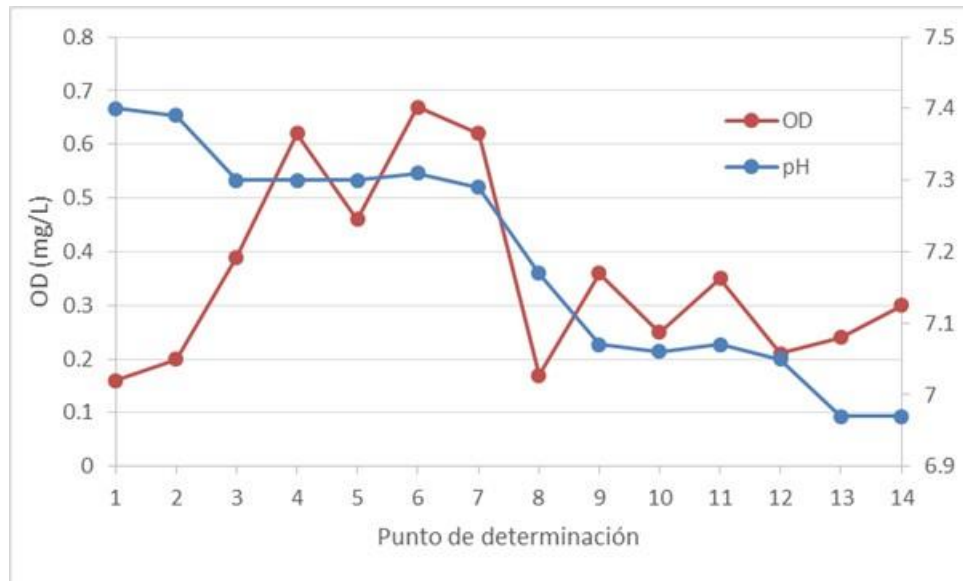
Pero en este caso en particular, PTAR Norte, no se contaba con un acceso seguro a la parte anóxica del reactor biológico, por lo que no se pudieron realizar estas mediciones. Por lo tanto, solo se realizará una discusión de las mediciones que se determinaron en la parte aerobia.

Tomando como referencia los comentarios anteriores, en el reactor biológico (RB) 1, del punto 1 al 10, se aprecia claramente una tendencia de disminución de pH, de 7.45 a 7.25, lo que indica que el reactor está nitrificando correctamente, sin embargo, del punto 11 al 14 se parecía un aumento, en donde el OD está alrededor de los 0.2 mg/L, lo que indica que el proceso está presentando condiciones anóxicas. En otras palabras, en la última zona de reactor biológico el sistema de aeración opera con deficiencias (Figura 897).



**Figura 897. Perfil de pH y OD del reactor biológico 1**

El perfil de pH en el RB 2, muestra un descenso de aproximadamente 0.4 unidades, entre la entrada y la salida, lo que muestra una buena nitrificación (Figura 898).

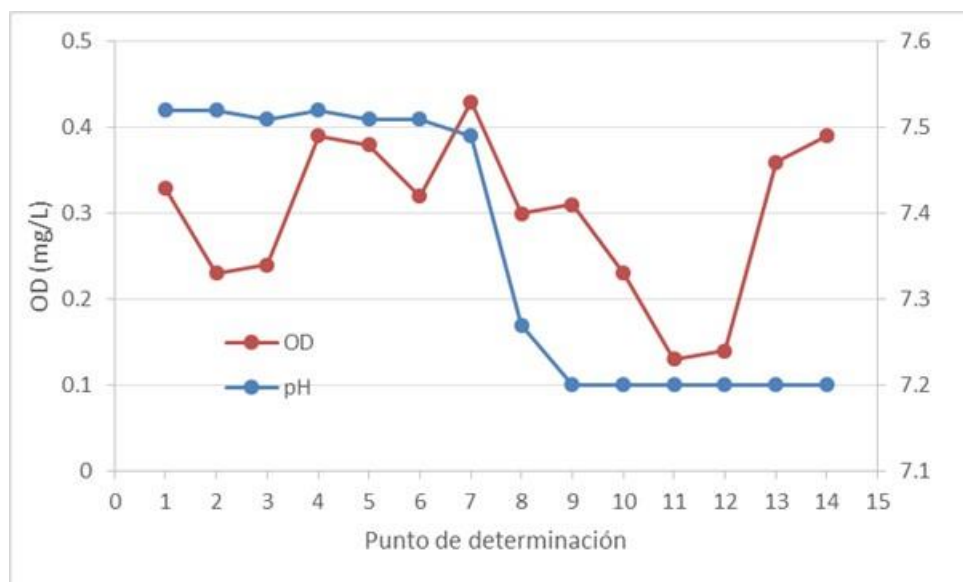


**Figura 898. Perfil de pH y OD del reactor biológico 2**

Para el OD, si bien en el módulo 1 se observa un incremento, de 0.2 a 0.7 mg/L, conforme se avanza en el flujo del agua, este se ve disminuido en el módulo 2, que en promedio es de 0.3 mg/L. Esto implica, que el sistema de aeración es deficiente en éste.

En el RB 3, si bien en general tiene un descenso de pH, de 7.5 a 7.2 unidades, dentro de los módulos no se aprecia un cambio significativo, que indique que el proceso este nitrificando (Figura 899. ).

Por otra parte, la tendencia del OD en el RB es muy irregular, lo que indica que el sistema de aeración, en algunas zonas puede tener problemas de taponamiento en las líneas o en los propios difusores (Figura 899).



**Figura 899. Perfil de pH y OD del reactor biológico 3**

En el RB 4, como se comentó solo se realizaron las determinaciones en el módulo 2 por cuestiones de seguridad.

Se observa una disminución de pH de 7.3 a 7.1 unidades, lo que indica que se desarrolla la nitrificación (Figura 900).

En relación al OD, la tendencia es bastante irregular, mostrando que la distribución del aire no es homogénea (Figura 900).

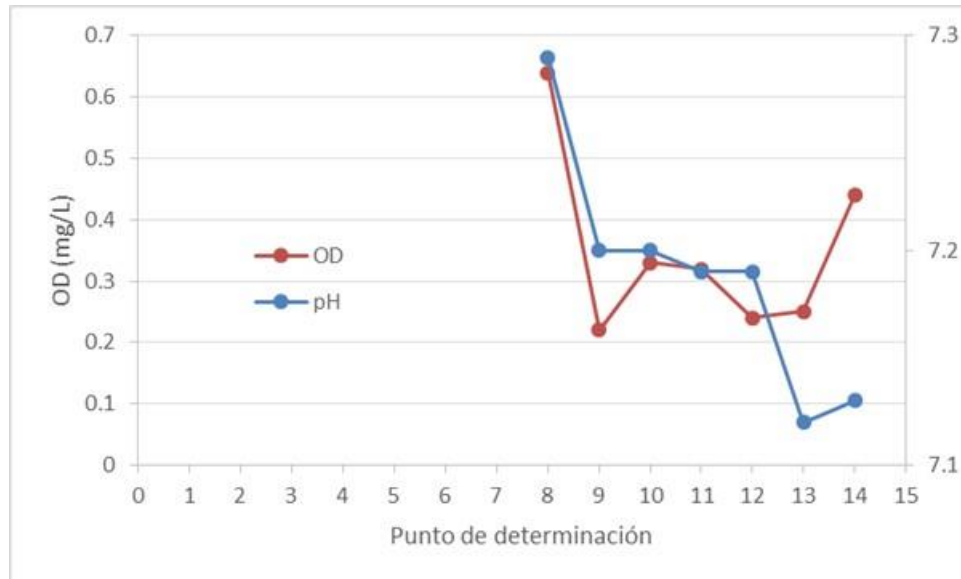
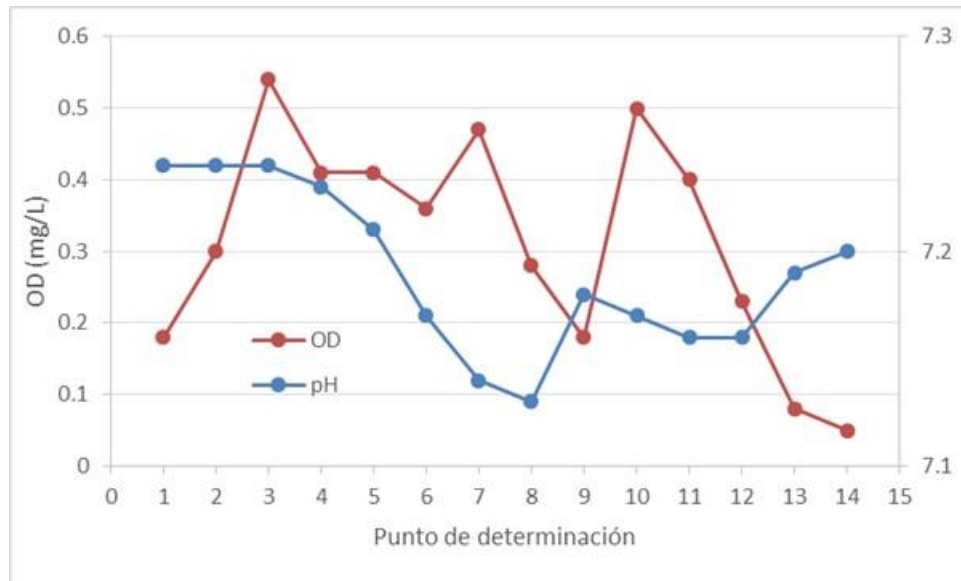


Figura 900. Perfil de pH y OD del reactor biológico 4

Para el RB 5 del puto 1 al 8, se observa claramente la tendencia de descenso de pH, mostrando una buena nitrificación, pero en el 9 aumenta, para disminuir ligeramente hasta el punto 12, nuevamente se da la nitrificación. Sin embargo, en los puntos 13 y 14 el pH tiene un aumento de 7.16 a 7.20. Los aumentos de pH, coinciden con los valores más bajos de OD, menores a 0.2 mg/L. Lo que indica condiciones anóxicas. Además, las concentraciones de OD en el reactor son bastante irregulares, lo que muestra nuevamente problemas de difusión o distribución de aire (Figura 901).



**Figura 901. Perfil de pH y OD del reactor biológico 5**

Finalmente, en el RB 6, aunque solo se pudieron realizar tres determinaciones, se aprecia un descenso de pH de 0.31 unidades, indicando que es posible que se desarrolle la nitrificación.

En términos generales, se observa que el sistema de difusión en los reactores biológicos no se encuentra en condiciones óptimas, lo que ocasiona que en ciertas zonas se presenten condiciones anóxicas. Además, la concentración de oxígeno disuelto en los reactores biológicos en promedio oscilo entre 0.30 a 0.36 mg/L, lo que está muy lejos de lo recomendado por la literatura, que es de 2.0 mg/L. Todo esto puede influir de una manera negativa en el proceso de nitrificación, por la falta de oxígeno.

#### **46.4 Influencia industrial**

De acuerdo con una revisión realizada en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) se encontró una gran variedad de industrias que aportan sustancias tóxicas al alcantarillado. En la Figura 902 se observan las sustancias que se reportaron en las descargas del RECT en el año 2020.



**Figura 902. Sustancias transferidas al alcantarillado de Monterrey en el año 2020 (RECT)**

De acuerdo con la información proporcionada por personal de la PTAR, la SADM revisa y analiza las descargas de las industrias y solicita se realicen las modificaciones o ajustes con la finalidad de que no impacten negativamente las descargas de aguas residuales industriales a su llegada a la planta. Sin embargo, a pesar de tener identificadas las 192 industrias que descargan en la red de la PTAR Norte no se cuenta con la infraestructura adecuada para monitorear todas las descargas. En la Figura 903 se presentan los tipos de descargas industriales que recibe la PTAR Norte, de las cuales se observa que el mayor número corresponde a la industria restaurantera (23%), alimenticia (18%) y carnicera (13%).

Estas descargas concuerdan con las relaciones DBO/DQO (entre 0.3 y 0.5) mostradas en los parámetros históricos que mencionan una probable influencia industrial.

