



**NORTH AMERICAN DEVELOPMENT BANK**  
**COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA**  
**SUBDIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA**  
**GERENCIA DE DISTRITOS DE RIEGO**

**INTEGRAL MODERNIZATION OF THE VALLE DE JUÁREZ  
IRRIGATION DISTRICT 009 AND TREATED WASTEWATER FOR  
FRESH WATER IN THE VALLE DE JUÁREZ, CHIHUAHUA No.  
IDP210-09/08**

**RESUMEN EJECUTIVO  
ESTUDIOS  
CIFRAS IMPORTANTES**

**Informe Final**

México, 2010

## **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.**

Secretario.

Ing. Juan Rafael Elvira Quesada.

### **Comisión Nacional del Agua.**

*Director General.*

Ing. José Luis Luege Tamargo.

*Subdirector General de Infraestructura Hidroagrícola.*

Ing. Sergio Soto Priante.

*Gerente de Distritos de Riego.*

Dr. Luis Rendón Pimentel.

Organismo de cuenca Río Bravo

Ing. Pedro Garza Treviño.

*Dirección local Chihuahua*

Ing. Sergio A. Cano Fonseca.

### **North American Development Bank**

*Director General.*

Ing. Jorge C. Garcés.

Gerente Técnico

Oscar Cabra Jr.

Gerente Administrativo

Lic. Arturo Ibarra

### **Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.**

*Director General.*

Dr. Polioptro Martínez Austria.

*Coordinador de Riego y Drenaje.*

MC. Fernando Fragoza Díaz

*Subcoordinador de Operación y Mantenimiento de  
Infraestructura Hidroagrícola.*

MC. José Ramón Lomelí Villanueva.

*Jefe de Proyecto.*

Dr. Javier Ramírez Luna



**North American Development Bank**  
**COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA**  
**SUBDIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA**  
**GERENCIA DE DISTRITOS DE RIEGO**

**INTEGRAL MODERNIZATION OF THE VALLE DE  
JUÁREZ IRRIGATION DISTRICT 009 AND TREATED  
WASTEWATER FOR FRESH WATER IN THE VALLE DE  
JUÁREZ, CHIHUAHUA No. IDP210-09/08**

**RESUMEN EJECUTIVO  
ESTUDIOS  
CIFRAS IMPORTANTES**

**Informe Final**

México, 2010

## **DIRECTORIO**

### **Comisión Nacional del Agua**

Ing. José Luis Luege Tamargo

### **Subdirector General de Infraestructura Hidroagrícola**

Ing. Sergio Soto Priante

### **Gerente de Distritos de Riego**

Dr. Luis Rendón Pimentel

### **Dirección Organismo de cuenca Río Bravo**

Ing. Pedro Garza Treviño

### **Dirección local Chihuahua**

Ing. Sergio A. Cano Fonseca

## **North American Development Bank**

### **Director General**

Ing. Jorge C. Garcés.

### **Gerente Técnico**

Oscar Cabra Jr.

### **Gerente Administrativo**

Lic. Arturo Ibarra

## **Instituto Mexicano de Tecnología del Agua**

### **Director General**

Dr. Polioptro Martínez Austria

### **Coordinador de Riego y Drenaje**

MC. Fernando Fragoza Díaz

### **Subcoordinador de Operación y Mantenimiento de Infraestructura Hidroagrícola**

MC. José Ramón Lomelí Villanueva

### **Jefe de Proyecto**

Dr. Javier Ramírez Luna

### **Participantes**

Ing. Miguel Nuñez Nava

Ml. Ernesto Olvera Aranzolo

MC. Ramiro Vega Nevárez

Ing. Omar Ballesteros

Ing. Serafín García.

Ing. Giovanni Rodríguez

Ing. Magdalena González

Ing. Cesar Catana

Asociaciones de usuarios del DR 009.

México, 2010

---

# INTEGRAL MODERNIZATION OF THE VALLE DE JUÁREZ IRRIGATION DISTRICT 009 AND TREATED WASTEWATER FOR FRESH WATER IN THE VALLE DE JUÁREZ, CHIHUAHUA No. IDP210-09/08

---

RD-0914.3 NADBANK

Contract No. 75120329

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

COORDINACIÓN DE RIEGO Y DRENAJE

SUBCOORDINACIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA

GRUPO TECNIFICACIÓN INTEGRAL DE ZONAS DE RIEGO

# TABLA DE CONTENIDO

## Contenido

Resumen ejecutivo.....	4
Estudio de superficie agrícola.....	8
Aplicación del sistema G-SIPPAD .....	8
Sistema G-SIPPAD .....	13
Conclusiones parciales .....	21
Estudio urbano .....	22
Crecimiento urbano de Ciudad Juárez y poblados del valle agrícola.....	22
Modelación del crecimiento urbano.....	27
Conclusiones parciales .....	31
Estudio de calidad del agua residual.....	32
Calidad del agua.....	32
Análisis y recomendaciones.....	43
Conclusiones parciales .....	45
Estudio hidrológico de microcuencas .....	47
Problema de erosión hídrico-eólica .....	47
Propuestas y resultados .....	51
Conclusiones parciales .....	53
Estudio hidroagrícola y reconversión de cultivos .....	55
Introducción .....	55
Estadística hidroagrícola y eficiencias reportadas .....	62
Requerimientos de riego de los cultivos del Valle .....	64
Corroboración del desempeño del DR 009 .....	68
Propuesta de cultivos y reconversión .....	72
Experiencia del DR 003, Tula Hidalgo y manejo de cultivos en regadíos de agua residual.....	73
Conclusiones parciales .....	78
Estudio de proyección de volúmenes para riego 2030 .....	80

Visión de infraestructura.....	80
Proyección de volúmenes disponibles .....	81
Conclusiones parciales .....	87
Estudio de tecnificación parcelaria, redes de distribución y bordos de almacenamiento .....	88
Criterios generales de diseño .....	90
Proyectos de bombeos en línea para riego parcelario y almacén de bordos .....	91
Proyectos de bordos de almacenamiento.....	100
Proyectos de tecnificación de la red de distribución menor, interparcelaria y sistemas de riego baja presión a nivel parcelario.....	116
Ejemplos de sistemas tecnificados .....	142
Costos totales y por hectárea .....	144
Conclusiones parciales .....	145
Desalación del agua del acuífero somero con energía solar y agricultura intensiva.....	147
Rechazo de Membranas.....	149
Descripción de la propuesta tecnológica .....	152
Costos.....	153
Conclusiones parciales .....	154
Estudio de acuíferos.....	155
Modelación de escenarios.....	155
Costos de extracción y sobre explotación .....	158
Conclusiones parciales .....	158
Recomendaciones sobre el uso de agua residual.....	161
Recomendaciones de drenaje agrícola .....	164
Problemática de la red de Drenaje del DR 009.....	164
Recomendaciones generales para resolver o atenuar la problemática.....	165
Recomendaciones para mejorar el funcionamiento de la red de drenaje.....	166
Limitante importante del proyecto.....	166
Capacitación a usuarios.....	166
Conclusiones.....	169
Referencias.....	175

# Resumen ejecutivo

Grandes actividades realizadas.

**Estudio preliminar.** Se redefinen y adecuan líneas de trabajo del proyecto. Alta presión a baja presión y bordos de almacenamiento por causas de salinidad y grasas en las aguas residuales así como falta de capacidad de depuración. Intercambiar agua de tratado a nivel de presa del Caballo y construcción de la potabilizadora y acueducto binacional (solo se menciona no se realiza anteproyecto ejecutivo). Trabajo preliminar entregado impreso y denominado “Sobre el problema de presión hídrica en el Valle de Juárez”, y “Planteamiento del problema y propuesta de tecnificación”. Se entregan documentos magnéticos.

**Estudio de superficie agrícola.** Se utilizó el sistema G-SIPPAD (parte del MZ SIG) que contienen bases de datos del padrón de usuarios ligados a las parcelas geo-referidas en imágenes de satélite. El sistema permite la edición en ambas partes bases e imagen. Se tiene la estadística del padrón y la lotificación a nivel DR, entonces el plano catastral. El G-SIPPAD exporta la información y mapas al Arc-View.

**Estudio urbano.** Se tienen los elementos para distinguir la población a 2015-20-25 y 30 en ciudad Juárez en base a modelos de crecimiento con y sin restricciones por parte del municipio. Por ende se conoce el efluente de agua residual proyectado a diferentes años. Se retoma el volumen estimado de escurrimiento urbano para ingresarlo a la red de distribución.

**Estudio de calidad del agua residual.** Se distingue la calidad del agua residual y del tratado desde 4 puntos de vista, demanda biológica, contenido de grasas y aceites, salinidad y salud pública. Se concluye sobre la limitante de salinidad y aceites para no promover el riego a alta presión. La capacidad de depuración resultó limitante. Se determina la salinidad del acuífero somero con restricciones severas de uso de agua para riego de la parte aguas arriba hacia las aguas abajo y de ahí la propuesta de la desalación del agua salobre existente con energía solar en agricultura intensiva. Se analiza la calidad de la mezcla de agua residual y salobre. Se concluye sobre los porcentajes de volúmenes mezclados. Se corrobora el efluente residual mediante medición.

**Estudio hidrológico de micro-cuencas.** Se tienen los elementos y propuestas de control de azolve y conservación de microcuencas limitantes del problema de erosión eólico-hídrica. Se cuenta con propuesta de presas de almacenamiento y/o filtración de volumen de agua pluvial para riego y/o recarga al acuífero (los vasos están localizados y quedan a nivel de propuesta). Estudio realizado sobre modelo de elevación digital.

**Estudio hidroagrícola y propuesta de reconversión de cultivos.** Se determina el desempeño de la zona de riego. Se corroboran eficiencias de aplicación y conducción mediante muestreo. Se determina el volumen ahorrado de acuerdo a la propuesta de tecnificación. Se enuncia los cultivos tolerantes históricamente establecidos y otros que pueden desarrollar bajo la calidad actual del



agua. Se propone el establecimiento mediante manejo de hortalizas con manejo de aguas negras (tipo Valle del Mezquital).

**Estudio de proyección de volúmenes para riego (2030).** Se relacionan las diferentes fuentes de abastecimiento de agua para riego, efluente residual con tendencia restrictiva de consumo de agua por habitante (estudio urbano), agua pluvial urbana, agua pluvial de microcuencas (estudio hidrológico), volumen ahorrado (estudio hidroagrícola), volumen de agua residual invernal, volumen requerido de mezcla y bombeo del acuífero somero (estudio de calidad del agua residual). Se determina la capacidad de almacenamiento de los bordos, prácticamente  $100 \text{ M m}^3$ . Se concluye sobre la disponibilidad y manejo del agua de riego. El volumen de desalación solo interviene en la propuesta de tecnificación para agricultura intensiva.

**Estudio de tecnificación parcelaría, redes de distribución y bordos de almacenamiento.** Debido a la calidad físico-química del agua para riego se optó por el riego a baja presión. El volumen residual verano-invernal, urbano-microcuencas pluvial, volumen ahorrado y de pozos-mezcla-residual debe ser almacenado en los bordos de almacenamiento, debe ser cuidadosa y disciplinadamente almacenado, bajo un solemne criterio, por un lado aprovechando la mezcla de agua salobre del acuífero somero y el agua residual para limitar la “brea” y su impacto nocivo en cultivos establecidos y por el otro lado un manejo adecuado de volumen disponible en periodo de lluvias para aprovechar la mezcla con agua pluvial y mejorar la calidad del agua de los bordos.