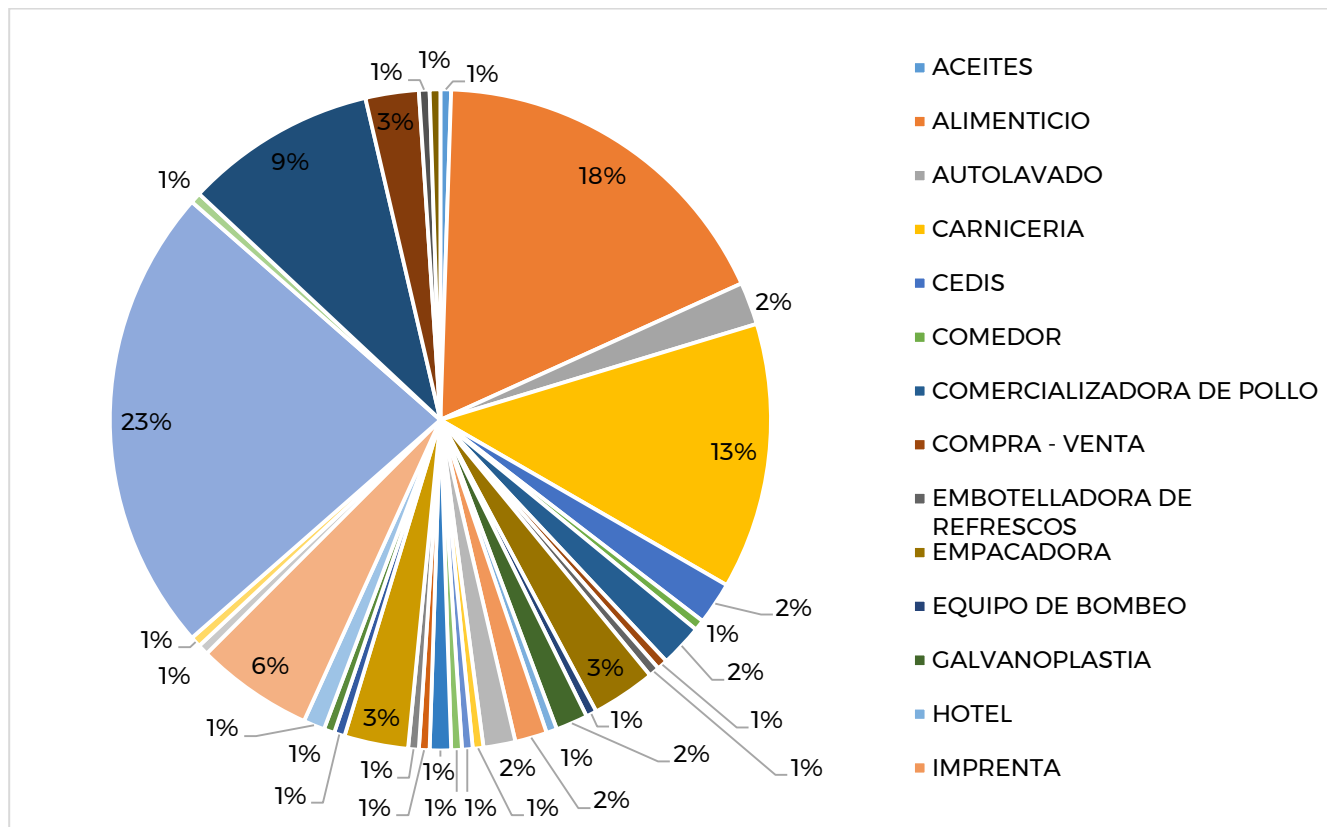


Figura 903. Tipos de descargas industriales PTAR Norte



## **47 DIAGNÓSTICO DE PERSONAL**

### **47.1 Recursos Humanos**

A continuación, se presenta el resultado del análisis del personal que labora en la PTAR Norte. Esta información corresponde a la obtenida a través del FORMATO 03. RECURSOS HUMANOS que se encuentra en el

Anexo K.

La plantilla de la PTAR está conformada por 84 personas:

- 8 administrativos
- 30 operadores
- 43 mantenimiento
- 2 laboratorio
- 1 otros puestos (chofer)

El 88% del personal administrativo tiene licenciatura y sobre la antigüedad 3 (38%) tienen 5 años y 5 (62%) menos de 5 años.

De las 38 personas operativas: 3 (8%) tienen licenciatura, 14 (37%) tienen preparatoria o carrera técnica y 13 (34%) secundaria, sobre la antigüedad 4 (11%) tienen más de 20 años, 7 (18%) de 10 a 20 años y 9 (21%) de 5 a 10 años y 23 (53%) menos de 5 años.

De 43 personas de mantenimiento: 7 (16%) tienen licenciatura, 18 (42%) preparatoria o carrera técnica, 18 (42%) con secundaria, de los cuales 7 (16) tienen más de 20 años de antigüedad, 4 (9%) de 10 a 19 años, 9 (21%) de 9 a 5 años y 23 (53%) menos de 5 años.

El personal de laboratorio son 2 personas una con licenciatura y otro con preparatoria, con una antigüedad mayor a 5 años.

Esto demuestra que con el paso del tiempo el personal ha ido cambiando y renovando su personal, sobre todo en los últimos 5 años.

En resumen, se puede establecer que el personal cuenta con la experiencia básica para poder trabajar en una planta de tratamiento de aguas residuales, ya que la mayoría es personal nuevo, sin embargo, es necesario mantener al personal y capacitarlo para que opere de forma adecuada la PTAR.

## **47.2 Evaluación de conocimientos**

Este apartado es resultado de la aplicación del Formato 04. Evaluación de conocimientos. El cual permite determinar lo siguiente:

- Administrador del proceso; debido a los años de experiencia presenta muy buenos conocimientos técnicos y conoce la PTAR.
- Operador de proceso 1; presenta buenas bases en conocimientos básicos y generales, así como técnicos. Conoce muy bien la PTAR.
- Operador de proceso 2; presenta buenas bases en conocimientos básicos, generales y técnicos. Conoce muy bien la PTAR.
- Operador de proceso 3; buenos conocimientos en temas básicos, técnicos y generales, además, de conocer bien la PTAR.
- Operador de proceso 4; Presenta conocimientos regulares en temas básicos y generales. Tiene conocimiento de los procesos de la PTAR.

Es importante mencionar que los responsables de la PTAR cuentan con la experiencia y conocimientos suficientes para su operación, además de tener estudios de licenciatura.

## **47.3 Capacitación**

### **47.3.1 Cursos de capacitación recibidos**

A continuación, se citan los cursos que ha recibido el personal en los últimos tres años:

- Administrador del proceso; Fundamentos para el tratamiento de aguas residuales.
- Operador de proceso 1; Manejo y operación de PTAR, tratamiento, aprovechamiento y disposición de lodos biológicos en PTARs.
- Operador de proceso 2; tratamiento de lodos activados y tratamiento de aguas residuales.
- Operador de proceso 3; Ninguno.
- Operador de proceso 4; Fundamentos para el tratamiento de aguas residuales.

### **47.3.2 Temas de capacitación solicitados**

De acuerdo con la información recolectada el personal de la PTAR mencionó algunos cursos de capacitación de su interés, los cuales se desglosan a continuación:

- Operador de proceso 2; Actualización en tratamiento de aguas, equipos para tratamiento y manejo y disposición de lodos.
- Operador de proceso 3; Cloración y fundamentos para el tratamiento de aguas residuales.

A pesar de que el administrador del proceso y dos operadores no mencionaron algún curso de capacitación, se considera que es necesario implementar un programa de capacitación continua a todo el personal que labora en la PTAR, para tener un mejor

entendimiento del funcionamiento de la planta y con ello programar acciones de mantenimiento y mejora de la PTAR.

### 47.3.3 Material didáctico entregado

Para solventar un poco la problemática sobre material para la capacitación continua, se entregó el siguiente material didáctico en la PTAR

- bb) Manuales: El contenido de cada uno de ellos se encuentra en la liga: <https://drive.google.com/drive/folders/1m9GYeDsYFscSYAuUpRM5BV8VBsYqT-o8?usp=sharing>
- cc) Infografías
- dd) Manual de ejercicios prácticos

Los Manuales constan de 6 tomos cuyas temáticas son las siguientes (Figura 257).

- ccc) Indicadores sensoriales
- ddd) Indicadores analíticos
- eee) Arranque y estabilización de una planta de lodos activados
- fff) Calidad del agua
- ggg) Control del proceso
- hhh) Seguridad e higiene





**Figura 904. Portada de los manuales**

Se elaboraron 15 infografías con la información de los manuales, las cuales se mencionan a continuación (Figura 258):

- ffffff) Arranque de una PTAR de lodos activados
- gggggg) Higiene y seguridad
- hhhhh) Indicadores analíticos A
- iiiiii) Indicadores analíticos B
- jjjjjj) Indicadores sensoriales A
- kkkkkk) Indicadores sensoriales B
- llllll) Índice volumétrico de lodos
- mmmmm) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-001-SEMARNAT-1996
- nnnnn) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-002-SEMARNAT-1996
- ooooo) Normatividad Mexicana de Agua Residual. NOM-003-SEMARNAT-1997
- pppppp) Parámetros de calidad del agua
- qqqqqq) Predominio relativo de microorganismos en un sistema de lodos activados
- rrrrrr) Problemas frecuentes en un sistema de lodos activados
- sssss) Relación alimento/microorganismos
- ttttt) Sistema mecanizado de tratamiento de aguas residuales



### INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

#### Material flotante

- Indicador de altas concentraciones de grasas y aceites.
- Interfiere con la sedimentación y puede causar bajas eficiencias de remoción de CSBQ.

#### Acumulación de sólidos

- Su origen se debe a una operación ineficiente del clarificador o del sedimentador primario secundario.
- Reduce el volumen efectivo del las unidades de proceso afectando su eficiencia.
- Generan zonas anaeróbicas que provocan problemas de sedimentación y mal olor.

#### Trayectoria de flujos

- La observación de la trayectoria del flujo se utiliza para diseñar cortavientos.
- Los cortavientos son vitales al observar el movimiento de la espuma, sólidos suspendidos o materia flotante.
- Producen reducciones de tiempo de retención hidráulica, generando operación inadecuada.

#### Mezcla y turbulencia

- Un tanque bien mezclado presenta uniformidad de concentraciones en todo su volumen.
- Indicadores de mezcla en el reactor biológico:
  - Presencia de depósitos de sólidos en los esquinas.
  - Áreas con concentraciones de O<sub>2</sub> de 10%.
  - Diferencia de concentraciones entre zonas en O<sub>2</sub> y de O<sub>2</sub>.
- Turbulencias no uniformes o de baja turbulencia pueden ser causadas por:
  - Difusores obstruidos
  - Difusores dañados
  - Exceso de aereación

#### Burbujeo

- En el sedimentador secundario indican que el lodo tiene mucho tiempo de residencia (desnitrificación) se debe incrementar la recirculación de lodo.
- En canales, cunetas y tanques de contacto los borbotones deficiente se presenta acumulación de sólidos y condiciones anaeróbicas que generan hinchazón y atracción de sólidos.

### INDICADORES SENSORIALES

NO SE REQUIEREN ANÁLISIS ANALÍTICOS

#### Color

- Lodo acido tratado aerado en buenas condiciones color café deshidratado.
- Es un indicador del estado de salud del lodo.
- Las condiciones de alimento proporcionan diferentes tonos de color.
- Las condiciones ambientales le dan diferentes tono de color café.

#### Olor

- Una PTAR bien operada no genera malos olores.
- Un proceso de todos activados saludable tiene un ligero olor a humedad (tierra mojada).
- Un solo segundo, cambia su color a oscuro y el olor es similar al del huevo podrido.

#### Tacto

- Una Temperatura o vibración excesiva en equipos electromecánicos y tuberías advierten un mal funcionamiento.

#### Algas

- Su crecimiento en las paredes de los tanques o en las cavidades recolectoras indica que altos niveles de nutrientes.

#### Turbiedad del efluente

- Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario o en el tanque de contacto de olor indican un mal funcionamiento de la PTAR.

#### Espuma

- Color café obscuro:**
  - No puede presentarse en el reactor biológico y en el sedimentador secundario ya indica un alto contenido de grasas y aceites que impiden a las microorganismos y las floras.
- Color café claro:**
  - Un exceso de sólidos no son absorbidos, el lodo no tiene la edad adecuada, se joven.
- Color blanco:**
  - Un tiempo de residencia, reactor biológico y afluente alto concentración de nutrientes.
  - En una configuración del arranque de una planta de presencia en los reactores por los reactores y con mayor tiempo de residencia, debido a que la temperatura afecta la actividad metabólica de las microorganismos y por degradación de los nutrientes.

## ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)

● IVL (mL/g) = Volumen de lodos sedimentados (mL) / concentración de SSTLM (g/L)

● El volumen de lodos sedimentados se determina en una probeta de 1 L después de 30 minutos.

● Los valores de IVL están comprendidos dentro del intervalo 150 a 35 mL/g

| Tiempo (min) | Demasiado joven (IVL) | Edad adecuada (IVL) | Demasiado viejo (IVL) |
|--------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 0            | 1000                  | 1000                | 1000                  |
| 5            | 850                   | 650                 | 550                   |
| 10           | 750                   | 450                 | 350                   |
| 15           | 650                   | 350                 | 250                   |
| 20           | 550                   | 300                 | 220                   |
| 25           | 500                   | 280                 | 200                   |
| 30           | 450                   | 250                 | 180                   |

**Demasiado joven**

- Aumentar la recirculación
- Eliminar la purga

**Edad adecuada**

**Demasiado viejo**

- Reducir al mínimo la recirculación
- Aumentar la purga

- Se registra el volumen del lodo cada 5 minutos
- Los datos se graficarán para obtener una curva de sedimentabilidad que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el reactor biológico.
- Durante la prueba se podrá apreciar la forma del floculo, su color y olor
- El aspecto final de la prueba da una idea de lo que se espera en el sedimentador secundario
- La información de esta prueba ayudará a conocer el comportamiento del sistema y a detectar problemas operacionales

MEDIO AMBIENTE

IMTA

gubmedia

1654

# NORMATIVA MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

## NOM-001-SEMARNAT-1996

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
 • Con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

| LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS |                           |                        |                                 |                                   |                        |   |                |               |                           |                         |   |                           |                |                        |                                 | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS |                                   |   |                |                |                           |                         |       |      |    |     |  |  |  |  |  |
|--|---------------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---|----------------|---------------|---------------------------|-------------------------|---|---------------------------|----------------|------------------------|---------------------------------|---|-----------------------------------|---|----------------|----------------|---------------------------|-------------------------|-------|------|----|-----|--|--|--|--|--|
| PARÁMETROS   | RÍOS                      |                        |                                 | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES |                        |   | AGUAS COSTERAS |               |                           | SUELO                   |   |                           | PARÁMETROS (*) | RÍOS                   |                                 |   | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES |   |                | AGUAS COSTERAS |                           |                         | SUELO |      |    |     |  |  |  |  |  |
|  | Uso en riego agrícola (A) | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C) | Uso en riego agrícola (B)         | Uso público urbano (C) | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (B) | Estuarios (B) | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) | Miligramos por litro, excepto cuando se especifique | Uso en riego agrícola (A) |                | Uso público urbano (B) | Protección de vida acuática (C) | Uso en riego agrícola (B)                                   | Uso público urbano (C)            | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | Recreación (A) | Estuarios (B)  | Uso en riego agrícola (A) | Humedales Naturales (B) |       |      |    |     |  |  |  |  |  |
| Miligramos por litro, excepto cuando se especifique    | PM                        | PD                     | PM                              | PD                                | PM                     | PD  | PM             | PD            | PM                        | PD                      | PM  | PD                        | PM             | PD                     | PM                              | PD  | PM                                | PD  | PM             | PD             | PM                        | PD                      | PM    | PD   | PM | PD  |  |  |  |  |  |
| Temperatura (°C) (1)                                   | N.A.                      | N.A.                   | 40                              | 40                                | 40                     | 40  | 40             | 40            | 40                        | 40                      | 40  | 40                        | 40             | 40                     | 40                              | 40  | 40                                | 40  | 40             | 40             | 40                        | 40                      | 40    | 40   | 40 | 20  |  |  |  |  |  |
| Grasas y Aceites (2)                                   | 15                        | 25                     | 15                              | 25                                | 15                     | 25  | 15             | 25            | 15                        | 25                      | 15  | 25                        | 15             | 25                     | 15                              | 25  | 15                                | 25  | 15             | 25             | 15                        | 25                      | 15    | 25   | 15 | 20  |  |  |  |  |  |
| Materia Flotante (3)                                   | Ausente                   |                        |                                 |                                   |                        |   |                |               |                           |                         |   |                           |                |                        |                                 |   |                                   |   |                |                |                           |                         |       |      |    |     |  |  |  |  |  |
| Sólidos Sedimentables (mil)                            | 1                         | 2                      | 1                               | 2                                 | 1                      | 2   | 1              | 2             | 1                         | 2                       | 1   | 2                         | 1              | 2                      | 1                               | 2   | 1                                 | 2   | 1              | 2              | 1                         | 2                       | 1     | 2    | 1  | 2   |  |  |  |  |  |
| Sólidos Suspendedos Totales                            | 150                       | 200                    | 75                              | 125                               | 40                     | 60  | 75             | 125           | 40                        | 60                      | 150   | 200                       | 75             | 125                    | 40                              | 60  | 150                               | 200   | 75             | 125            | 40                        | 60                      | 150   | 200  | 75 | 125 |  |  |  |  |  |
| Demanda Bioquímica de oxígeno (BOD) Total              | 150                       | 200                    | 75                              | 150                               | 30                     | 60  | 75             | 150           | 30                        | 60                      | 150   | 200                       | 75             | 150                    | 30                              | 60  | 150                               | 200   | 75             | 150            | 30                        | 60                      | 150   | 200  | 75 | 150 |  |  |  |  |  |
| Fósforo Total  | 40                        | 60                     | 40                              | 60                                | 15                     | 25  | 40             | 60            | 15                        | 25                      | N.A.  | N.A.                      | N.A.           | N.A.                   | 15                              | 25  | N.A.                              | N.A.  | N.A.           | N.A.           | 15                        | 25                      | N.A.  | N.A. | 10 | 20  |  |  |  |  |  |
| Zinc Total   | 20                        | 30                     | 20                              | 30                                | 5                      | 10  | 20             | 30            | 5                         | 10                      | N.A.  | N.A.                      | N.A.           | N.A.                   | 5                               | 10  | N.A.                              | N.A.  | N.A.           | N.A.           | 5                         | 10                      | N.A.  | N.A. | 10 | 20  |  |  |  |  |  |

(1) Instantáneo (2) Muestra Simple Promedio Bordenado (3) Ausente según el Método de Ducha definido en la NMX-AA-306-DIC-2012 Promedio Diario (D.M.) Promedio Mensual (P.M.)

• Para determinar la contaminación por patógenos Coliformes Fecales, LMP para descargas a aguas y bienes nacionales y para las vertidas al suelo. (riego agrícola):

- 1000 NMP/100 ml como P.M.
- 2000 NMP/100 ml como P.D.

• Para determinar la contaminación por parásitos: Huevos de Helmintho, LMP para descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola):

- 1 H.H. para riego no restringido (CUALQUIER CULTIVO)
- 5 H.H. para riego restringido (excepto legumbres y verduras que se consumen crudas)

MEDIO AMBIENTE

IMTA

gob.mx/imta

## NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

### NOM-002-SEMARNAT-1996

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal
 • Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C.

El rango permisible de pH de 6 y 9 unidades.

Los límites máximos permisibles para los parámetros DBO y SST, son los establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

La materia flotante debe estar ausente.

No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos contaminados peligrosos, conforme a la legislación.

| Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES |                 |             |
|---|-----------------------------|-----------------|-------------|
|   | Promedio mensual            | Promedio diario | Instantáneo |
| Grasas y aceites  | 50                          | 75              | 100         |
| Sólidos sedimentables (milímetros por litro)                          | 5                           | 7.5             | 30          |
| Arsénico total  | 0.5                         | 0.75            | 1           |
| Cadmio total  | 0.5                         | 0.75            | 1           |
| Cianuro total   | 1                           | 1.5             | 2           |
| Cobre total   | 10                          | 15              | 20          |
| Cromo hexavalente   | 0.5                         | 0.75            | 1           |
| Mercurio total  | 0.01                        | 0.015           | 0.02        |
| Níquel total  | 4                           | 6               | 8           |
| Plomo total   | 1                           | 1.5             | 2           |
| Zinc total  | 6                           | 9               | 12          |

MEDIO AMBIENTE

IMTA

gob.mx/imta

## NORMATIVIDAD MEXICANA DE AGUA RESIDUAL

### NOM-003-SEMARNAT-1997

• Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reciben en servicios al público
 • Con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.

**SERVICIO EN SERVIDORES AL PUEBLO CON CONTACTO DIRECTO**

Es el que se destina a establecimientos donde el público cuando está expuesto directamente o en contacto físico. Se consideran los siguientes riesgos:

- Limpieza de lagos y canales arroyales frecuentemente con:
- Playas de recreación
- Playas de deportes acuáticos
- Playas de piscinas y parques

**SERVICIO EN SERVIDORES AL PUEBLO CON CONTACTO INDIRECTO OCASIONAL**

Es el que se destina a establecimientos donde el público en general está expuesto indirectamente o en contacto físico restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. Se consideran los siguientes riesgos:

- Playas de parques acuáticos en empresas y en viviendas
- Playas de recreación
- Campes de golf
- Almacenamiento de residuos en zonas recreativas

| TIPO DE REUSO   | PROMEDIO MENSUAL                |                            |                         |                         |            |
|---|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
|   | Coliformes Fecales (NMP/100 ml) | Huevos de helmintho (H.H.) | Grasas y aceites (mg/l) | DBO <sub>5</sub> (mg/l) | SST (mg/l) |
| Servicios al público con contacto directo               | 240                             | 5                          | 15                      | 20                      | 30         |
| Servicios al público con contacto indirecto u ocasional | 1,000                           | 15                         | 15                      | 30                      | 30         |

• La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada.

• El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

MEDIO AMBIENTE

IMTA

gob.mx/imta

### PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

| PARÁMETRO                      | ABREVIACIÓN                            | IMPORTANCIA  |
|--------------------------------|--|--|
| Sólidos totales                | ST                                     | Para evaluar el nivel de contaminación del agua residual y el grado de avance del proceso de tratamiento.  |
| Sólidos suspendidos totales    | SST                                    |  |
| Sólidos fijos totales          | SFT                                    |  |
| Sólidos disueltos totales      | SDT                                    |  |
| Sólidos orgánicos volátiles    | SOV                                    |  |
| Sólidos orgánicos fijos        | SOF                                    |  |
| Sólidos disueltos orgánicos    | SDO                                    |  |
| Sólidos sedimentables          | SSed                                   |  |
| Turbidez                       | T                                      |  |
| Color                          | C                                      |  |
| Odor                           | O                                      | Para determinar si el agua presenta algún problema.  |
| Temperatura                    | T                                      | Es importante en el diseño y operación de procesos de tratamiento biológico.   |
| Conductividad                  | κ                                      | Es importante evaluar la conductividad de agua residual para determinar su contenido de sales.   |
| Amoníaco libre                 | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>           | Importante para el desarrollo de los microorganismos en un proceso de tratamiento biológico.   |
| Nitrógeno orgánico             | N Org                                  |  |
| Nitrógeno total Kjeldahl       | NTK                                    |  |
| Nitrato                        | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>           |  |
| Nitrato                        | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>           |  |
| Nitrógeno total                | NT                                     |  |
| Fósforo orgánico               | P Org                                  |  |
| Fósforo total                  | PT                                     |  |
| Fósforo orgánico               | P Org                                  |  |
| pH                             | pH                                     |  |
| Alcalinidad                    | Alc                                    | Una medida de la capacidad de amortiguamiento del agua en un proceso de tratamiento.   |
| Cloro                          | Cl                                     | Empleado para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.  |
| Sulfuro                        | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>          | Para evaluar la potencialidad de generar olores y su impacto en un tratamiento de lodos residuales.  |
| Hierro                         | Fe                                     | Para evaluar la probabilidad de que el agua residual tratada se utilice en riego agrícola.   |
| Cadmio                         | Ca                                     | Castrolactato pueden ser importantes para el desarrollo de los microorganismos en un tratamiento biológico.  |
| Demanda biológica de oxígeno   | DBO                                    | Cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica biodegradable.   |
| Demanda química de oxígeno     | DQO                                    | Empleado ampliamente para sustituir la determinación de la DBO. Puede ser usado junto con la DBO para determinar la materia orgánica no biodegradable. |
| Carbono orgánico total         | COT                                    | A menudo empleado para sustituir la determinación de la DBO.   |
| Toxicidad                      | T                                      | Indicador de la presencia de sustancias tóxicas en el agua residual.   |
| Compuestos orgánicos volátiles | COV                                    | Para determinar la presencia de compuestos orgánicos volátiles y evaluar si es necesario tomar acciones de diseño para su remoción.                    |
| Organismos coliformes          | CT, CF                                 | Para evaluar la presencia de bacterias patógenas y la efectividad del proceso de desinfección.   |
| Microorganismos específicos    | Bacterias, protozoos, nematodos, virus | Evaluación de la presencia de organismos específicos en un proceso de tratamiento biológico.   |



### PROBLEMAS FRECUENTES EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

| Problema   | Causas   | Observación  |
|--|--|--|
| Efluyente turbio, ausencia de floculos sedimentables o dispersos en el medio o esponjoso   | Alta ATK, elevada temperatura de entrada, fase inicial del sistema, elevada DBO                            | Ausencia de floculos, células dispersas en el medio líquido, no ocurre biofloculación  |
| Pérdida permanente de pequeños floculos con el efluyente final, FVL bajo (<100 mL/g)   | Excesiva turbulencia o tiempo de retención celular elevada, lodo mineralizado, baja FM                     | Floculos muy pequeños, débiles, como cabezas de alfiler  |
| Efluyente de lodo espeso en la superficie del sedimentador   | Surgimiento del lodo desde el fondo del sedimentador por desflocculación, exceso de turbulencia, algas     | Floculos ricos en burbujas de gas con o sin filamentos, espuma y lodo de igual aspecto   |
| Espuma sutil, blanquecina, inestable sobre la superficie del agua  | Presencia de sustancias difícilmente biodegradables, tensioactivos   | Ninguna influencia sobre las estructuras de los floculos   |
| Espuma espesa amarillenta, estable principalmente en el tanque aerobio   | Presencia de bacterias filamentosas u hongos actinomicetales. Formación de espuma                          | Espuma rica de filamentos, Microfitos, predominantemente Tipo 1863   |
| Lodo de consistencia gelatinosa, FVL alto, espuma gruesa en el tanque aerobio, pérdida de floculos en el efluyente final   | Aglomerado viscoso o no filamentosos, carencia de nutrientes y alto FIM                                    | Floculos ricos en formas zoogeales y presencia de polidispersión esocelulares evidenciadas con la prueba de tinta china. Presencia de Thrauxella sp.   |
| FVL alto o muy alto (>150 mL/g) difícil para separar fase líquida de sólida, toxic con un efluyente tiempo de escorrente calidad hasta la pérdida masiva de floculos, Lodo de recirculación poco concentrado | Presencia de bacterias filamentosas en exceso. Las causas varían en relación al tipo de organismo presente | Floculos con crecimiento de filamentos desde la periferia hacia el líquido circundante, puentes entre floculos o filamentosos creciendo en el interior y definiendo la forma de los floculos, o en formas que dejan espacios vacíos en su estructura |







Figura 905. Infografías

En el Manual de ejercicios prácticos (Figura 259) se presentan una serie de ejercicios prácticos que están clasificados por niveles, de tal manera que el operador podrá resolverlos inicialmente por el mismo y posteriormente la complejidad de los ejercicios le requerirá hacer uso de materiales de apoyo, o recurrir a sus colegas para dar una solución adecuada, y finalmente en un nivel más superior para poder resolver el ejercicio tendrá que recurrir a la ayuda del instructor.