El impacto del almacenamiento será tal que la operación y los planes de riego obedecerán a la reserva garantizada de agua en los mismos (hasta finales del mes de Febrero), junto con el caudal continuo del efluente residual. El criterio de diseño de la distribución fue en alta eficiencia de conducción (flujo en tuberías) y de aplicación del agua parcelaria en continuidad de las tuberías multicompuertas móviles en las longitudes de surco o melgas grandes respetando el diseño óptimo del riego por gravedad, por lo tanto con mucha mayor eficiencia que el uso actual del agua.

Un enfoque restrictivo de diseño es requerido para garantizar la entrega de agua en los años críticos favoreciendo el tandeo riguroso en la distribución para incrementar la eficiencia global. La distribución de volumen en línea del canal se hará con bombeos directos del mismo garantizados a partir de efluente diario residual, mientras que en excedencias de agua disponible para riego se bombeará del canal o red de distribución a los bordos según requerimiento. El caudal de bombeo de las estaciones supera al de la capacidad del canal para flexibilizar tanto el caudal de bombeo como el volumen almacenado en los bordos.

El agua de los bordos fluirá con energía potencial al estar estos dispuestos en cotas superiores a las parcelas de cultivo.

Los bombeos se diseñaron para garantizar con flexibilidad el bombeo de la capacidad de conducción máxima del canal y requieren de un cárcamo de almacenamiento relativamente grande según las necesidades de caudal a bombear para evitar flujos rotacionales y favorecer el mejor bombeo de caudal. El costo de las 11 estaciones de bombeos es del orden de \$ 111.2

Millones de pesos. Los anteproyectos ejecutivos se integraron en carpetas que constan de documentos de diseño para cárcamo de bombeo, caseta de operación, equipo electromecánico y subestación eléctrica, costos, y catálogo de equipo electromecánico, términos de referencia y planos constructivos para las estaciones de bombeo.

Los bordos se localizaron en depresiones naturales y disponibilidad de terreno más cercanas a las áreas respectivas de riego. En los diseños se trata de evitar la contaminación de las fuentes de agua dulce, como son las zonas de recarga de los acuíferos no contaminados. Por lo tanto, se abordaron diseños de presas de tierra (cortina de corazón de arcilla, con enrocamiento interior ordenado y al volteo en el exterior) con impermeabilización de geo-membrana sobre material organizado y disminución de asperezas punzo-cortantes, diseño de la obra de entrada (agua proveniente de los bombeos en línea del canal) con disipación de energía (salto de sky y acabado en roca) para evitar dañar a la geo-membrana, diseño de vertedor u obra de salida y estructura de amortiguamiento (salto de sky) y obra de toma toda en acero y concreto reforzado, de ahí parte la unión de la tubería de acero a la tubería PVC del regadío. Los datos importantes para el diseño de los bordos de almacenamiento son su capacidad, caudales máximos de entrada y de salida y la carga máxima (sobrada ligeramente para incrementar la flexibilidad del riego). La construcción de cinco bordos es del orden de \$ 3,101 Millones de pesos. El costo de la tubería de conducción, como pieza especial, de entrada y salida de agua de los bordos de almacenamiento fue de 145.3 Millones de pesos.

Las carpetas se organizan en documento de generalidades, términos de referencia, planos de localización con vistas en planta y detalles de la cortina, ubicación de estructuras de entrada, salida y obra de toma, plano de detalles de obra de entrada, de obra de salida y obra de toma.

La tecnificación se realizó para 11,502 ha localizadas en las Unidades 1 (356 ha de área compacta), 2 y 3 (el resto) en riego a baja presión con alimentación a partir de bombeos directos del canal y de bordos de almacenamiento, y unas 908 ha de nivelación en la Unidad 1. Se obtuvo un costo promedio de hectárea de y un total de \$ 30.8 mil pesos. No debe olvidarse que esta tecnificación incluye el cambio a tubería de PVC de la red de distribución y el propio sistema de riego en multicompuertas. En la tecnificación parcelaria se aborda en los términos de referencia la nivelación de parcelas (toda superficie tecnificada debe ser nivelada).

Las 11502 ha de tecnificación a baja presión resultaron en un costo de \$ 402 Millones de pesos mientras que la nivelación de las 12410 ha ascendió a \$ 99.4 Millones de pesos, dando un total de \$ 501.4 Millones de pesos.

Los ante-proyectos ejecutivos se presentan en carpetas con componente de generalidades, términos de referencia para su licitación, planos generales, planos constructivos y en su caso de detalles y planos unifilares.

Con 10 ha de desalación-invernadero, el monto total de tecnificación alcanza el orden de los \$ 3,859.2 Millones de pesos.

**Desalación del agua del acuífero somero con energía solar y agricultura intensiva.** Se propone utilizar el agua salobre mediante el uso de energía solar para su depuración y utilizarse en la agricultura intensiva. Se realizaron diseños de invernaderos según la superficie (6 proyectos) 500 m<sup>2</sup>, (7 proyectos) 1000 m<sup>2</sup>, (5 proyectos) 3000 m<sup>2</sup>, (5 proyectos) ½ de ha y (5 proyectos) 1 ha, donde se hicieron cálculos de suministro de energía, membranas de ósmosis inversa, almacenamientos, propuesta de refrigeración-calefacción y el propio invernadero. El monto propuesto inicial asciende a \$ 88 Millones de pesos para 10 ha y para 100 ha es de 884 Millones de pesos. Si se incluyen en el presupuesto global se alcanza la cifra de \$ 3,947.6 Millones de pesos e incluidas las 100 ha se eleva a \$ 4,743.2 Millones de pesos.

**Recomendaciones para los organismos depuradores del agua residual.** De acuerdo con el estudio de aguas residuales se hacen recomendaciones en la depuración del agua residual para mejorar el problema de salud pública del valle de Juárez.

**Recomendaciones de drenaje agrícola.** Se hacen recomendaciones sobre manejo y conservación del sistema de drenaje superficial-subsuperficial.

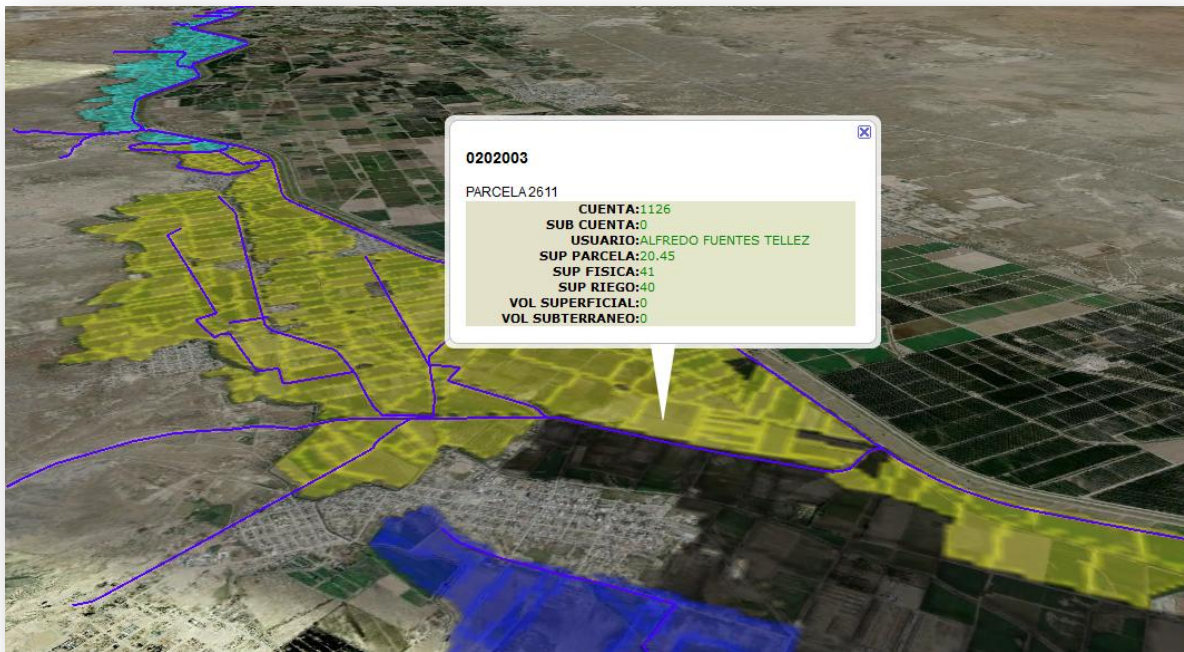
**Estudio de acuíferos.** Se determinaron los volúmenes históricos extraídos y se contó con información de características del acuífero (Bolsón del Hueco). Se obtuvo información de la política de operación e información de niveles freáticos de calibración del modelo hidrodinámico y se formuló el balance de agua subterránea. Se incorporó un análisis de las políticas de operación y de costos de bombeo y costos de sobre-explotación del acuífero. Se obtuvo que la inversión de la propuesta equivale al 26.85% (caso 10 ha) o 32.26% (caso 100 ha) del costo aportado por el ahorro en extracción de agua por bombeo y el costo de sobre explotación del acuífero BH.

**Capacitación a usuarios.** Se anexa reporte de capacitación a usuarios sobre procedimientos de tecnificación integral del DR 009 y manejo del sistema ICAM-Riego como parte del uso del sistema de pronóstico del riego en tiempo real, se anexa al presente una descripción general del sistema orientada al mejoramiento de la operación y una tecnología confiable para obtener información en tiempo real (intervalos diarios) y disponer de la misma en las diferentes rutas de información comerciales disponibles.

**Realización de reportes.** Se realizaron reportes parciales y final.

## Estudio de superficie agrícola

En este estudio se obtuvo el **plano catastral del DR 009**, además de disponer de un manejo flexible de la información de usuarios en base de datos e imagen de satélite. Se utilizó el sistema G-SIPPAD (el primer sistema de información geográfica hecho en México) que contienen bases de datos ligados a las imágenes de satélite. El estudio permitió identificar la presión urbana sobre la superficie agrícola. El sistema MZ-SIG en su variante G-SIPPAD, permite dar de alta parcelas y usuarios, con información de la base de datos del DR 009. Se identificó el trabajo satelital con ortofotos e imágenes satelitales del Google Maps.



## Aplicación del sistema G-SIPPAD

Se identificaron 20175.55 has, en 2811 parcelas, con un promedio de 7.17 ha.

**Superficie total:** 20175.55 ha.

**Número de parcelas:** 2811

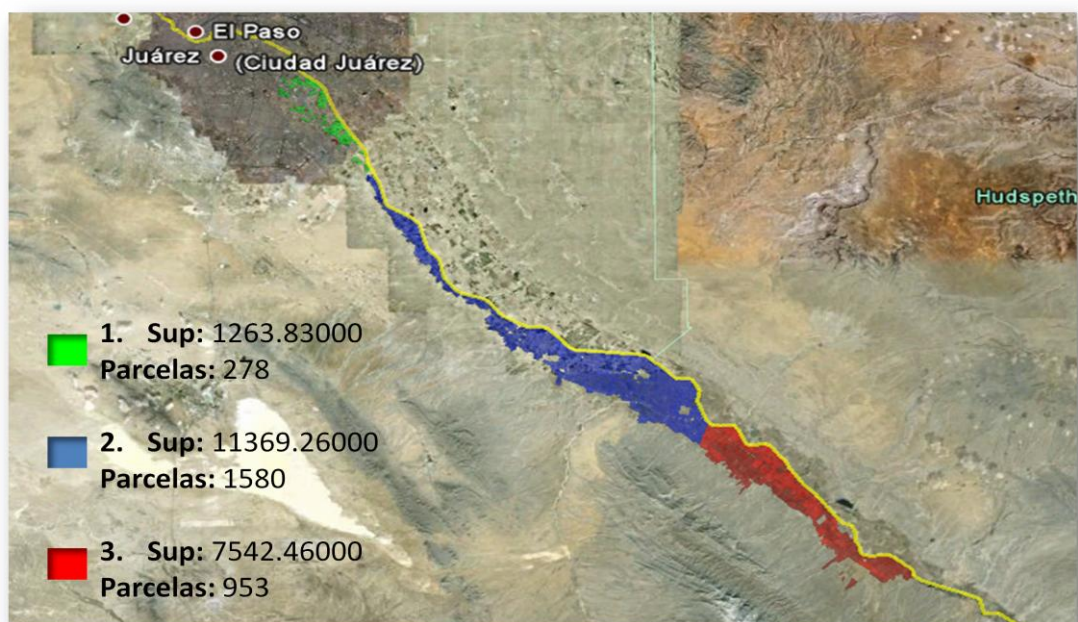
**Superficie media:** 7.17736 ha.