Para la ejecución de estos ejercicios se hará uso de:

- Preguntas de opción múltiple
- Preguntas directas
- Presentación de problemas operacionales
- Preguntas de reflexión, con problemas que desde un punto de vista pueden presentar múltiples interacciones entre los procesos

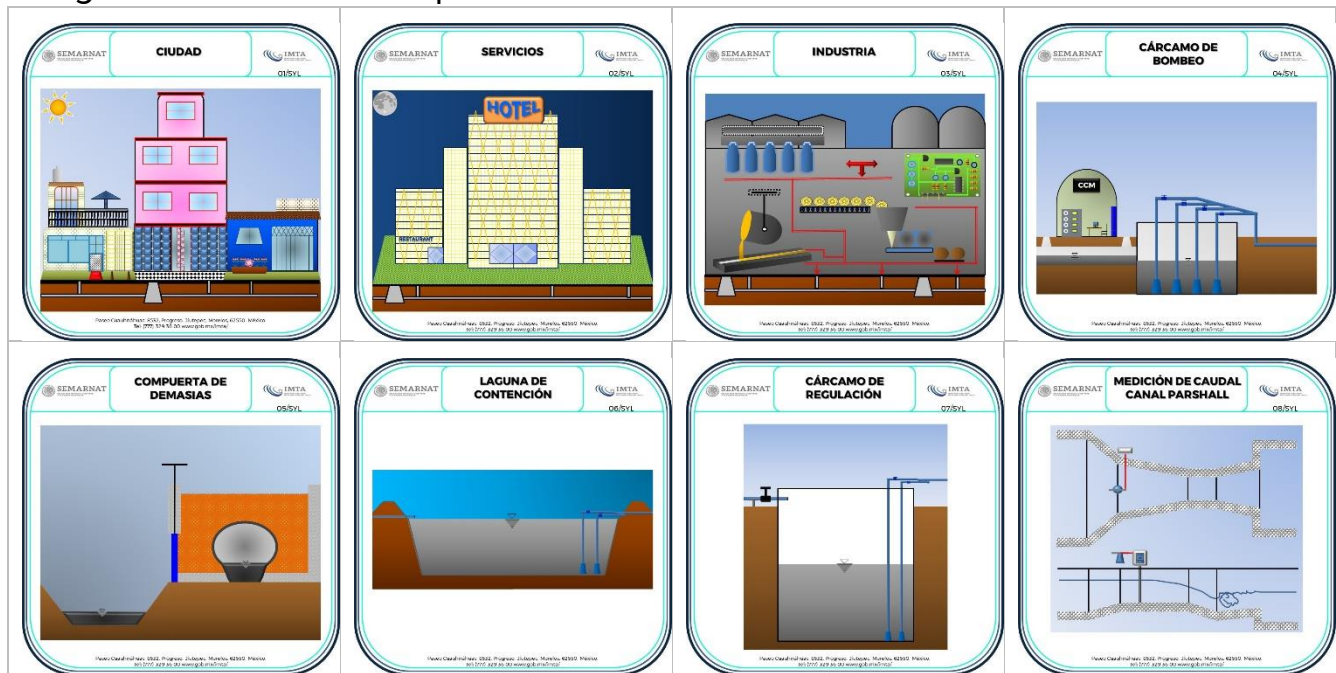
Estos ejercicios están relacionados a su vez con conocimientos generales, teóricos y prácticos de la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por lo anterior, lo que pretende este manual es que el operador al final cuente con los conocimientos que le permita discernir los niveles de problemas operacionales que se pueden presentar en una PTAR y a su vez tener una herramienta que le permita jerarquizarlos para obtener la mejor y correcta solución.

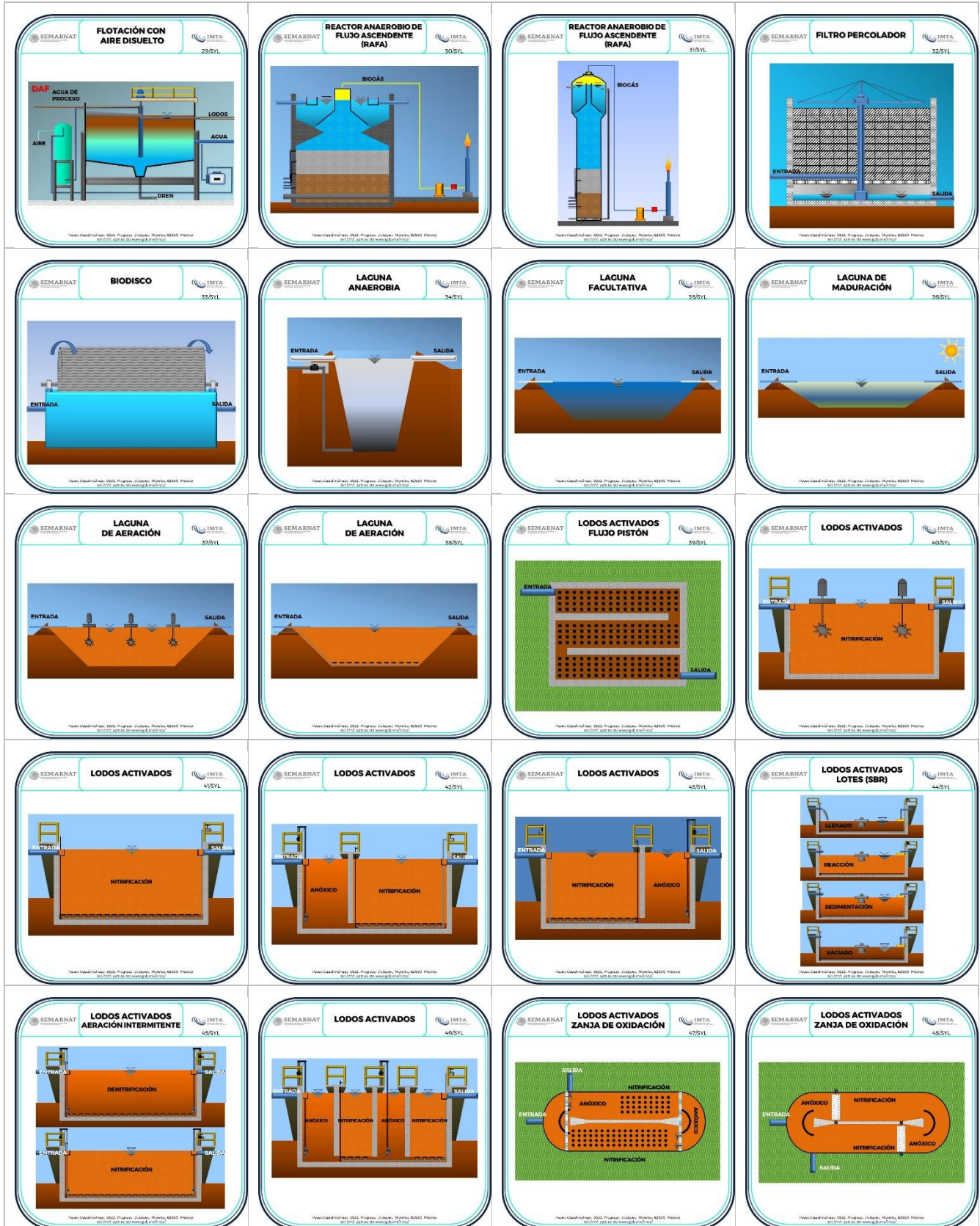


**Figura 906. Manual de ejercicios prácticos**

Este manual va acompañado de un kit de imágenes (Figura 260) que representan todos los posibles procesos que pueden estar presentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.



|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <p><b>MEDICIÓN DE CAUDAL ULTRASÓNICO</b></p> <p>09/5YL</p> | <p><b>MEDICIÓN DE CAUDAL REHILETE</b></p> <p>10/5YL</p>    | <p><b>MEDICIÓN DE CAUDAL SUTRO</b></p> <p>11/5YL</p> | <p><b>REJILLAS MANUALES</b></p> <p>12/5YL</p>            |
| <p><b>REJILLAS MECÁNICAS CRUESAS</b></p> <p>13/5YL</p>     | <p><b>REJILLAS MECÁNICAS MEDIANAS</b></p> <p>14/5YL</p>    | <p><b>REJILLAS MECÁNICAS FINAS</b></p> <p>15/5YL</p> | <p><b>REJILLAS DE TAMBOR ROTATORIO</b></p> <p>16/5YL</p> |
| <p><b>REJILLAS ESTÁTICAS</b></p> <p>17/5YL</p>             | <p><b>UNIDAD COMPACTA PRETRATAMIENTO</b></p> <p>18/5YL</p> | <p><b>CANAL DESARENADOR</b></p> <p>19/5YL</p>        | <p><b>DESARENADOR DE VÓRTICE</b></p> <p>20/5YL</p>       |
| <p><b>DESARENADOR AERADO</b></p> <p>21/5YL</p>             | <p><b>DESARENADOR HORIZONTAL</b></p> <p>22/5YL</p>         | <p><b>TANQUE DE REGULACIÓN</b></p> <p>23/5YL</p>     | <p><b>TANQUE DE AGUA DE PROCESO</b></p> <p>24/5YL</p>    |
| <p><b>DOSIFICACIÓN DE NUTRIENTES</b></p> <p>25/5YL</p>     | <p><b>SEDIMENTADOR PRIMARIO</b></p> <p>26/5YL</p>          | <p><b>SEDIMENTADOR PRIMARIO</b></p> <p>27/5YL</p>    | <p><b>FLOTACIÓN CON AIRE DISUELT</b></p> <p>28/5YL</p>   |



|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| <p><b>LODOS ACTIVADOS ZANJA DE OXIDACIÓN</b></p> <p>49/5VL</p>  | <p><b>LODOS ACTIVADOS ORBAL</b></p> <p>50/5VL</p>         | <p><b>LODOS ACTIVADOS</b></p> <p>51/5VL</p>                               | <p><b>REACTOR BIOLÓGICO DE LECHO MÓVIL (MBBR)</b></p> <p>52/5VL</p>           |
| <p><b>REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANA (MBR)</b></p> <p>53/5VL</p> | <p><b>TANQUE DE LODOS</b></p> <p>54/5VL</p>               | <p><b>SEDIMENTADOR SECUNDARIO</b></p> <p>55/5VL</p>                       | <p><b>SEDIMENTADOR SECUNDARIO</b></p> <p>56/5VL</p>                           |
| <p><b>ESPESADOR DE LODO</b></p> <p>57/5VL</p>                   | <p><b>TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO</b></p> <p>58/5VL</p> | <p><b>DOSIFICACIÓN DE CLORO LÍQUIDO</b></p> <p>59/5VL</p>                 | <p><b>DOSIFICACIÓN DE CLORO GAS</b></p> <p>60/5VL</p>                         |
| <p><b>TANQUE DE CONTACTO DE CLORO</b></p> <p>61/5VL</p>         | <p><b>LÁMPARA DE LUZ ULTRAVIOLETA</b></p> <p>62/5VL</p>   | <p><b>FILTRACIÓN A PRESIÓN DE AGUA RESIDUAL TRATADA</b></p> <p>63/5VL</p> | <p><b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA RESIDUAL TRATADA</b></p> <p>64/5VL</p> |
| <p><b>REÚSO DE AGUA INDUSTRIAL</b></p> <p>65/5VL</p>            | <p><b>REÚSO DE AGUA AGRICULTURA</b></p> <p>66/5VL</p>     | <p><b>DESCARGA CUERPO SUPERFICIAL</b></p> <p>67/5VL</p>                   | <p><b>RIECO DE ÁREAS VERDES</b></p> <p>68/5VL</p>                             |

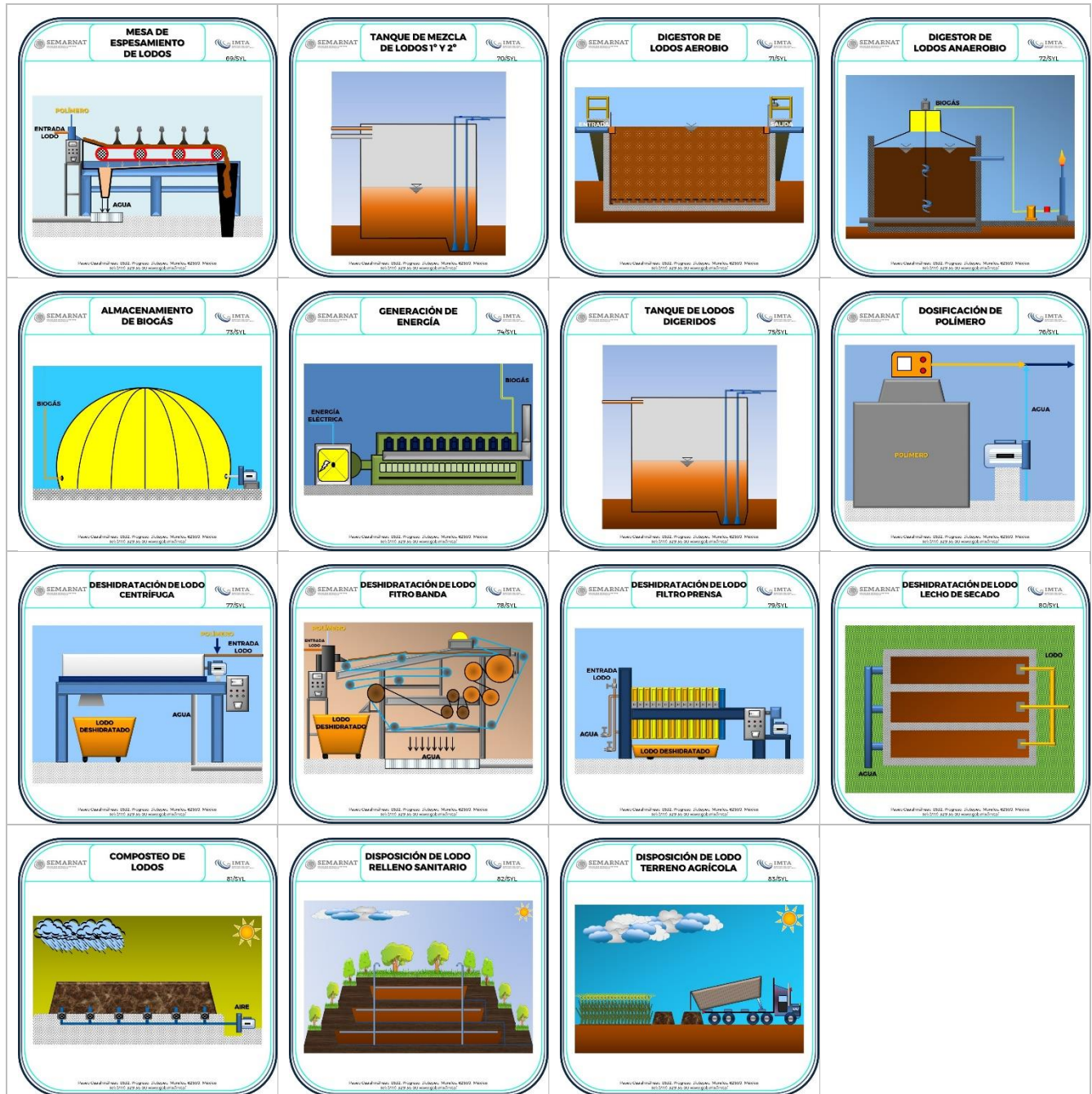


Figura 907. Kit de figuras

## 48 SEGURIDAD E HIGIENE

Al ingresar a la PTAR se observó infografía de que están implementando la ISO 45001 Seguridad y salud en el trabajo (Figura 908).



**Figura 908. Implementación ISO 45001 Seguridad y Salud en el Trabajo**

La PTAR en el 2010 con el paso del Huracán Alex sufrió una inundación, posterior a ello indican que se construyó un tanque de regulación por lo que ya no se ha presentado este tipo evento. Por otra parte, en la periferia de la PTAR del lado del río Pesquería han cortado la malla y accedido personas ajenas a la PTAR por lo que la malla ha sido reparada y cubierta con láminas (Figura 471).



**Figura 909. Reparación de malla en periferia de la PTAR**

En cuanto a probables riesgos eléctricos cuentan con tapetes, equipos aterrizados a tierra y apartarrayos. Se tienen extintores en áreas con posibles riesgos de incendio.

Se tiene un área de enfermería, pero no disponen del personal de enfermería o médico, en el momento de la visita el área se encontraba asignado a personal de Seguridad e Higiene.



**Figura 910. Área de enfermería**

Se observó señalización o infografías en la mayoría de las áreas (Figura 911), al acceder a la zona del desarenador no se identificó señalización de posibles caídas y se



observaron objetos en el trayecto, así como tubos que podrían ocasionar algún accidente, en el área del reactor la señalización está deteriorada (Figura 912). Sin embargo, están por reemplazarla parte de la señalización (Figura 913).



Figura 911. Señalización

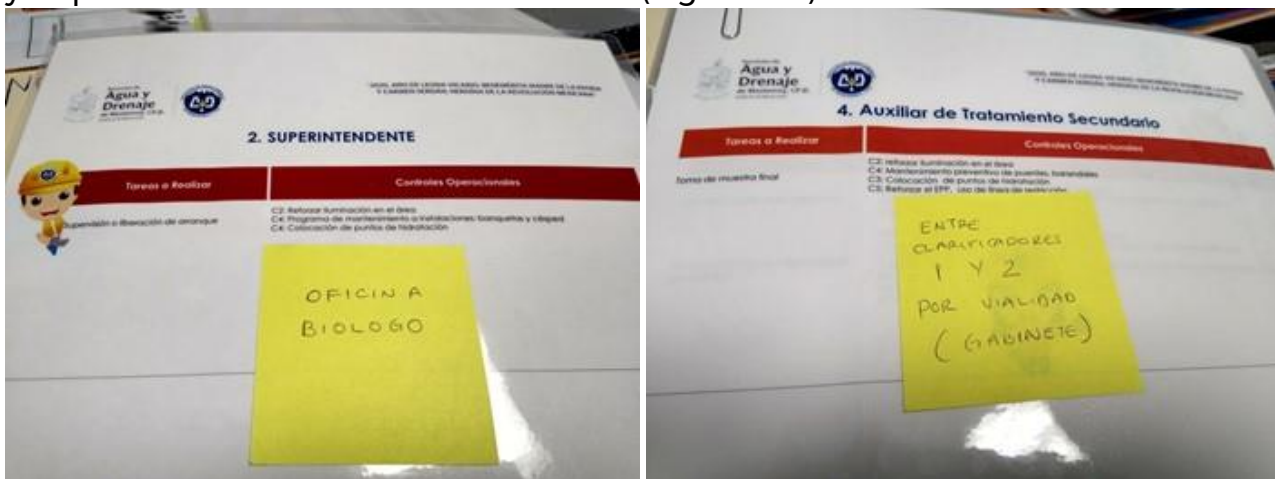


Figura 912. Señalización deteriorada y área sin señalización



**Figura 913. Señalización disponible**

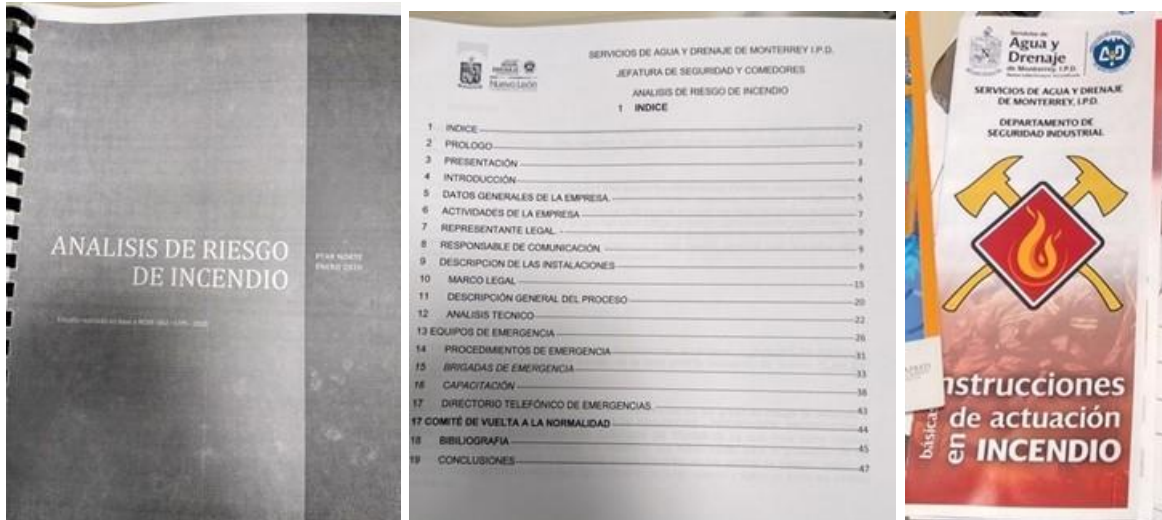
En cuanto a estudios de análisis de riesgos en la PTAR se tiene un análisis por puesto y es parte de la recomendación ISO 45001 (Figura 914).



**Figura 914. Actividades por puesto**

En cuanto a los planes por contingencia desde enero de 2020 la PTAR cuenta con un análisis de riesgo de incendio, el estudio fue realizado en base a la NOM-002-STPS-2010 y contiene el procedimiento en caso de presentarse una emergencia, además de tener a disposición del personal el folleto de “Instrucciones básicas de actuación en incendio” (, como la señalización y simulacros.

).



**Figura 915. Análisis de riesgo de incendio**

Adicionalmente disponen de otros folletos como:

- NOM-026-STPS-2008 Colores y señales de seguridad, Comisión Central de Seguridad e Higiene.
- La hipertensión arterial es un enemigo silencioso, Departamento de Salud Ocupacional PTAR Norte, Control de peso.
- Inundaciones, Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Como medidas preventivas se realiza la capacitación para atender emergencias de incendios, de derrames de combustibles, sísmicas y contingencias técnicas, sin embargo, los simulacros desde el inicio de la pandemia por COVID-19 solo ha sido información a través de los folletos. Adicionalmente como medida de seguridad al encargado de seguridad e higiene se le entrega copia diaria de las actividades que se realizarán con objeto de que esté enterado y preparado en caso de presentarse alguna contingencia.

Dentro de la organización de la planta se cuenta con brigadas de evacuación, primeros auxilios, prevención y combate de incendios, búsqueda y rescate, derrames químicos y de logística (Figura 916)





**Figura 916. Brigadas en la PTAR**

Sobre la atención en caso de presentarse algún evento la comunicación es vía celular (personal) no cuentan con radios, dependiendo de la magnitud del caso hay un centro de salud (Las Encinas) a 5 minutos y a 10 minutos la Clínica 6 IMSS Av. Universidad, en caseta tienen equipo y camilla.

El personal cuenta con el equipo de protección básico de seguridad para realizar las actividades y en caso de que la actividad requiera mayor protección utilizan equipo de seguridad recomendado, como es el uso de arnés, guía, fajas, audífonos, máscara con filtro.

Recomendaciones: sustituir las señalizaciones dañadas, colocar señalización de riesgo de caída en área de desarenadores.

## 49 LABORATORIO

La PTAR cuenta con un laboratorio en el cual se realizan los análisis de seguimiento de la calidad del agua residual de la PTAR con una frecuencia de tres veces por semana. Cuentan con los equipos necesarios para las pruebas analíticas como se muestra en la Figura 917.



Oxímetro



Baño de coliformes



Campana de extracción



Área de balanza



Espectrofotómetro



Parrilla eléctrica



Microscopio



Bomba de vacío



Digestor

Incubadora



Medidor de pH

Estufa

**Figura 917. Instalaciones y equipo de laboratorio**

Las áreas se encuentran identificadas y hay señalización (Figura 918).







**Figura 918. Identificación de áreas y señalización**

Cuentan con área de almacén de reactivos, así como para reactivos para soluciones indicando los códigos de colores dependiendo del riesgo de salud.



**Figura 919. Almacén de reactivos y soluciones**

Se observó que las tuberías están señaladas con los colores correspondientes.

En caso de alguna contingencia al interior del laboratorio se cuenta con extintor, regadera, lavado de ojos y botiquín de primeros auxilios (Figura 920).



Lava ojos

Botiquín

**Figura 920. Equipo de seguridad en laboratorio**

El laboratorio no está certificado, pero indican que tienen la ISO 9001 Garantía de calidad. En el laboratorio se analizan los siguientes parámetros:

- pH
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Demanda química de oxígeno
- Coliformes fecales
- Sólidos suspendidos totales
- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno orgánico
- Nitritos
- Nitratos
- Fósforo total
- Alcalinidad
- Coliformes totales

Se cuenta con los manuales y bitácoras de los equipos de uso y mantenimiento, bitácoras de registro diario de entrada y salida del personal (Figura 921).

SERVICIOS DE AGUA Y DRENAJE DE MONTERREY, L.P.D.  
Laboratorio Central de Calidad de Aguas - Laboratorio Norste

REGISTRO DEL USO DE LA ESTUFA

| Fecha      | Hora  | Material o Reactivo | No. Termómetro: |              | Análisis | Observaciones |
|------------|-------|---------------------|-----------------|--------------|----------|---------------|
|            |       |                     | Lectura °C      | Corregido °C |          |               |
| 2020-05-08 | 13:30 | Filtros 1-2         | 103°C           | 102°C        | 180m     | Pa            |
|            |       |                     |                 |              |          |               |
|            |       |                     |                 |              |          |               |
|            |       |                     |                 |              |          |               |
|            |       |                     |                 |              |          |               |
|            |       |                     |                 |              |          |               |
|            |       |                     |                 |              |          |               |
|            |       |                     |                 |              |          |               |
|            |       |                     |                 |              |          |               |

**Figura 921. Bitácora de registro**

El manual de BPL, el procedimiento de atención a emergencias: incendio, derrame (relacionadas a los productos y análisis que se realizan) y el procedimiento de gestión de residuos, indican que los tiene laboratorio central.

El personal de laboratorio asignado a la PTAR corresponde a 1 mozo y 1 técnico se han capacitado en ISO, BPL, Derechos humanos (más administrativos) 2 veces al año, debido a la pandemia disminuyeron las capacitaciones.

Como se puede observar las instalaciones, los equipos y el material se encuentran en excelentes condiciones operativas.

## 50 CAUSAS QUE LIMITAN EL DESEMPEÑO DE LA PTAR

### 50.1 Causas

Para poder ponderar las causas que influyen de manera negativa en el desempeño de la PTAR, se hace uso de una clasificación que consta de tres niveles de impacto, a saber:

#### Nivel I

Son los que presentan un mayor efecto y con problemas físicos difíciles de resolver de las unidades de proceso más importantes.

#### Nivel II

Son los que contribuyen rutinariamente al bajo desempeño o producen mayores efectos en una base periódica o estacional.

#### Nivel III

Son los que presentan mínimos efectos, fáciles y económicos de resolver, normalmente de operación y administración.

Así, tomando como base la información obtenida de los capítulos anteriores, y la clasificación de las causas que influyen en el desempeño de la PTAR, se elabora la Tabla 37.