**Superficie máxima:** 152.61

**Superficie mínima:** 0.08

El DR 009 se compone de la Unidad 1, compuesta de una superficie de 1,263.83 ha en 278 parcelas, de la Unidad 2 con una superficie de 11369.26 ha en 1580 parcelas y la Unidad 3 con una superficie de 7542.46 ha en 953 parcelas. La Unidad 1 es evidente que sufre la invasión de la superficie urbana.

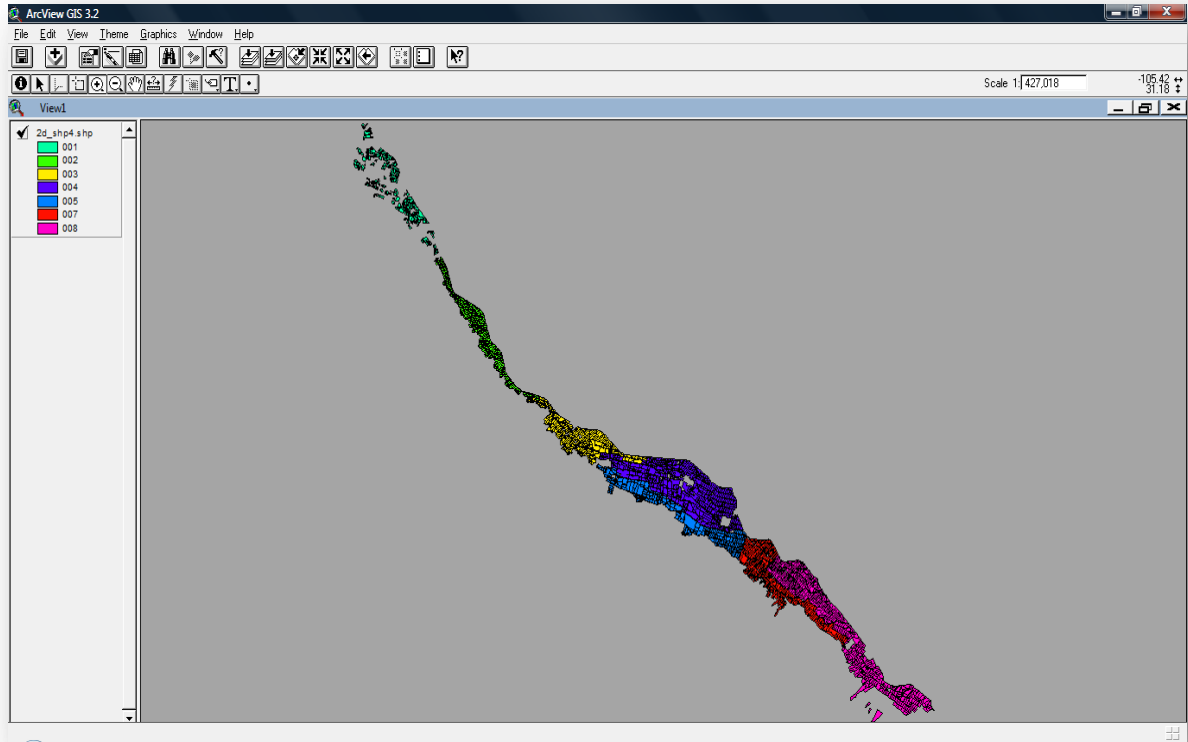
Se reconocieron 3 unidades de riego.



Para mostrar la compatibilidad de información del sistema G-SIPPAD y su exportación al sistema comercial ARC/VIEW se muestran a continuación mapas correspondientes.

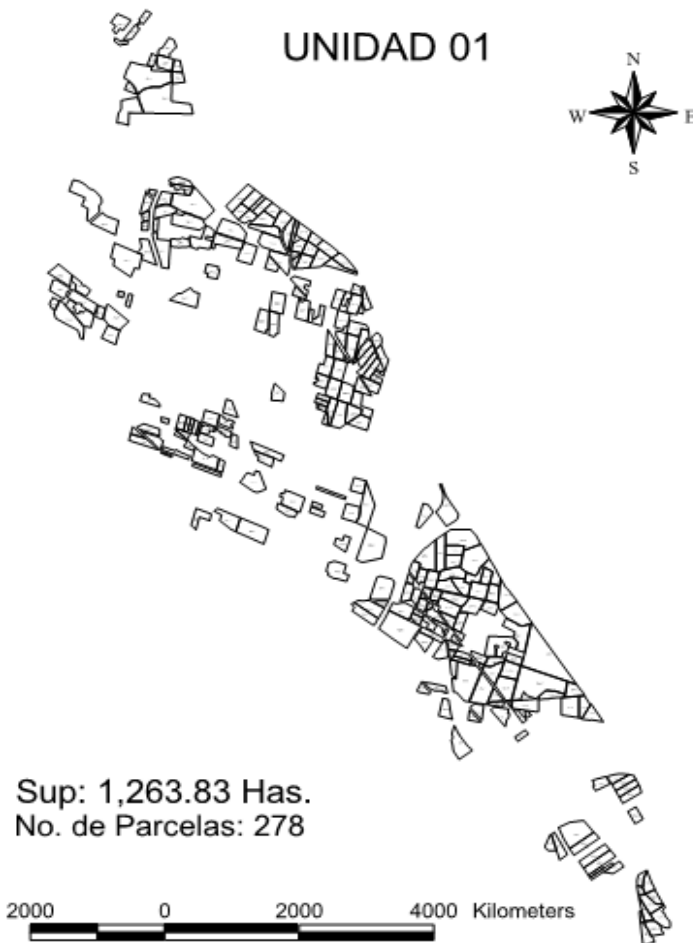
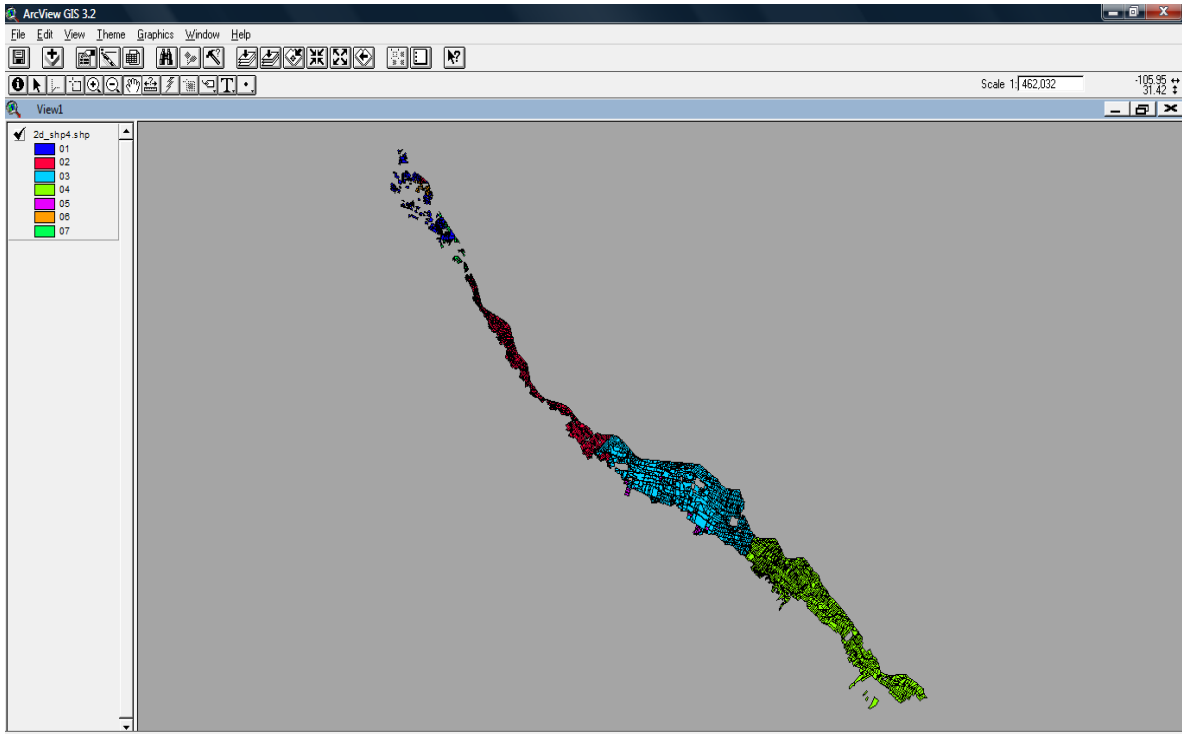
Se identificaron 8 secciones, las cuales presentan una distribución de superficie como se muestra en la siguiente tabla:

SECCION	Total
1	<b>1263.83</b>
2	<b>1737.18</b>
3	<b>2179.53</b>
4	<b>4965.21</b>
5	<b>2487.34</b>
7	<b>2494.69</b>
8	<b>5047.77</b>
<b>Total general</b>	<b>20175.55</b>



Se identificaron 7 módulos de riego con la distribución de superficie que se muestra en la tabla:

MODULO	Total
01	942.21
02	3020.62
03	8211.46
04	7542.46
05	166.94
06	96.09
07	195.77
Total general	20175.55



Se ha determinado la superficie regable al año 2009, es evidente que el área de crecimiento urbano somete a presión la parte agrícola de la Unidad 1, además de que el crecimiento urbano a las riveras del río Bravo tiende a desaparecer la agricultura del DR 009.

Para mostrar la relación del padrón de usuarios con las parcelas en los mapas satelitales se presentan las siguientes ilustraciones. Las parcelas en mapa ArcView se muestran con su respectiva cuenta y subcuenta cuyos números están relacionados con los usuarios oficiales (Padrón de usuarios)

La base de datos y el programa

se encuentran instalados en las máquinas del DR 009.