**Tabla 283. Priorización de las causas que limitan el desempeño de la PTAR**

| No. | Nivel | Causa limitante del desempeño   | Atención      |
|-----|-------|---|---------------|
| 1   | I     | Falla de rejilla fina   | Corto Plazo   |
| 2   |       | Desarenador fuera de operación  | Corto Plazo   |
| 3   |       | Sistema de rastras, desnatador y traspotación de sólidos en sedimentadores primarios deshabilitados | Corto plazo   |
| 4   |       | Falta el sistema de agitación en zona anóxica   | Corto plazo   |
| 1   | II    | Exceso de grasas en canales de conducción de agua residual  | Mediano Plazo |
| 2   |       | Sistema de difusores dañados  | Mediano Plazo |
| 3   |       | Bombas de recirculación de lodos fuera de operación   | Corto plazo   |
| 1   | III   | Falta de un programa de mantenimiento preventivo  | Corto plazo   |
| 2   |       | Unidades de proceso con presencia de sólidos y vegetación   | Corto plazo   |
| 3   |       | Falta de capacitación al personal de operación  | Mediano Plazo |
| 4   |       | Falta de capacitación al personal de laboratorio  | Mediano Plazo |

## 50.2 Descripción de la causa y recomendaciones

### 50.2.1 Nivel I

| Causa  | Recomendación   |
|--|---|
| <p><b>1. Falla de rejilla fina</b></p> <p>La rejilla presenta una falla mecánica, por lo que está fuera de operación, esto ocasiona que pasen muchos sólidos finos a las siguientes etapas de proceso, como sedimentadores primarios y reactores biológicos.</p> | <p>Reparación de motores electromecánicos y cadenas de transmisión, para evitar el paso de sólidos a las siguientes unidades.</p> |



**Figura 922. Problemática de sólidos en las diferentes unidades de proceso**

| Causa   | Recomendación  |
|---|--|
| <p><b>2. Desarenador fuera de operación</b></p> <p>Actualmente, una unidad de desarenación se encuentra fuera de operación por problemas mecánicos.</p> | <p>Reparación de la unidad motriz, que consiste en la reposición de la flecha y reparación del reductor de velocidad. Además, rehabilitación de las rastras.</p> |



Figura 923. Desarenador deshabilitado

| Causa  | Recomendación   |
|--|---|
| <p><b>3. Sistema de rastras, desnatador y transportación de sólidos en sedimentadores primarios deshabilitados</b></p> <p>Actualmente, los sedimentadores primarios tienen dañado todo el sistema motriz de las rastras y desnatador, además no se cuenta con desnatadores en algunas unidades, por lo que también es importante conocer que estado guardan las rastras. Por otra parte, el sistema de transportación de sólidos y natas está deshabilitado, al parecer por problemas mecánicos. Algunas unidades no cuentan con mamparas circulares. Esto</p> | <p>Rehabilitación del sistema mecánico, que incluye el reductor de velocidad, reposición de rastras y brazos de los desnatadores. Reposición de mamparas exteriores, y rehabilitación del sistema de transportación de sólidos y natas.</p> |

| Causa  | Recomendación |
|--|---------------|
| proporciona un arrastre de sólidos y natas hacia la siguiente unidad de proceso. |               |



Figura 924. Estado actual de los sedimentadores primarios

| Causa   | Recomendación  |
|---|--|
| <p><b>4. Falta el sistema de agitación en zona anóxica</b></p> <p>Las zonas anóxicas de los reactores biológicos deben contar con agitadores que mantengan en suspensión la biomasa para que este en contacto con el agua y se pueda llevar a cabo el proceso de desnitrificación, sin embargo, no se cuenta con ellos. Por lo que se supone, que la remoción de nitrógeno es muy baja.</p> | <p>Realizar una cotización de las unidades y presupuestar su compra e instalación.</p> |



Figura 925. Tanques anóxicos sin agitación

### 50.2.2 Nivel II

| Causa   | Recomendación  |
|---|--|
| <p><b>1. Exceso de grasas en canales de conducción de agua residual</b></p> <p>El agua residual presenta una cantidad importante de grasas que se acumulan en los canales de conducción del agua residual, posteriores a los desarenadores.</p> <p>No se observa, que las grasas se retiren y se dispongan, por lo que se supone éstas pasan a los procesos subsecuentes.</p> | <p>Instalar o condicionar una trampa de grasas en los canales, que facilite su retiro.</p> |



Figura 926. Presencia de grasas en canales de conducción

| Causa   | Recomendación |
|---|---------------|
| <p><b>2. Sistema de difusores dañados</b></p> |               |



| Causa  | Recomendación   |
|--|---|
| <p>En la superficie de los reactores biológicos se observa acumulación de natas y vegetación. Lo que indica la presencia de zonas muertas, las cuales son originadas por que en esas zonas no existe aeración. Lo anterior, puede ser debido a que los difusores se encuentran obstruidos. Además, en algunos se aprecia difusores rotos. Esto puede ser a que la vida útil de los difusores está por cumplirse.</p> | <p>Es necesario realizar una inspección de todos los difusores y valorar su estado físico. Con el fin de obtener una evaluación para su cambio total o solo reponer los que estén dañados. Además, de determinar cuales el tiempo de vida útil que les resta.</p> |



Figura 927. Problemática de difusión de aire en reactores biológicos

| Causa  | Recomendación   |
|--|---|
| <p><b>3. Bombas de recirculación de lodos fuera de operación</b></p> | <p>Realizar la revisión para determinar cuál es la falla de las bombas y planear la</p> |

| Causa   | Recomendación                                     |
|---|---|
| <p>En los tanques de lodos se cuentan con dos bobas, sin embargo, una está fuera de operación por problemas mecánicos. Lo que pone en riesgo la operación ya que si llega a fallar, no hay manera de recircular los lodos a los reactores biológicos.</p> | <p>compra de las refacciones y su reparación.</p> |



Figura 928. Bomba de recirculación de lodos fuera de operación

### 50.2.3 Nivel III

| Causa   | Recomendación  |
|---|--|
| <p><b>1. Falta de un programa de mantenimiento preventivo</b></p> <p>Se observó que no se cuenta con un programa de mantenimiento preventivo, los registros indican solo reparaciones.</p>  | <p>Elaborar un programa preventivo y presupuestar los recursos económicos para la adquisición de los recursos materiales necesarios, herramientas y refacciones.</p> |
| <p><b>2. Unidades de proceso con presencia de sólidos y vegetación</b></p> <p>El problema de las rejillas finas ha ocasionado que la mayoría de las unidades se encuentren saturadas de</p> | <p>Una vez reparada la rejilla fina, realizar una limpieza de todas las unidades de proceso.</p>   |

| <b>Causa</b>   | <b>Recomendación</b>   |
|--|--|
| <p>sólidos, lo que provoca un mal aspecto y además deteriora la calidad del agua residual tratada.</p>   |  |
| <p><b>3. Falta de capacitación al personal de operación</b></p> <p>Se detectó una falta de conocimientos técnicos, aunque es importante reconocer que conocen bastante bien la planta de tratamiento.</p> <p>Si bien, para subsanar un poco esta problemática, se les proporcionó material didáctico, el cual consistió en manuales técnicos e infografías.</p> <p>En pláticas con personal de operación, se pudo constatar el interés que muestran por saber y entender técnicamente cómo se desarrolla el proceso de lodos activados, sin embargo, algunos comentan que nunca han recibido capacitación.</p> | <p>Realizar obligatoriamente un diagnóstico a todo el personal que esté involucrado en la operación y control, de la planta de tratamiento.</p> <p>De acuerdo al diagnóstico, elaborar un programa que establezca que personal requiere de capacitación a corto, mediano y largo plazo.</p> <p>Elaborar temarios de acuerdo a los resultados del diagnóstico.</p> <p>Elaborar un programa de capacitación.</p> <p>De preferencia que los grupos de capacitación como máximo sean de 15 personas y que los cursos en su mayoría cuenten con al menos un 60% de prácticas.</p> |
| <p><b>4. Falta de capacitación al personal de laboratorio</b></p> <p>En plática con el personal que trabaja en el laboratorio, se comentó que no han recibido capacitación de ningún tipo de actividades relacionadas con el laboratorio, en varios años.</p>  | <p>Realizar un diagnóstico de las necesidades de nuevos procedimientos de análisis de parámetros, así como de procedimientos de aseguramiento de la calidad.</p> <p>De acuerdo al diagnóstico, elaborar un programa que establezca el cumplimiento de las actividades a desarrollar para el cumplimiento de los nuevos objetivos.</p> <p>Elaborar temarios de capacitación de acuerdo a los resultados del diagnóstico.</p> <p>Elaborar un programa de capacitación.</p>   |

## 51 RESUMEN

La PTAR Norte tiene un proceso secundario, que consiste en pretratamiento, tratamiento primario, un proceso de lodos activados de flujo pistón, que en una

primera etapa es de 3,000 L/s y elimina nitrógeno, y en una segunda etapa de 1,000 L/s, en el cual antes se cuenta con un proceso anaerobio, sedimentador secundario y finalmente un tanque de contacto de cloro para la desinfección.

El agua residual tratada se reusa en riego de camellones, parques recreativos y deportivos, en la agricultura y en la industria.

#### **16. Título de concesión de descarga**

- a) La PTAR cuenta con un Título de concesión de descarga hacia el Río Pesquería. Además de dicha descarga existe un envío de agua residual tratada a riego agrícola y para reúso en la industria.

#### **17. Memoria de cálculo**

- a) Se mezclan sígalas en inglés y español, además se presentan variables que no están definidas.
- b) Si bien, es un proceso que remueve nitrógeno, no se estipula cuanto debe contener el efluente.
- c) No se presenta ningún cálculo con relación a la sección del tanque anóxico para la desnitrificación.
- d) En el módulo de 1,000 L/s se proporcionan las dimensiones de una unidad rectangular, cuando se tiene uno circular en planta.
- e) No se presentan los cálculos del tanque de cloración.
- f) En términos generales no están definidas las variables que se utilizan, no se muestran las ecuaciones con las que se realizan los cálculos, lo que dificulta saber si los valores reportados son correctos y además, no se presentan referencias que sustenten la información.

#### **18. Información histórica de la calidad del agua**

- a) El periodo de análisis comprende al año de 2021.
- b) Considerando que el agua residual tratada es empleada para el riego de áreas verdes, y reúso en la agricultura todos los parámetros que cumplen con las Condiciones Particulares de Descarga y la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- c) De igual modo para la NOM-001-SEMARNAT-2021 todos cumplirían a excepción del NT.
- d) Solo se proporcionó información de 2021 del caudal que ingresa a la PTAR, y éste está comprendido entre los 2,000 y 3,000 L/s, con un promedio de 2,400 L/s, lo que representa de un 60% de caudal de diseño (4,000 L/s). Por lo que la planta estuvo subutilizada.

#### **19. Información del proceso**

- a) Se proporcionó información del año 2007 al 2021.

- b) En el periodo de 2007 a 2015 se aprecia una tendencia de incremento en el caudal, que aproximadamente va de 1 800 a 2 500 L/s.
- c) Entre 2017 y 2020 el caudal tiene variaciones que van entre los 2 400 y 2 700 L/s.
- d) La demanda bioquímica de oxígeno del influente, entre el 2007 y el 2015 presentó una tendencia de disminución que termina alrededor de los 300 mg/L. En el periodo de 2016 a 2020, existe una variación que va de 350 a 500 mg/L. Para el año 2021 se observa un descenso de 450 a 300 mg/L.
- e) La demanda bioquímica de oxígeno del efluente durante el periodo de estudio cumplió con las condiciones particulares de descarga y la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- f) La demanda química de oxígeno del efluente a partir del año de 2016 presenta una concentración promedio de 80 mg/L, por lo que se espera no se tenga problema en el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- g) Se considera que esta agua residual tiene un componente industrial, al presentar por ciertos periodos valores cercanos a 0.3 o por debajo de éste.

## **20. Manual de operación**

- a) No se proporcionó.

## **21. Reportes de operación**

- a) Los reportes de operación que se entregaron fueron copias de muy mala calidad.
- b) Se proporcionó información en formatos de las siguientes áreas: Pretratamiento, reactor biológico, sedimentador secundario, turbo sopladores, cloración y agua residual tratada.

## **22. Mantenimiento**

- a) No se proporcionó el programa de mantenimiento anual.
- b) Se proporcionó un archivo en Excel que se llama "CONTROL DE ÓRDENES DE MANTENIMIENTO 2021".
- c) En este documento se describen 6 918 reportes, que van desde simples revisiones de equipos o instalaciones hasta actividades de limpieza, y en algunos casos de mantenimiento preventivo.

## **23. Inspección de campo de la PTAR**

- a) Se encontró falta de mantenimiento y limpieza (desasolve, retiro de vegetación, algas y sólidos) en todas las unidades del proceso de tratamiento.

- b) La mayor parte de las rejillas medianas y finas se encuentran fuera de operación, por lo que los sólidos llegan a los desarenadores y pasan a través de ellos, ya que la concentración de sólidos sobrepasa su capacidad de diseño.
- c) Faltan desnatadores y mamparas en algunos sedimentadores primarios.
- d) No se realiza la purga de los sedimentadores primarios de forma adecuada por falta de bombas para dicha actividad.
- e) Al no realizar la separación de sólidos en el pretratamiento y el pretratamiento primario los sólidos se acumulan en la zona anóxica de los reactores de lodos activados, lo cual disminuye la eficiencia de los mismos.
- f) Se encontró que la mayor parte de los mezcladores de la zona anóxica se encuentran fuera de operación.
- g) Existen difusores rotos en los reactores biológicos.
- h) Se encontró que las instalaciones metálicas se encuentran corroídas.
- i) La zona de desarenadores presenta malos olores debido a la inadecuada disposición de los sólidos extraídos.
- j) Se requieren reparaciones mayores de varios equipos electromecánicos.

#### **24. Muestreo**

- a) Se encontró que los CF, la materia flotante y el NT exceden los límites permisibles de las normas aplicables.
- b) El resto de los parámetros de la norma se encuentran dentro de los límites de la norma, sin embargo, esto puede deberse a que la planta se encuentra subutilizada ya que solamente se opera con un 57% del caudal de diseño.
- c) No se presentó toxicidad en el efluente antes de la cloración, sin embargo, esta aumenta después del tanque de cloración, probablemente este comportamiento se deba a la formación de cloramidas y/o compuestos organoclorados debido a la presencia de sólidos en el efluente de los sedimentadores.
- d) Debido a que los mezcladores de la zona anóxica se encuentran fuera de operación no se lleva a cabo adecuadamente la nitrificación-denitrificación por lo que se presenta un incremento en los nitratos en la salida de los reactores biológicos.

#### **25. Determinaciones de campo**

- a) En los seis reactores biológicos se puede apreciar claramente un descenso de pH, por lo que se puede establecer que se lleva a cabo plenamente el proceso de nitrificación.
- b) Las concentraciones de oxígeno disuelto en los reactores en una primera parte presentan una tendencia a la alta, debido a que existe menos materia orgánica a oxidar, como es de esperar, sin embargo, en una parte intermedia

presentan un descenso, que puede ser ocasionado por un problema del sistema de difusión de aire. Pero en los puntos finales nuevamente se incrementa.

## **26. Influencia industrial**

- a) La PTAR recibe descargas industriales que se tienen identificadas, en este sentido, se solicita a las industrias que realicen las modificaciones o ajustes para que sus descargas cumplan con los límites que establece la SADM, sin embargo, no se cuenta con la infraestructura adecuada para monitorear todas las descargas.
- b) La relación DBO/DQO se encuentra en un rango de valores entre 0.3 y 0.5 de acuerdo con los datos históricos proporcionados por la PTAR, lo que concuerda con las descargas industriales que se tienen contabilizadas en la planta.

## **27. Evaluación de conocimientos**

- a) El personal de la PTAR cuenta con experiencia para laborar en la planta, sin embargo, la rotación de personal sobre todo en los últimos 5 años no permite que los operadores adquieran suficiente experiencia para el seguimiento de la planta.