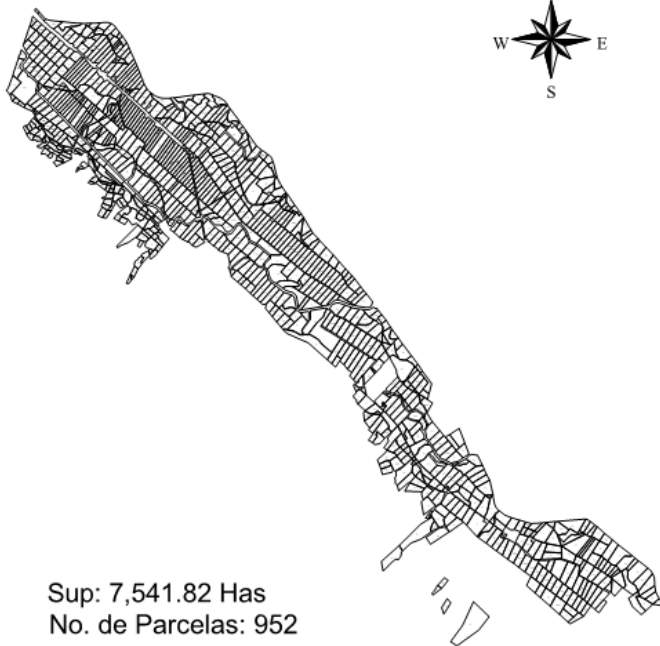
### UNIDAD 2



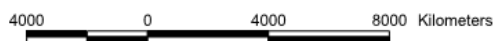
Sup: 11,369.26 Has  
No de Parcelas: 1,580



### UNIDAD 3



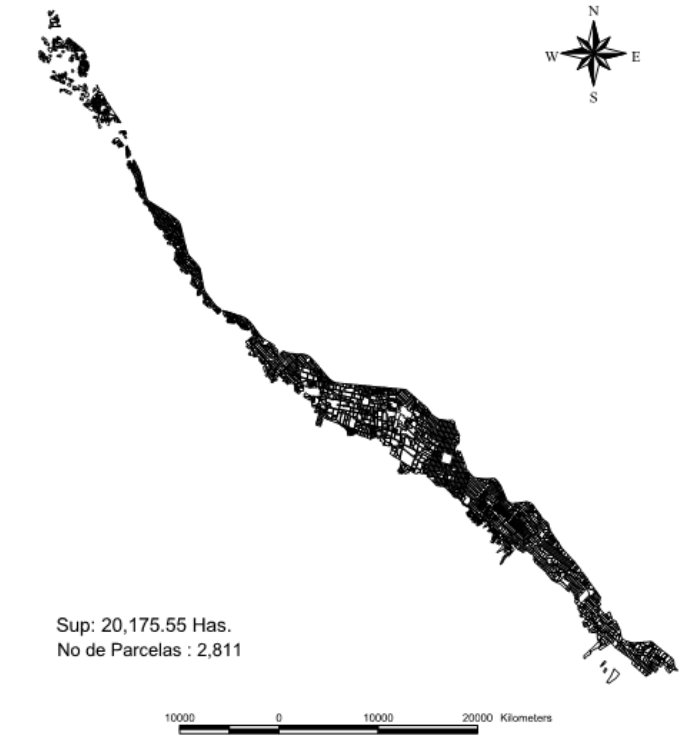
Sup: 7,541.82 Has  
No. de Parcelas: 952





---

DISTRITO DE RIEGO 009 VALLE DE JUAREZ CHIH.



La base de datos del padrón de usuarios se entrega en disco magnético y está habilitada en las bases de datos del sistema que está instalado en el DR 009.

Resulta difícil de tecnificar el riego y la conducción en el área agrícola esparcida de la Unidad 1 por lo que se recomienda al DR 009 y al Municipio generar políticas de ocupación de dicha superficie para beneficiar de dicho volumen a otra superficie con vocación agrícola.

Se aborda a continuación una muy breve descripción del sistema.

## Sistema G-SIPPAD

El sistema se compone de 4 herramientas fundamentales, a saber, Padrón, Catálogos, Mapas y Reportes.

Padrón que es la forma para dar de alta, seleccionar, eliminar y corregir la información de un usuario. Esta forma de edición también puede hacerse directamente sobre el mapa satelital. Es evidente que el usuario y sus atributos se ligan a una parcela en la imagen de satélite. En modo edición si modifica las bases de datos en su forma de editar entonces se modifica la información que se exhibe en la forma de edición en la imagen satelital y viceversa.

Catálogo se refiere a la forma de donde se editan los catálogos de la red de distribución, tenencias, niveles operativos, localidades, ejidos, tipos de tenencia, texturas, sistemas de riego, etcétera. Evidentemente estos sirven para localizar las parcelas referidas a la red de distribución, a una

localidad, a un nivel operativo, además de dar a conocer el tipo de tenencia, el tipo de textura, el sistema de riego, etcétera, que se encuentra en la parcela en cuestión.



Los mapas son referidos a la información parcelaria contenida y están ligados a la base de datos de los usuarios, esta herramienta permite exportar, localizar en imagen, imprimir el trazo de parcelas, drenes y canales, caminos, etcétera. En particular permite la exportación de información del G-SIPPAD al sistema Arc/view.

Los reportes gráficos y de tipo texto están ligados a los mapas, más si es de interés de la asociación o de la CONAGUA, el sistema le permite realizar reportes gráficos y de texto personalizados desde información propia del usuario, hasta de grupos de usuarios, ejidos, etcétera expresados en reportes generales.

ID	PARCELA	USUARIO_DEL_DISTRITO	SECCION	EJIDO	SUP_FISICA
2769	616-1	JUAN GORDILLO ESCOBAR	001	ZARAGOZA	2.92
2770	616-2	JUAN GORDILLO ESCOBAR	001	ZARAGOZA	3.5
2804	1416-5	JUAN MANUEL JIMENEZ CONTRERAS	004		8
2812	773-2	JUANA TERRONES MENDOZA	002	SAN ISIDRO	2.68
2815	1255-5	JUAN CARLOS HERRERA HURTADO	004		8.23
2690	464-0	JUAN PEÑA FIERRO	001	ZARAGOZA	0.5
2644	2531-0	JUAN QUESADA QUESADA	008	VADO DE C...	15

La edición de atributos parcelario puede hacerse directamente en la base de datos a través de simples búsquedas, como se muestra en la forma anterior y siguiente:

The screenshot shows the 'PADRON' application window. At the top, there are navigation buttons: 'AGREGAR NUEVO', 'ELIMINA USUARIO', and 'GUARDAR'. The main form contains the following fields and values:

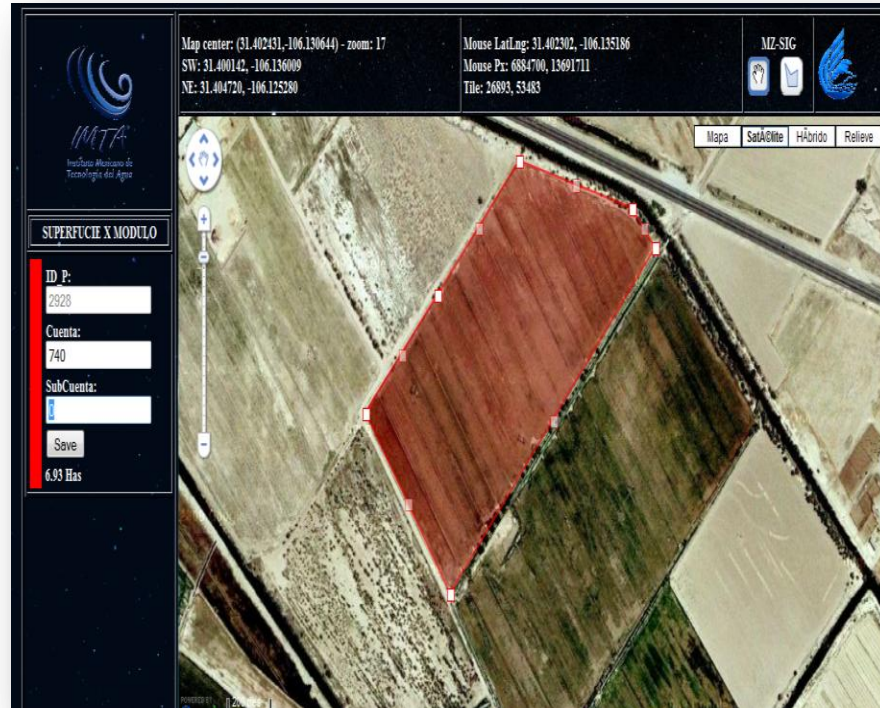
- COORDENADAS:** FOLIO: 2690
- CUENTA:** 464
- SUB\_CUENTA:** 0
- USUARIO:** JUAN PEÑA FIERRO
- SUP\_FISICA:** 0.5
- SUP\_RIEGO:** 0.5
- VOL\_SUPERFICIAL:** 0
- VOL\_SUBTERRANEO:** 0
- ESTADO:** 08\_CHIHUAHUA
- MUNICIPIO:** 037\_Juárez
- COLONIA:** (empty)
- EJIDO:** 003\_ZARAGOZA
- PRINCIPAL:** 01\_CANAL PRINCIPAL ACEQUIA MADRE
- LATERAL:** 018\_LATERAL K25+800 YAÑEZ. CANAL PPA
- SUB\_LATERAL:** 000
- RAMAL:** 000
- SUB\_RAMAL:** 000
- SSUB\_RAMAL:** 000
- PUNTO CONTROL:** 0080\_KM. 2+780 DER.
- TOMA:** (empty)
- TENENCIA:** 01\_EJIDATARIO
- SISTEMA DE RIEGO:** 01\_GRAVEDAD
- APROVECHAMIENTO:** 02\_GRAVEDAD DERIVACION
- EQUIPO DE BOMBEO:** 01\_PROP. DEL USUARIO
- TEXTURA DE SUELOS:** 00\_
- OBSERVACION:** (empty text area)

La forma anterior muestra los atributos para establecer la relación entre el usuario, la cuenta respectiva, la superficie y el volumen, localización en institución y nivel operativo, localización en las poblaciones, en la red de distribución, puntos de control y toma, tipos de tenencia, sistema de riego, aprovechamiento, equipo de bombeo, textura e inclusive agregar una observación.

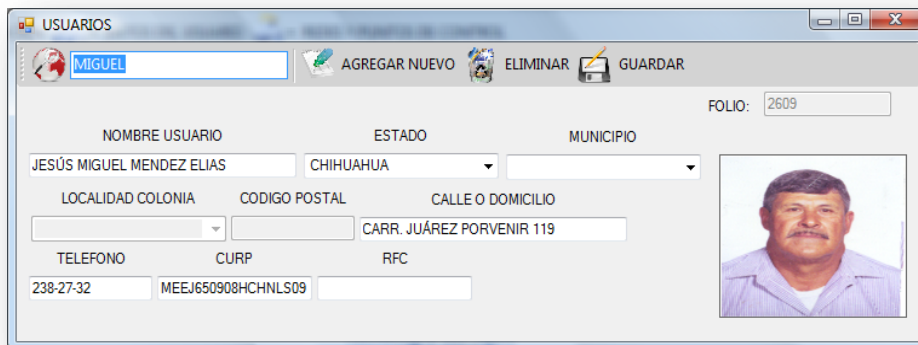
This screenshot shows the same 'PADRON' application window, but with the 'USUARIO' dropdown menu open. The list of users includes:

- 18 DE MARZO PARCELA ESCOLAR
- ABDON DE SANTIAGO CARLOS
- ABEL MORENO MENDOZA
- ABEL RAMIREZ URGUIDI
- ABELARDO AVEITIA VENZOR
- ABRAHAM ESPINOSA CABRIALES
- ADALBERTO GARCIA ORNELAS
- ADALBERTO RUIZ URBINA
- ADAN CONDOVA PEREGRINA
- ADAN TREJO TARANGO
- ADELA GUADIAN DURAN
- ADELAIDA ESCAMILLA PIRA
- ADELAIDA ESCAMILLA PIRA
- ADELINA TARANGO CASTAÑEDA
- ADELINA TARANGO CASTAÑEDA
- ADOLFO CORREA MONTOYA
- ADOLFO DIAZ RODRIGUEZ
- ADOLFO DIAZ RUIZ
- ADOLFO HERNANDEZ MORENO
- ADOLFO LOYA MALDONADO
- ADOLFO PEREZ CAMPOS
- ADOLFO PEREZ HOLGUIN
- ADOLFO SOTO TAVARES
- ADRIANA GARCIA MARAVILLA
- ADRIANA GARCIA VALERIO
- ADRIANA VAZQUEZ MERCADO
- AEROPAJITA AMAYA VAZQUEZ
- AGAPITO HERNANDEZ CEDILLOS
- AGRICOLA NORTE CENTRO INVESTIGAC
- EQ AGRICOLA NORTE CENTRO INVESTIGAC

Las búsquedas son sencillas y el usuario del sistema puede hacerla a través de la cuenta y del nombre o apellido del usuario. En modo edición en el mapa satelital se liga el usuario a la parcela a través de la cuenta y subcuenta y evidentemente al polígono o lote respectivo. Los datos de la base se exhiben en el mapa y pueden ser modificados tanto en las formas relacionadas al manejo de la base de datos o en el modo edición en el mapa, la modificación en un lado se realiza automáticamente en el otro. Una vez seleccionado el usuario se puede ver “físicamente” su lote.