## **28. Seguridad**

- a) Existen brigadas de evacuación, primeros auxilios, derrames químicos entre otras en la PTAR.
- b) La planta se encuentra en implementación de la ISO 45001 sobre seguridad e higiene en el trabajo, sin embargo, se requiere incrementar la seguridad en la planta, sobre todo en los accesos al área de pretratamiento.

## **29. Laboratorio**

- a) La planta cuenta con un laboratorio bien equipado que realiza el seguimiento de la calidad del agua de la PTAR.

## **30. Causa que limitan el desempeño de la PTAR**

- a) Falla de rejilla fina.
- b) Desarenador fuera de operación.
- c) Sistema de rastras, desnatador y transportación de sólidos en sedimentadores primarios deshabilitados.
- d) Falta el sistema de agitación en zona anóxica.
- e) Exceso de grasas en canales de conducción de agua residual.

- f) Sistema de difusores dañados.
- g) Bombas de recirculación de lodos fuera de operación.



## 52 CONCLUSIONES

La descarga de agua residual de la PTAR Norte cumple con los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-2021 y las CPD excepto para CF, materia flotante y NT, esto debido principalmente a que las rejillas medianas y finas y los sedimentadores primarios se encuentran fuera de operación u operando de forma inadecuada, lo que impacta en la eficiencia del resto del tratamiento. El resto de los parámetros cumplen con la normatividad debido a que la planta se encuentra subutilizada, por lo que deberá ponerse especial interés en caso de operar la planta a su máxima capacidad.

Las acciones que se necesitan para cumplir con el resto de los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-2021 son:

- i) Rehabilitar las rejillas medianas y finas.
- j) Realizar un mantenimiento general y frecuente a cada una de las unidades de tratamiento.
- k) Rehabilitar los sedimentadores primarios.
- l) Rehabilitar los mezcladores de la zona anóxica.
- m) Cambio de difusores rotos.
- n) Purgar y recircular los sedimentadores de acuerdo con los cálculos del sistema.
- o) Mantener un adecuado manto de lodos (1 m) en los sedimentadores.

**Anexo K. Formato 3. Recursos Humanos**

| <b>Nombre</b>                     | <b>Puesto</b>                         | <b>Escolaridad</b>            | <b>Antigüedad</b> |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| <b>Personal administrativo</b>    |                                       |                               |                   |
| Juan Francisco Hernández González | Oficinista de primera                 | Licenciatura en ingeniería    | 4 años            |
| Nancy Cecilia Rodríguez Cámez     | Secretaria                            | Comercio                      | 11 meses          |
| Humberto Elizondo Sánchez         | Auxiliar de mantenimiento (ascendido) | Licenciatura civil trunca     | 2 años            |
| Rocío Belén Sierra Olivas         | Comisión de seguridad (ascendido)     | Preparatoria                  | 5 años            |
| Jonathan Israel Salazar M         | Comisión de seguridad (ascendido)     | Licenciatura                  | 6 meses           |
| Alain Abdel Tovar Gaytán          | Auxiliar de almacén                   | Ingenieros mecánico eléctrico | 5 años            |
| Homero Treviño Martínez           | Auxiliar de nómina y oficinista       | Licenciatura en ingeniería    | 5 años            |
| Cristopher Iván Loera Martínez    | Operador de procesos (ascendido)      | Lic. en química               | 4 años            |
| <b>Personal Operativo</b>         |                                       |                               |                   |
| Daniel Ibarra Saucedo             | Auxiliar de lodos y digestores        | Preparatoria                  | 12 años           |
| Juan Enrique Leal Bernal          | Auxiliar de lodos y digestores        | Preparatoria                  | 10 años           |
| José Guadalupe Huerta Urbina      | Ayudante auxiliar proceso de lodos    | Secundaria                    | 23 años           |

| <b>Nombre</b>                      | <b>Puesto</b>                               | <b>Escolaridad</b>    | <b>Antigüedad</b> |
|------------------------------------|---|-----------------------|-------------------|
| Juan Pablo Alonso Guerrero         | Auxiliar de lodos y digestores              | Preparatoria          | 9 años            |
| Ricardo Cortez Morales             | Auxiliar proceso pretratamiento (pipas)     | Preparatoria          | 17 años           |
| Ángel Mario Bravo Ramírez          | Auxiliar de lodos y digestores              | Preparatoria          | 12 años           |
| Juan José Llanas Espinoza          | Auxiliar de lodos y digestores              | Secundaria            | 23 años           |
| Francisco A. Romeo Ornelas Vázquez | Auxiliar de lodos y digestores              | Secundaria            | 3 años            |
| Rigoberto Solís Ríos               | Auxiliar de lodos y digestores              | Técnico en enfermería | 24 años           |
| Enrique Benjamín García Hernández  | Ayudante auxiliar proceso de lodos          | Secundaria            | 8 años            |
| Felipe de Jesús López Medrano      | Auxiliar de lodos y digestores              | Preparatoria          | 22 años           |
| Luis Armando Dávila Rodríguez      | Auxiliar proceso pretratamiento             | Secundaria            | 4 años            |
| Pablo Rafael Aguilar Vizcarra      | Auxiliar proceso pretratamiento             | Preparatoria          | 6 meses           |
| Pedro Heriberto Padilla González   | Auxiliar proceso pretratamiento (ascendido) | Secundaria            | 16 años           |
| Héctor Saúl Villarreal Huerta      | Auxiliar proceso pretratamiento             | Preparatoria          | 12 años           |
| Oswaldo Heriberto Elizondo Aguilar | Auxiliar proceso pretratamiento             | Preparatoria          | 10 años           |
| José Luis López Medrano            | Auxiliar proceso pretratamiento             | Secundaria            | 6 años            |
| José Adrián Martínez Luna          | Auxiliar proceso pretratamiento             | Secundaria            | 4 años            |

| <b>Nombre</b>                    | <b>Puesto</b>                               | <b>Escolaridad</b>         | <b>Antigüedad</b> |
|----------------------------------|---|----------------------------|-------------------|
| Juan David Valdez Mancha         | Ayudante auxiliar proceso de lodos          | Licenciatura en ingeniería | 4 años            |
| Jesús Octavio Rivera Chávez      | Ayudante auxiliar proceso de lodos          | Secundaria                 | 5 años            |
| Ricardo Quijano Villalobos       | Auxiliar de proceso de tratamiento          | Preparatoria               | 8 años            |
| Blas de la Cruz Herrera          | Auxiliar de proceso de tratamiento          | Secundaria                 | 3 años            |
| Ricardo Coronado Rodríguez       | Auxiliar proceso pretratamiento             | Preparatoria               | 3 años            |
| Abdón Azael Garza de Anda        | Auxiliar proceso pretratamiento             | Secundaria                 | 3 meses           |
| Roberto Odilon Nieto Rueda       | Auxiliar proceso pretratamiento             | Secundaria                 | 8 meses           |
| Santiago Javier Abad Rodríguez   | Auxiliar proceso pretratamiento             | Preparatoria               | 6 años            |
| Jesús Amaya salas                | Administrador de procesos                   | Técnica                    | 4 años            |
| José Ángel Pantoja Hernández     | Operador de procesos                        |                            |                   |
| Jorge Alberto Peña Sánchez       | Operador de procesos                        | Ing. mecánico              | 7 años            |
| Arnulfo de Jesús González Flores | Operador de procesos                        | Ing. químico               | 2 años            |
| Juan Antonio Hipólito Huerta     | Auxiliar proceso pretratamiento (ascendido) | Secundaria                 | 6 años            |
| <b>Personal Mantenimiento</b>    |   |                            |                   |
| Oscar Omar Rodríguez Gutiérrez   | Mecánico                                    | Secundaria                 | 23 años           |
| Francisco Javier Rosas Villa     | Ayudante mecánico                           | Secundaria                 | 23 años           |

| <b>Nombre</b>                   | <b>Puesto</b>            | <b>Escolaridad</b> | <b>Antigüedad</b> |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|
| Jaime García Alvarado           | Albañil                  | Secundaria         | 24 años           |
| Juan Gabriel Mena Longoria      | Mecánico                 | Secundaria         | 20 años           |
| Luis Carlos Rodríguez Gutiérrez | Eléctrico                | Preparatoria       | 17 años           |
| Martín Leobardo Suárez Cisneros | Mecánico                 | Secundaria         | 20 años           |
| Juan Carlos Molina Elizondo     | Mecánico                 | Secundaria         | 20 años           |
| José Antonio Díaz Aguirre       | Eléctrico                | Secundaria         | 14 años           |
| Héctor Jaime Martínez Hernández | Mecánico (ascendido)     | Secundaria         | 14 años           |
| José de Jesús González Cisneros | Ayudante eléctrico       | Secundaria         | 9 años            |
| Jesús Velazco Luna              | Eléctrico instrumentista | Licenciatura       | 10 meses          |
| Aarón Alejandro Loera Martínez  | Ayudante mecánico        | Preparatoria       | 5 años            |
| Ángel Alejandro Vázquez Salazar | Eléctrico (ascendido)    | Preparatoria       | 3 años            |
| Quenan Josafat García Padilla   | Ayudante mecánico        | Preparatoria       | 8 años            |
| Francisco R. Hernández García   | Ayudante mecánico        | Preparatoria       | 3 años            |
| Juan José Aguilar Arzola        | Ayudante mecánico        | Secundaria         | 4 años            |
| Juan Ramón González Molina      | Ayudante mecánico        | Preparatoria       | 2 años            |

| <b>Nombre</b>                    | <b>Puesto</b>                   | <b>Escolaridad</b>         | <b>Antigüedad</b> |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|
| Leónides Rodríguez Gutiérrez     | Ayudante de albañil (ascendido) | Técnico eléctrico          | 2 años            |
| Everardo Padilla González        | Ayudante de albañil (ascendido) | Secundaria                 | 2 años            |
| Miguel Ángel Martínez Valdez     | Ayudante general                | Secundaria                 | 5 meses           |
| Oswaldo Cruz Rodríguez Regalado  | Ayudante general                | Secundaria                 | 6 meses           |
| Set Sifuentes Cortez             | Ayudante general                | Preparatoria               | 3 años            |
| Carlos Eduardo Díaz Mireles      | Mozo                            | Preparatoria               | 3 meses           |
| Bryan Missael Arredondo Redondo  | Ayudante eléctrico (ascendido)  | Licenciatura en ingeniería | 3 meses           |
| Pedro Pablo Garza Santos         | Ayudante eléctrico              | Preparatoria               | 6 años            |
| José Enrique Medina González     | Ayudante general                | Preparatoria               | 5 años            |
| Félix Ricardo Liñán Garza        | Ayudante general                | Secundaria                 | 4 años            |
| José Guadalupe Macías Villarreal | Ayudante general                | Secundaria                 | 4 años            |
| Ailton Enrique Díaz Balderas     | Ayudante general                | Secundaria                 | 4 años            |
| Leonardo Hasael Elizondo Díaz    | Ayudante general (ascendido)    | Preparatoria               | 3 años            |
| Aldo Gael de la Garza Cisneros   | Ayudante general (ascendido)    | Preparatoria               | 3 años            |
| Rita Elizabeth Ávila Coronado    | Vigilante (ascendido)           | Secundaria                 | 14 años           |
| Gloria Antonia González Ovalle   | Vigilante (ascendido)           | Técnico administrativo     | 8 años            |

| <b>Nombre</b>                           | <b>Puesto</b>               | <b>Escolaridad</b>       | <b>Antigüedad</b> |
|---|-----------------------------|--------------------------|-------------------|
| Priscila Ivón<br>García Banda           | Mozo                        | Preparatoria             | 1 año             |
| Perla Cecilia<br>Martínez<br>Hernández  | Mozo                        | Preparatoria             | 6 años            |
| Rodolfo Esquivel<br>Escobedo            | Superintendente             | Comercio                 | 11 meses          |
| Jairo Adrián<br>Lozano Islas            | Vigilante<br>(ascendido)    | Técnico en<br>enfermería | 5 años            |
| Carlos Alberto<br>Olvera Herrera        | Jefe de<br>mantenimiento    | Ingeniero                | 3 años            |
| Emmanuel Mejía<br>Rodríguez             | Operador unidad<br>de apoyo | Licenciatura             | 2 años            |
| Encarnación<br>Rafael Salas<br>Martínez | Operador unidad<br>de apoyo | Licenciatura             | 2 años            |
| Ricardo Enrique<br>Gloria Izquierdo     | Operador unidad<br>de apoyo | Técnica                  | 22 años           |
| Carlos Edwin<br>Castillo López          | Supervisor de<br>medición   | Ingeniero                | 7 años            |
| Cesar Martínez<br>Hernández             | Vigilante<br>(ascendido)    | Secundaria               | 4 años            |
| <b>Personal Laboratorio</b>             |                             |                          |                   |
| Aida Guadalupe<br>Elizondo<br>Martínez  | Laboratorista               | Licenciatura             | 8 años            |
| Leonardo Daniel<br>Sánchez<br>Fernández | Mozo de<br>laboratorio      | Preparatoria             | 6 años            |
| <b>Otros puestos</b>                    |                             |                          |                   |
| Manuel Flores<br>Cortez                 | Chofer mensajero            | Secundaria               | 17 años           |

**PROGRAMA PRESUPUESTARIO F003**

**PROYECTO No.309621**

**“DIAGNÓSTICO GENERAL DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) MUNICIPALES  
CON INFLUENCIA INDUSTRIAL CONFORME A LA NOM-001-  
SEMARNAT-1996 Y CONDICIONES PARTICULARES DE  
DESCARGA”**

**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO DE  
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
(SIGPTAR)**



## 1. Objetivo

En la actualidad, la información relacionada con las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) en México no está uniformizada y su consulta está disponible de manera dispersa en distintos repositorios en línea. Esto dificulta su aprovechamiento para el establecimiento de políticas públicas en la materia y la toma de decisiones a nivel gerencial. En este contexto, la CONAGUA y el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONHACyT) incluyeron en la demanda 3 de su convocatoria 2019 la ejecución del "Diagnóstico general de operación de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales con influencia industrial según la NOM-001-SEMARNAT-1996 y condiciones particulares de descarga (CPDs)". Este proyecto fue asignado al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y entre sus objetivos incluyó la creación de un Sistema de Información Geográfico (SIG) diseñado para registrar, actualizar y evaluar el funcionamiento de las PTARs. El resultado final, conocido como SIGPTAR, está disponible para su consulta en <https://sigptar.imta.mx>. Este documento describe en términos generales dicha aplicación, con tiene la intención de convertirse en una herramienta valiosa para la gestión integral de información de las plantas de tratamiento. A la fecha, el sistema incluye los datos de 15 plantas de tratamiento que fueron incluidas en el proyecto original, pero tiene la capacidad de ser alimentado para servir como repositorio de todas las PTARs del país.