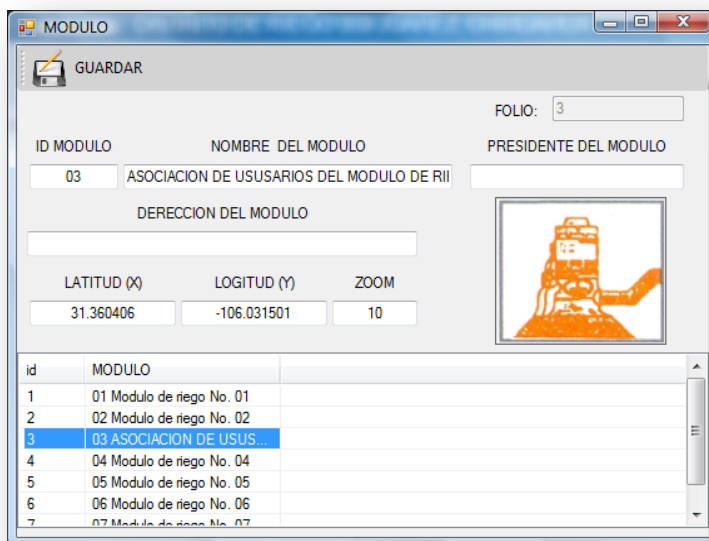


En la parte catálogos se puede encontrar información detallada del usuario.



Los elementos que aparecen en la forma permiten disponer de información para hacerle llegar al productor información importante. Por ejemplo, se pueden automatizar mensajes cortos sobre superficie establecida de un cierto cultivo para envío a teléfono fijo o móvil.

Toda la información de entrada se distribuye por catálogos de módulos, zonas, secciones etcétera y se organiza en ese mismo sentido para disponer de reportes.

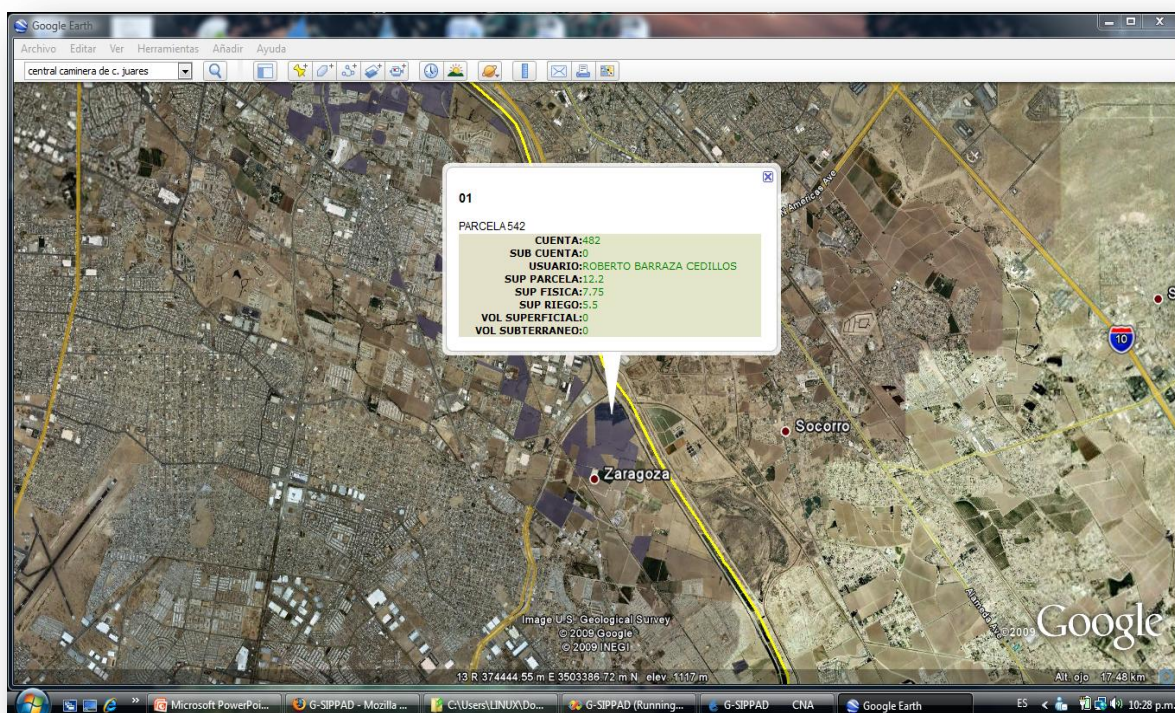


Lo mismo es para las redes de distribución.

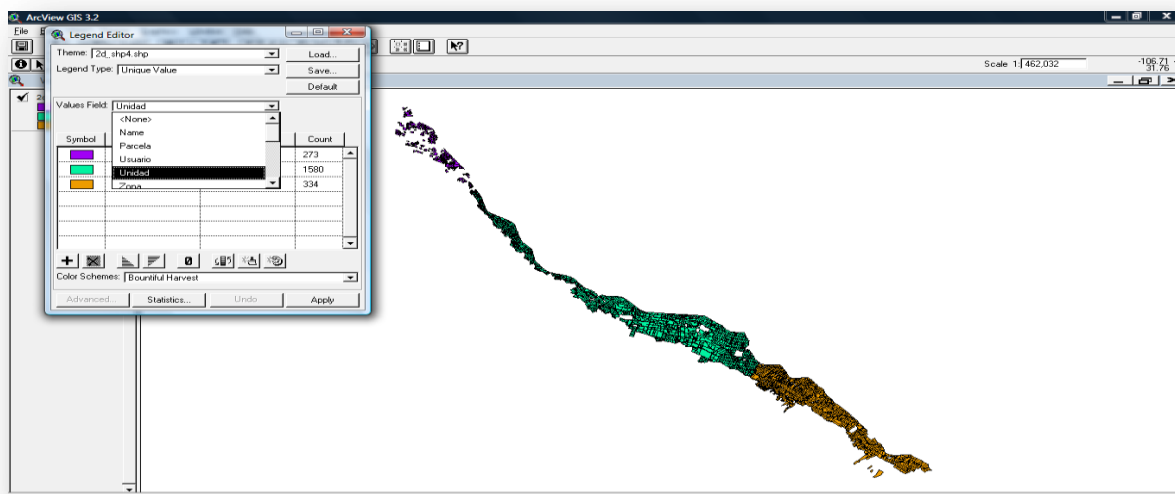
La visualización de la información de la base de datos se puede visualizar en los mapas satelitales, en función de la parte del catálogo al que se haga referencia.



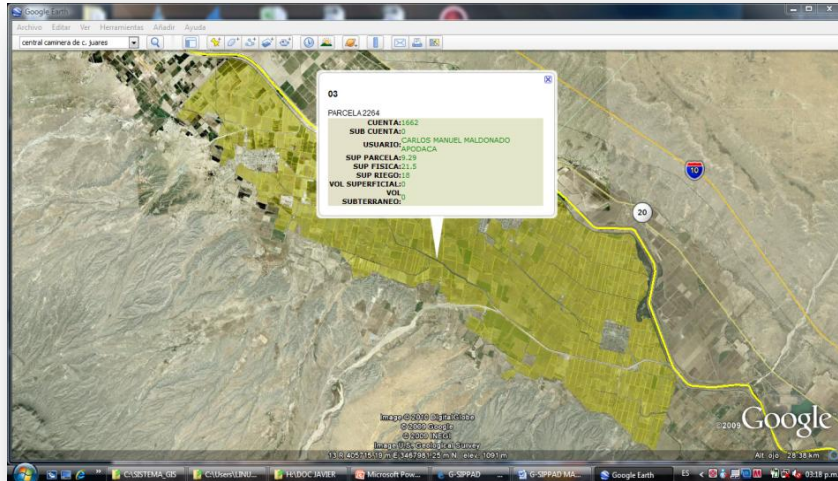
Se puede exportar en coordenadas geográficas tipo grados decimales o coordenadas UTM. Una vez realizada la exportación la información editada es visible en cada parcela.



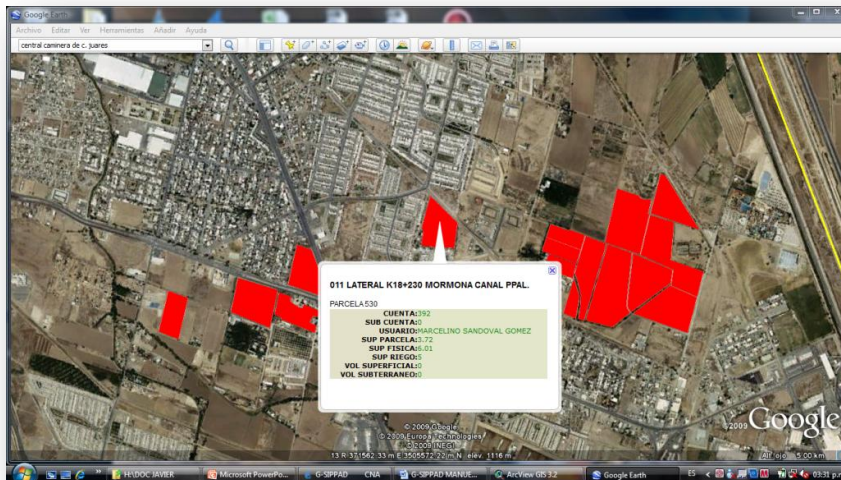
Para hacer compatible la información del sistema G-SIPPAD se crea una exportación a formato Arc View. Esto permite hacer flexible el uso del sistema.



En este rubro hay visualización a distintos niveles operativos, por ejemplo por módulo:



O por parcelas relacionadas a un cierto canal.



Los reportes de carácter general son variados y demuestran el interés de los usuarios por algún reporte específico. El reporte puede imprimirse o guardarse en algún formato de Excel, WORD, PDF, entre muchos otros tipos de archivo.

De acuerdo con la información vertida en el programa existen reportes de carácter general relativos a superficie, volumen, fuentes de abastecimiento, red de distribución, de usuarios, de localidades, de niveles operativos, de sistemas de riego, de equipos de bombeo, etcétera.

REPORTES

Main Report

COMISION NACIONAL DEL AGUA  
SUBDIRECCION GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRICOLA  
GERENCIA REGIONAL DEL RIO BRAVO  
DISTRITO DE RIEGO 009 VALLE DE JUAREZ CHIH.

REPORTE INDIVIDUAL

USUARIO  
MANUELA ROJERO VARELA

CUENTA : 170 SUP FISICA : 0 VOL SUPERFICIAL : 0  
SUB CUENTA : 0 SUP RIEGO : 0 VOL SUBTERRANEO : 0

DATOS GENERALES

ESTADO : 08 CHIHUAHUA  
MUNICIPIO : 007 JUAREZ  
COLONIA :  
EJIDO : 005 SAN AGUSTIN  
TIPO DE TENENCIA : 21 EJIDATARIO  
APROVECHAMIENTO : 22 GRAVEDAD DERIVACION  
ITEMA DE RIEGO : 20 MIXTO  
EQUIPO DE BOMBEO : 21 PWR DEL USUARIO  
TEXTURA DE SUELO : 20

DATOS DE LOCALIZACION

UNIDAD : 02 UNIDAD SEGUNDA  
ZONA : 02 ZONA DE RIEGO AFOROS 2  
SECCION : 002 SECCION DOS  
MODULO : 02

DATOS DE CANALES

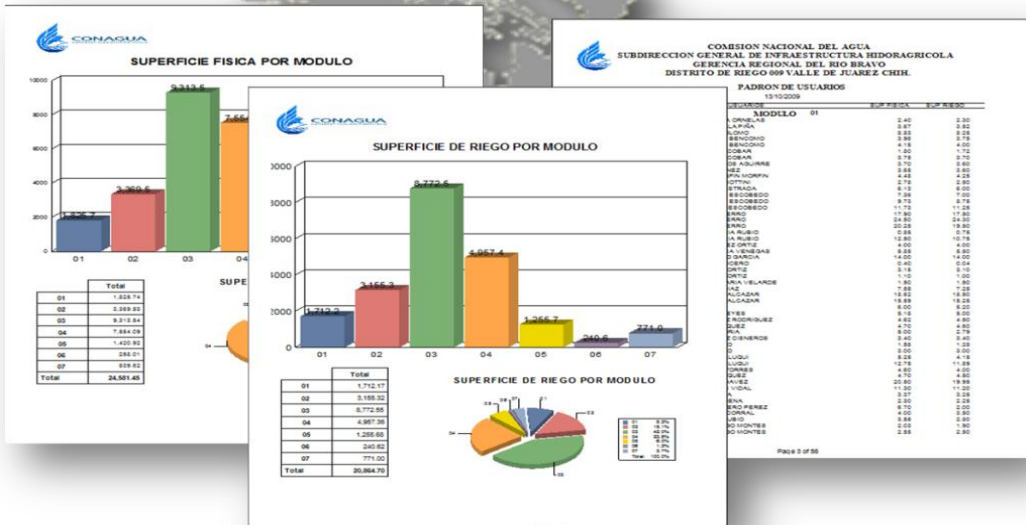
C PRINCIPAL : 01 CANAL PRINCIPAL ACQUIA MADRE  
C LATERAL : 002 LATERAL KG-400 SAN AGUSTIN CANAL PRAL  
C S LATERAL : 001 SUBLAT. KG-600 EL MUERTO LAT. KG-400 C PRAL  
C RAMAL : 000  
C S RAMAL : 000  
C S S RAMAL : 000  
P CONTROL : 0000 KM. 0+710 DER.  
TOMA : 0000

DATOS DE IMPRESION

FECHA DE MODIFICACION : 22/09/2009 1  
FECHA DE IMPRESION : 08/10/2010

Current Page No.:1 Total Page No.:1 Zoom Factor:60%

Windows taskbar: H:\DOC JAVIER, Microsoft Pow..., G-SIPAD, REPORTES, G-SIPAD MA..., ArcView GIS 3.2, Google Earth, 04:06 p.m.







COMISION NACIONAL DEL AGUA  
SUBDIRECCION GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRICOLA  
GERENCIA REGIONAL DEL RIO BRAVO  
DISTRITO DE RIEGO 009 VALLE DE JUAREZ CHIH.

PADRON DE USUARIOS  
08/01/2010

01 CANAL PRINCIPAL ACEQUIA MADRE

CUENTA	CUETA	USUARIOS	SUP FISICA	SUP RIEGO	VOL SUPER	VOL SUSTE
001 LATERAL K3-300 ACEQUIA DEL PUEBLO. CANAL PPAL.						
89	0	ADALBERTO GARCIA ORNELAS	2	2	0	0
120	2	ANTONIO PUENTES ORTIZ	3	3	0	0
120	1	ANTONIO PUENTES ORTIZ	1	1	0	0
116	4	JANIE BERMUDEZ CUARON	2	2	0	0
110	0	JOSE LUIS NARES JAGUEZ	3	3	0	0
112	0	MANUEL ALVAREZ CAMPOS	7	6	0	0
111	0	MANUEL QUEZADA CASTORENA	4	4	0	0
121	2	MARIO RAMOS REY	4	4	0	0
121	1	MARIO RAMOS REY	1	1	0	0
27	3	RAFAEL MUÑOZ TELLEZ	16	15	0	0
			42	41	0	0
006 LATERAL K11-500 LITIGIO I CANAL PPAL.						
236	0	BERTHA BOUCHE REYES	5	5	0	0
242	0	ENRIQUE PERALES ESPINOZA	47	46	0	0
236	0	EVA FRANCISCA PEDRAZA CALDERON	10	10	0	0
187	0	JOSE LEYVA CORDERO	1	1	0	0
241	0	LAURA ZARAGOZA DE LA TORRE	58	58	0	0
164	0	LAURA ZARAGOZA DE LA TORRE	17	17	0	0
56	2	MARCOS MARTINEZ FLORES	4	4	0	0
226	0	MIGUEL VAZQUEZ MADRID	3	3	0	0
230	0	PEDRO IGLESIAS QUINTANA	3	3	0	0
206	2	SOTERO TERRONES ORTIZ	4	2	0	0
134	6	VALENTIN FUENTES VARELA	7	6	0	0
134	2	VALENTIN FUENTES VARELA	2	2	0	0
134	1	VALENTIN FUENTES VARELA	3	3	0	0
166	2	VICTOR MANUEL MARTINEZ VARELA	2	2	0	0
166	1	VICTOR MANUEL MARTINEZ VARELA	2	2	0	0
			166	166	0	0
007 LATERAL K11-900 LITIGIO II CANAL PPAL.						
249	0	BALTAZAR CHACON	6	5	0	0
250	1	JOSEFA GARCIA MONTOYA	5	4	0	0
			11	9	0	0
008 LATERAL K13-780 ARANDA CANAL PPAL.						
323	0	CARMEN BARAJAS GARZARAMOS	3	3	0	0
302	0	ENRIQUE MATA DURAN	2	2	0	0
			6	6	0	0
008 LATERAL K13-780 ARANDA CANAL PPAL.						
304	2	ALFREDO PUERTAS BENCOMO	4	4	0	0
304	1	ALFREDO PUERTAS BENCOMO	4	4	0	0

Página 1 of 29

## Conclusiones parciales

Se aplicó el sistema MZ-SIG en su versión G-SIPPAD (el primer sistema de información geográfica hecho en México) para obtener el plano catastral actual del DR 009. El mismo se instaló y fue puesto en operación por personal del IMTA en las máquinas del DR. El sistema permite el manejo flexible de información de usuarios en base de datos e imagen de satélite, a su vez la información de la base de datos está ligada a las imágenes de satélite.

Se determina sobre el avance de la mancha urbana sobre la zona agrícola, la cual refleja un composición fraccionada de la superficie de riego resultando, la aplicación del agua a la parcela, un ejercicio de baja eficiencia de conducción y aplicación. La Unidad 1 es entonces agredida por el desarrollo de la ciudad y su tendencia es a desaparecer.

El G-SIPPAD tiene aplicaciones mayores a las presentadas en este documento.

## Estudio urbano

Esta sección se inicia con una revisión de los programas de planeación.

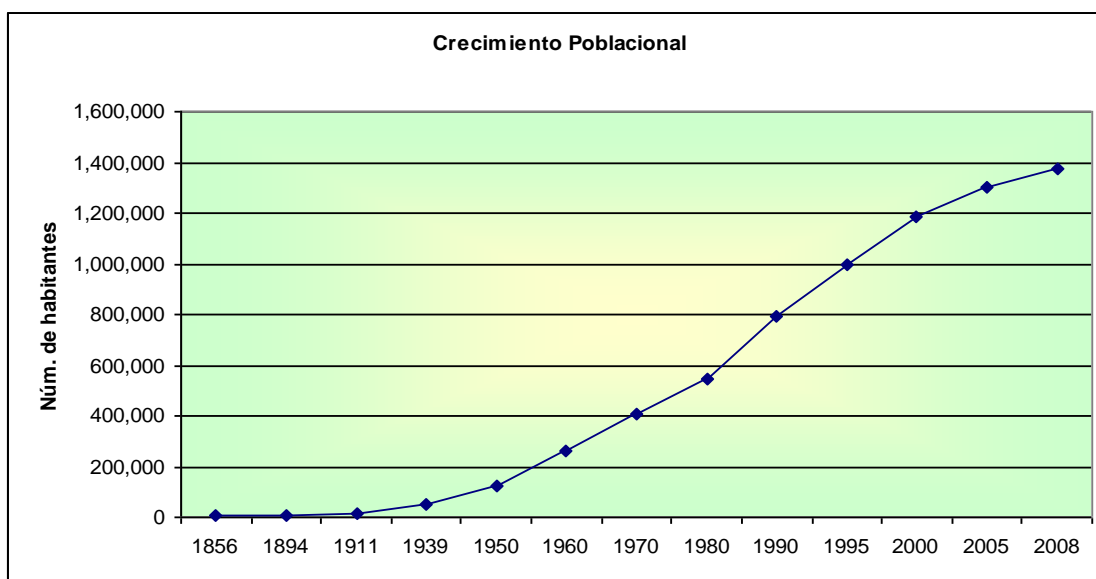
### Crecimiento urbano de Ciudad Juárez y poblados del valle agrícola

La primera localidad en Ciudad Juárez se fundada en diciembre de 1659 y en 1826, la villa, se denominó Paso del Norte, pero fue hasta 1888 cuando fue designada con el nombre actual.

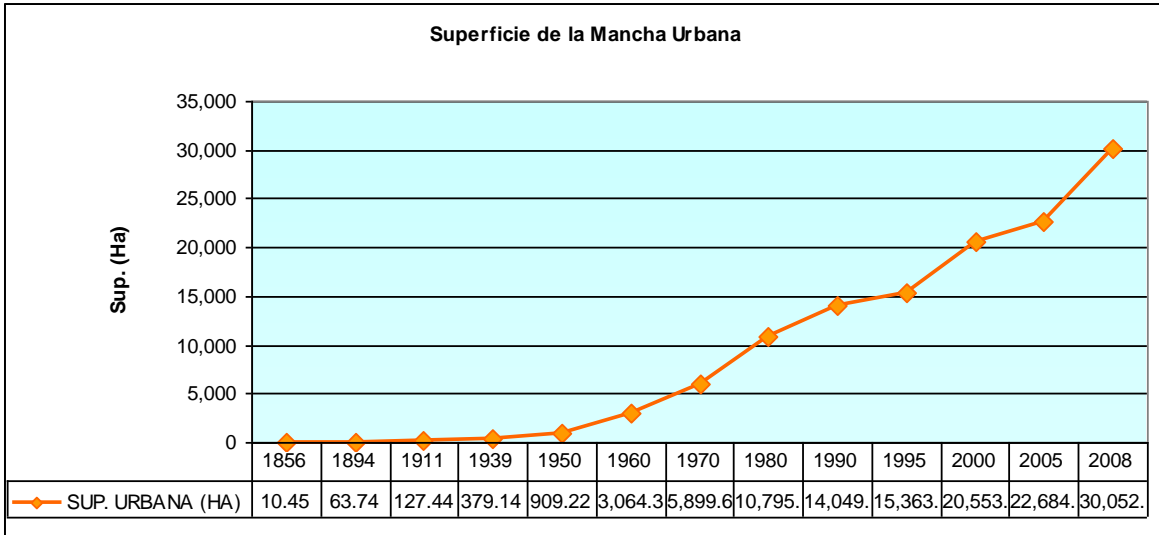
En 1904, el gobernador del estado de Chihuahua, Santiago Creel, hace el primer intento de programa de planeación para Cd. Juárez. Para 1958, el gobierno federal estableció el primer plano regulador de la Ciudad, y en 1963 se formó el consejo municipal de planeación, que para 1969 elaboró el primer reglamento urbanístico para Ciudad Juárez. En 1978, el gobierno federal y el ayuntamiento de Cd Juárez elaboran el primer plan de desarrollo urbano y se hace público en 1979, de ahí ha sufrido modificaciones en los años 1984, 1989, 1995, 2003 y 2009.