## 2. Metodología

El desarrollo del sistema parte de la información recolectada para la elaboración de los documentos diagnóstico de las PTARs contempladas en el proyecto. Esta información incluye la caracterización del influente y efluente de las PTAR conforme a la NOM-001-SEMARNAT-1996 y los nuevos parámetros establecidos en el PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017, así como las características del agua residual en el efluente de cada proceso de tratamiento, estrategias para mejorar los procesos de tratamiento y recomendaciones específicas para optimizar la operación de cada PTAR evaluadas. De esta forma, el primer paso fue la estructuración y homogenización de esta información en una base de datos, la cual fue diseñada para dar soporte al almacenamiento y consulta parametrizada de datos. Un extracto de la información contemplada en la base de datos se describe en la tabla 1.

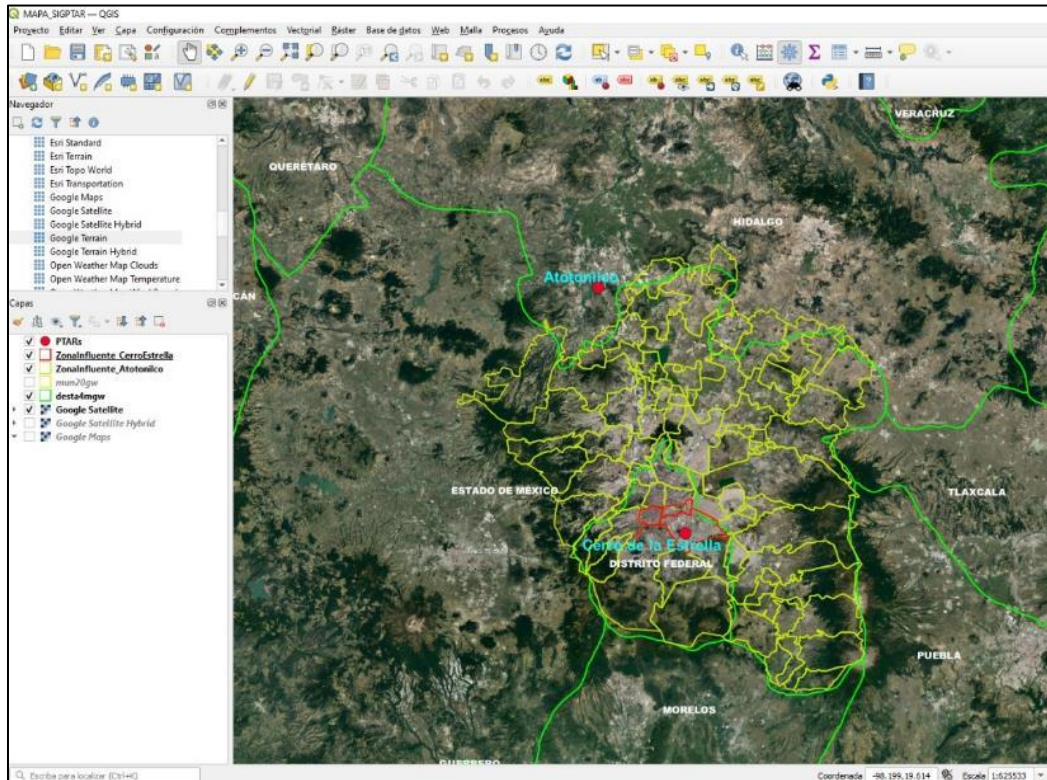
**Tabla 1.** Extracto de la información estructurada en la base de datos

| <b>Temática</b>   | <b>Información</b>  |
|---|---|
| <b>Plantas de tratamiento</b>   | Identificación (número, nombre), ubicación (estado, municipio, latitud, longitud, dirección física, código postal), dimensiones (superficie, volumen influente, volumen efluente), datos generales (fecha de construcción, fecha de operación, población beneficiada, año de actualización, tipo de tratamiento, gasto de diseño, gasto de operación), responsable de operación (nombre de institución, nombre de personal responsable, puesto, correo, teléfono) |
| <b>Personal de PTAR</b>   | Nombre, puesto, tipo, escolaridad, antigüedad.  |
| <b>Documentación de la PTAR</b>   | Tipo documento, tamaño, número de archivos, fecha de recepción, localización, observaciones.  |
| <b>Causas que limitan el desempeño de las PTAR</b>                        | Número consecutivo, nivel (I, II, III), causa limitante (acumulación de lodo en sedimentadores primarios, fuera de operación de agitadores en selectores, presencia de maleza en filtros, falta de cloro para desinfección de agua tratada, falta mantenimiento, etc.), plazo de atención (corto, mediano y largo plazo)  |
| <b>Resultados de los muestreos (muestra compuesta, simple, toxicidad)</b> | Parámetro (pH, temperatura, materia flotante, sólidos sedimentables, grasas y aceites, SST, DBO, N-NH <sub>3</sub> , N-NO <sub>2</sub> , N-NO <sub>3</sub> , NTK, NTK, PT, P-PO <sub>4</sub> , metales, HH, CF, DQO, toxicidad aguda, color verdadero, e. coli, entre otros), unidades, muestra, influente, efluente, resultado NOM-001-SEMARNAT-1996, resultado NOM-003-SEMARNAT-1997, resultado NOM-001-SEMARNAT-2021   |
| <b>Priorización de las causas que limitan el desempeño de las PTAR</b>    | Número consecutivo, nivel (I, II, III), causa limitante, descripción, recomendación.  |

Además de la información estructurada, también se integró a la base de datos una colección de archivos en formato vectorial. Primero, se agregaron tres capas de información: los estados de la república mexicana, los

municipios y los organismos de cuenca (regiones hidrológicas administrativas). Posteriormente, se construyó una capa más con la información de localización de las PTAR seleccionadas dentro del proyecto, en el cual se contemplaron también los polígonos del área de influencia de cada PTAR (ver por ejemplo la Figura 1, el mapa de ubicación de las PTAR Atotonilco y Cerro de la Estrella). La localización de cada planta y el área de influencia fueron obtenidos de los documentos diagnósticos proporcionados por el IMTA. El software utilizado para este procesamiento fue QGIS Desktop versión 3.22.8.

El siguiente paso fue la construcción del código de la aplicación. El método de desarrollo propuesto consistió en el modelo por prototipos. Esta técnica permite obtener resultados eficientes al diseñar y analizar una aplicación en corto tiempo que representaba el sistema que sería implementado (McCracken y Jackson, 1982). Dicha aplicación, llamada prototipo, ya estaba compuesta por los componentes que implementaban las funcionalidades principales, pero que son refinadas conforme se avanza en un ciclo iterativo retroalimentado. Los requerimientos para el desarrollo del sistema y la base de datos fueron especificados por el anexo técnico de la demanda 3, pero estos fueron complementados primero por los integrantes del proyecto por parte del IMTA y posteriormente por medio de entrevistas a usuarios potenciales del sistema. Una vez compilados los requerimientos, estos fueron presentados para su revisión y aprobación por parte de la CONAGUA.



**Figura 929.** Mapa con ubicación de las PTAR y zonas del influente (Atotonilco y Cerro de la Estrella)

El sistema propuesto se basa en una aplicación web con diversos módulos. En el módulo de captura, se llevan a cabo operaciones CRUD para alimentar la información del sistema, permitiendo la actualización de la base de datos mediante una interfaz que posibilita agregar, editar o eliminar registros de manera individual. También se contempla la importación masiva de información desde diferentes fuentes. El módulo de diagnóstico realiza la retroalimentación de las plantas de tratamiento, generando una comparativa de los parámetros de calidad del agua y analizando la eficiencia de remoción y la operación unitaria. Además, permite proponer alternativas de solución y analizar la capacitación del personal y las instalaciones. El módulo de consulta y visualización de información georeferenciada incluye sub-módulos para la gestión, búsqueda por filtros, representación de datos, exportación de datos y tableros con gráficas dinámicas, proporcionando información relevante de forma dinámica e interactiva. El módulo principal de consulta está integrado por un mapa

que presenta la información más importante del sistema, permitiendo su acceso de manera gráfica e intuitiva.

Finalmente, la aplicación fue complementada con un manual de usuario, el cual describe paso a paso el modo de acceso y uso de la aplicación.

### 3. Tecnologías de desarrollo

El sistema fue desarrollado en su componente back-end por módulos funcionales elaborados en el lenguaje Python que se ejecutan en el framework Flask (versión 3.0). La componente front-end fue desarrollada con el framework Bootstrap. El visualizador de mapas emplea el plugin Leaflet y el manejador de base de datos es MaríaDB, versión 10.5.21.

### 4. Resultados

Para ingresar al sistema SIGPTAR se deberá acceder al siguiente enlace: <https://sigptar.imta.mx>. El acceso a la aplicación requiere de un usuario y contraseña previamente registrado en el sistema. La autenticación del usuario permite identificar el nivel de acceso a la aplicación. SIGPTAR distingue tres niveles de acceso (o perfiles de usuario):

- Consulta. Se proporciona acceso a al SIG, reportes, pantallas de consulta en general.
- Captura. Se proporciona acceso a las opciones de consulta, pero también permite acceso al menú de captura, con la posibilidad de modificar los catálogos, la información de las plantas de tratamiento, sus evaluaciones y los resultados del diagnóstico.
- Administrador. Obtiene acceso a las opciones de consulta y captura, además de que puede realizar el registro y edición de los usuarios del sistema y acceder a opciones de configuración críticas de la aplicación.

Una vez dentro de la aplicación, el sistema mostrará la página principal (Figura 2):



Figura 930. Pantalla principal del sistema SIGPTAR

Como puede observar, la información se organiza en menús principales:

- Consulta. Este menú proporciona acceso a información general de cada planta de tratamiento, como su ubicación, documento diagnóstico, parámetros y características. También incluye dos tableros donde es factible comparar los parámetros y las características de varias plantas de tratamiento al mismo tiempo, así como realizar la generación de informes. Como ejemplo, se puede observar la Figura 3, que muestra la interfaz de consulta del mapa, donde se accede a otros apartados de consulta de la aplicación.
- Diagnóstico. Este menú proporciona acceso a los bloques de información empleados para la construcción del diagnóstico, lo que incluye los resultados de los muestreos (muestra compuesta, muestra simple, toxicidad, entre otros), la información documental recopilada, parámetros muestreados por planta, datos del personal, limitaciones y recomendaciones de desempeño para mejorar las PTARs. Como ejemplo, observe la Figura 4, que muestra la pantalla de consulta de los parámetros muestreados por planta, tipo de norma y sitios de muestreo.
- Captura. Este menú proporciona acceso a las pantallas que permiten la modificación de la información del sistema, como las plantas de

tratamiento, los usuarios y el personal, entre otros bloques de información.



Figura 931. Localización de plantas de tratamiento (Ejemplo Zaragoza)

**SIGPTAR** Consulta ▾ Diagnóstico ▾ Captura ▾  iuhthoff ▾

**Parámetros y sitios de muestreo**

Planta Cerro de la Estrella ▾ Filtrar 

| L... | P... | Descripción                   | N... | NOM-001-SEMARNAT-1996               |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
|------|------|-------------------------------|------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|      |      |                               |      | pH                                  | Tempe...                            | Materi...                           | Sol. Se...                          | Grasas...                           | SST                                 | DBO5                                | NT                                  | PT                                  | Metales                             | HH                                  |                                     |
| 16   |      | Influente PTAR                | 1    | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 17   |      | Efluente PTAR                 | 1    | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 18   |      | Influente Sed. primarios ...  | 1    | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |                                     |
| 19   |      | Efluente sed. primarios N...  | 8    | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |                                     |
| 20   |      | Reactor biológico Norte       | 8    | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |                                     |
| 21   |      | Efluente Sed. Sec. Norte      | 9    | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |                                     |
| 22   |      | Influente sed. primarios S... | 1    | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |                                     |
| 23   |      | Efluente Sed. primarios Sur   | 6    | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |                                     |
| 24   |      | Reactor biológico Sur         | 6    | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |                                     |
| 25   |      | Efluente Sed. Sec. Sur        | 5    | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |                                     |

First Prev 1 Next Last

Figura 932. Información tabular de los parámetros y sitios de muestreo de las PTAR

## 5. Conclusión

El desarrollo del sistema SIGPTAR representa un enfoque integral y eficiente para la gestión de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. La implementación de módulos como el de captura, con funciones CRUD y la capacidad de importación masiva, destaca por mejorar la eficiencia operativa en la actualización y mantenimiento de la base de datos. El módulo de diagnóstico proporciona un análisis avanzado, evaluando parámetros de calidad del agua, eficiencia de remoción y ofreciendo propuestas de solución, contribuyendo a la realización de un diagnóstico exhaustivo. La inclusión de un módulo de consulta y visualización geo-referenciada, con opciones de búsqueda, representación de datos y tableros de consulta dinámicos, refuerza la utilidad del sistema. En conjunto, el SIGPTAR emerge como una herramienta completa que no solo gestiona información, sino que también brinda un apoyo sustancial a la toma de decisiones en la gestión integral de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.