La estructura urbana de Juárez, desde principios del siglo XX hasta la década de 1960 tuvo un crecimiento concéntrico relacionado al Comercio y Servicios junto a los cruces internacionales y el centro histórico; contaba con vías de comunicación, carreteras y ferrocarril.

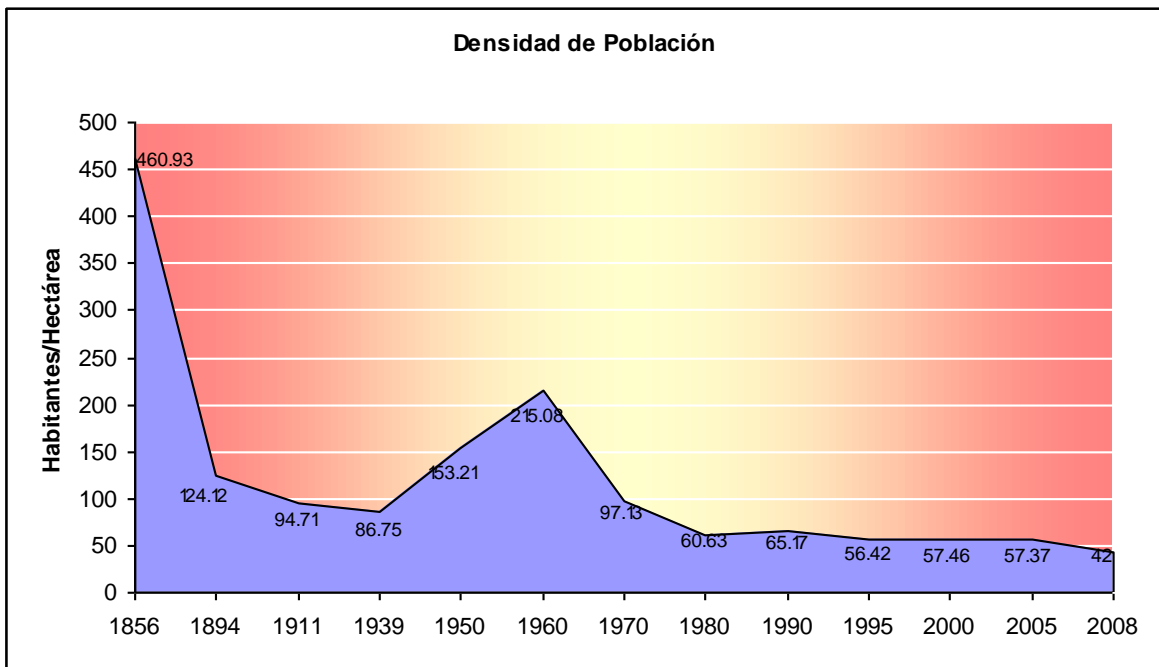
Desde mediados de los años 60s, Ciudad Juárez demostró un crecimiento vertiginoso de la población, debido principalmente a los programas de México y Estados Unidos de cooperar en el desarrollo industrial fronterizo y crear empleos para disminuir la migración.



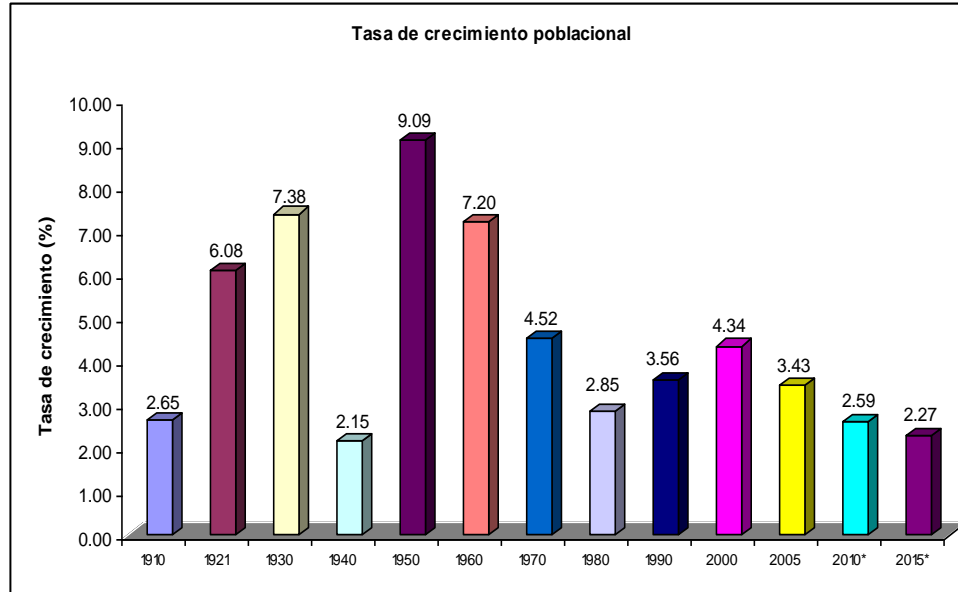
La superficie urbana creció, de 1856 a 1894, 1.4 ha/año, de 1911 a 1939, 9 ha/año. Sin embargo en 1950-60 creció 215.51 ha/año y para 1970-80 llegó a crecer 489.54 ha/año, entre 1980-2000 aumentó a 650.37 ha/año, pero en los años 2005-2008 creció 2456.04 ha/año. Este crecimiento vertiginoso replantea la problemática de servicios y consumo de agua potable para Ciudad Juárez.



El crecimiento de la superficie urbana está asociado al crecimiento de la población. La mayor densidad de población se observó de 1856 a 1960, de 460 hab/ha a 215 hab/ha; ya para el año 2008 la densidad fue de 42 hab/ha.

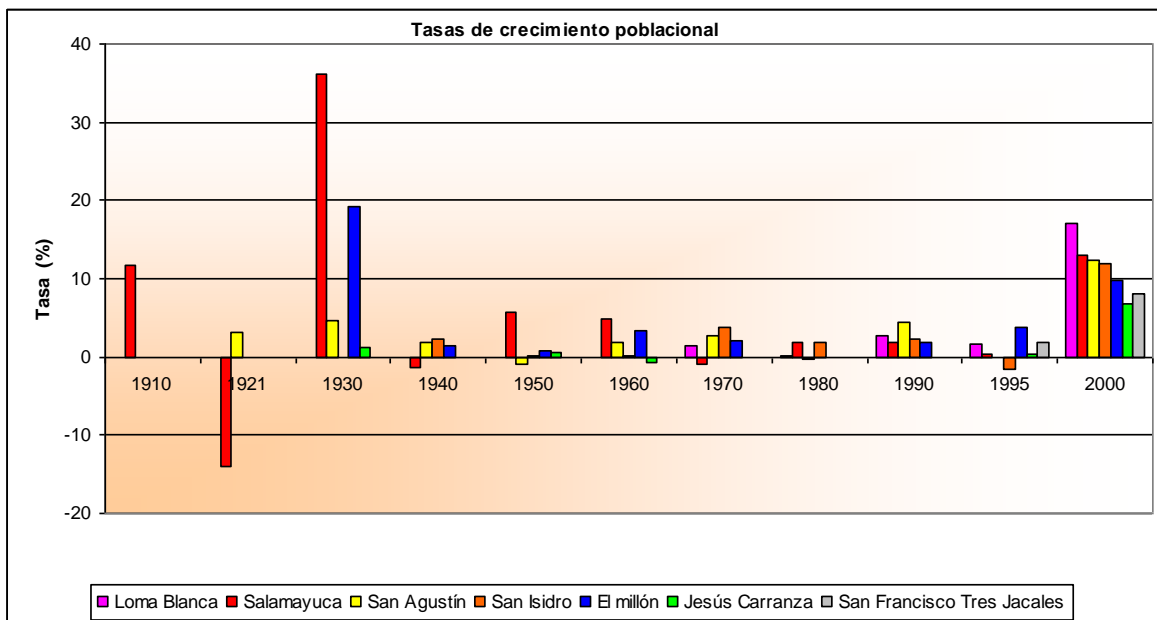


Ciudad Juárez ha mostrado crecientes tasas de crecimiento poblacional, desde inicios y mediados de los años 1900. Después dicha tasa decreció, no obstante fue mayor que la media nacional, en la que regularmente la duplicó.



Las localidades rurales como Samalayuca y el Millón presentan descenso de crecimiento entre 1930 y 1995. El crecimiento de la población rural se debió al reparto de tierras de cultivo.

A partir del año 2000 se renueva el crecimiento de la población sobre todo en las localidades cercanas a la ciudad, como Loma Blanca que presenta desarrollos habitacionales.

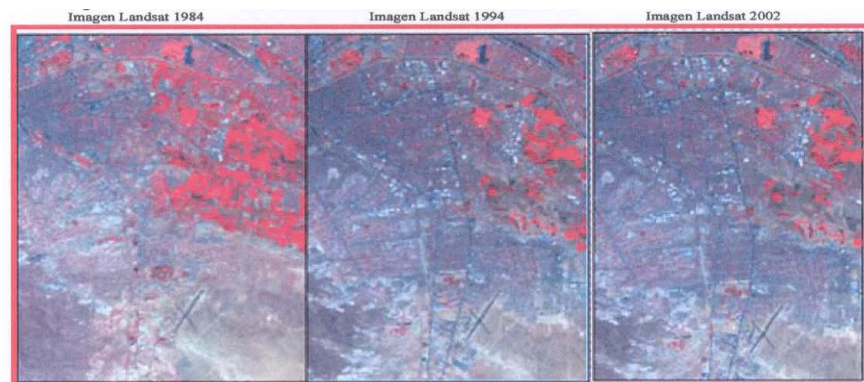
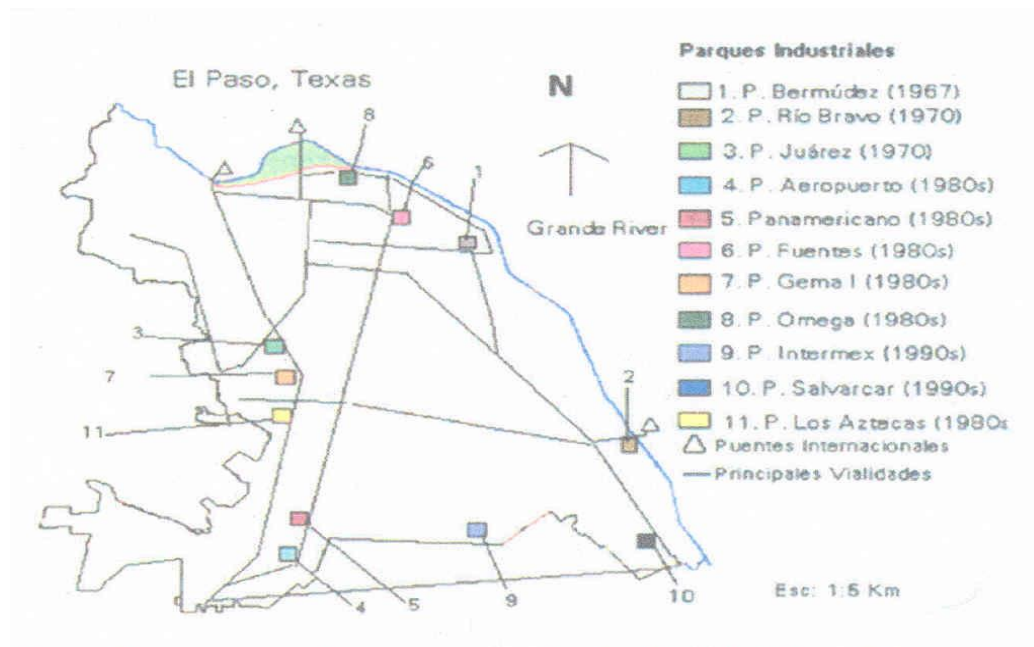


Entre los años 1995, 2000 y 2008 predomina el uso habitacional en el 40-45% de la superficie urbana, la industria ocupa el 6-8% y el comercio 5-7%.

USOS DEL SUELO	SUPERFICIE EN HA (AÑO 1995)	PORCENTAJE QUE REPRESENTA	SUPERFICIE EN HA (AÑO 2000)	PORCENTAJE QUE REPRESENTA	SUPERFICIE EN HA (AÑO 2008)	PORCENTAJE QUE REPRESENTA
RESIDENCIAL	8,416	44.8	9,992.0	45.0	12,229.00	40.3
INDUSTRIAL	1,209	6.4	1,844.0	8.3	1,806.43	6.0
COMERCIAL	1,075	5.7	1,638.0	7.4	1,728.42	5.7
MIXTO	617	3.3	503.0	2.3	0.00	0.0
ESPACIOS ABIERTOS	446	2.3	605.0	2.7	169.19	0.6
VIALIDADES	4,785	25.5	5,040.0	22.7	5,231.00	17.3
TERRENOS BALDIOS	2,219	11.8	2,500.0	11.3	9,160.47	30.2
TOTAL	18,767	99.8	22,122.0	99.7	30,324.51	100.0

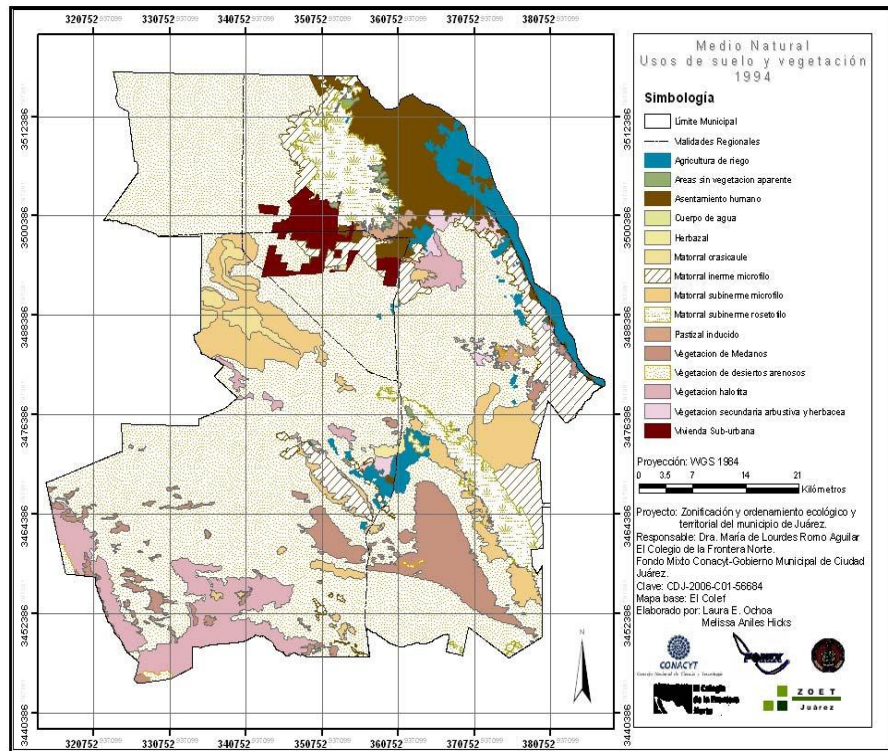
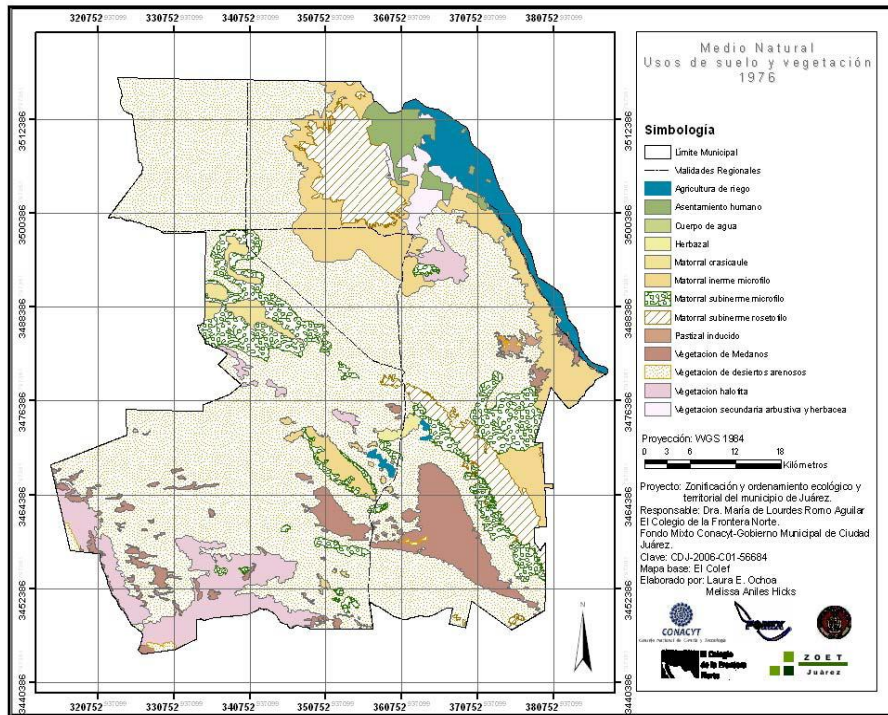
Fuente Elaboración propia con datos de Peña y Fuentes, 2007 y del IMIP, 2008.

En la década de los 80s, la industria se encontraba principalmente en el parque Bermúdez y Omega en una superficie de 363 ha, mientras que para el 2008 alcanzó los 1730.37 ha y se localiza en la periferia de la Ciudad, lo que motivó el crecimiento multi-centros de la superficie urbana. En la figura siguiente se muestran los principales parques industriales.



En Fuentes y Peña 2007, se indica que 180 ha agrícolas se suman anualmente a la superficie urbana. Lo que hace predecir que el área agrícola de la unidad 1, 1260 hectáreas, deben

urbanizarse en los años 2017-2020. En las cartas de uso de suelo de 1976 y 1994 se observa el cambio de uso agrícola a habitacional, urbano, comercial e industrial.



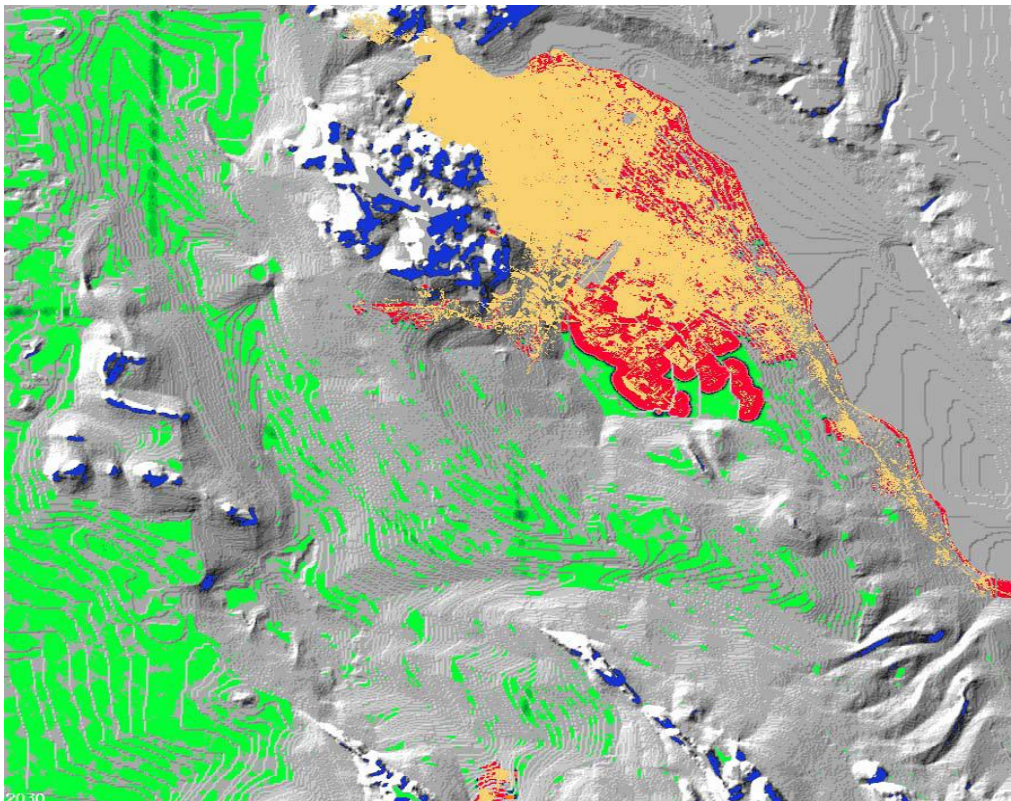
## Modelación del crecimiento urbano

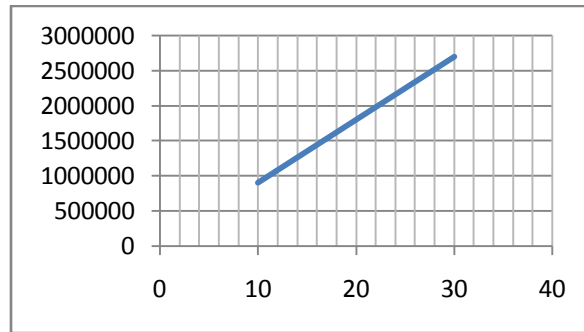
Para la predicción del crecimiento urbano se retomó el trabajo de Márquez L (2008) quien utilizó el modelo SLEUTH (KEITH, 2003, Departamento de Geometría de la Universidad de California en Santa Bárbara), donde se abordaron dos escenarios:

- a) Escenario sin restricciones (Denominado Escenario S). El cual consiste en seguir el patrón de crecimiento actual, sin ninguna restricción como límites que marca el programa de desarrollo urbano, ni ecológicas que contempla el proyecto de zonificación y ordenamiento ecológico y territorial del municipio de Juárez o ZOET.
- b) Escenario ZOET (Denominado Escenario Z). Es el resultado de aplicar restricciones al crecimiento de acuerdo con el proyecto ZOET que consisten en excluir las unidades de gestión ambiental con política de protección y/o restauración y ampliar las áreas con política de aprovechamiento.

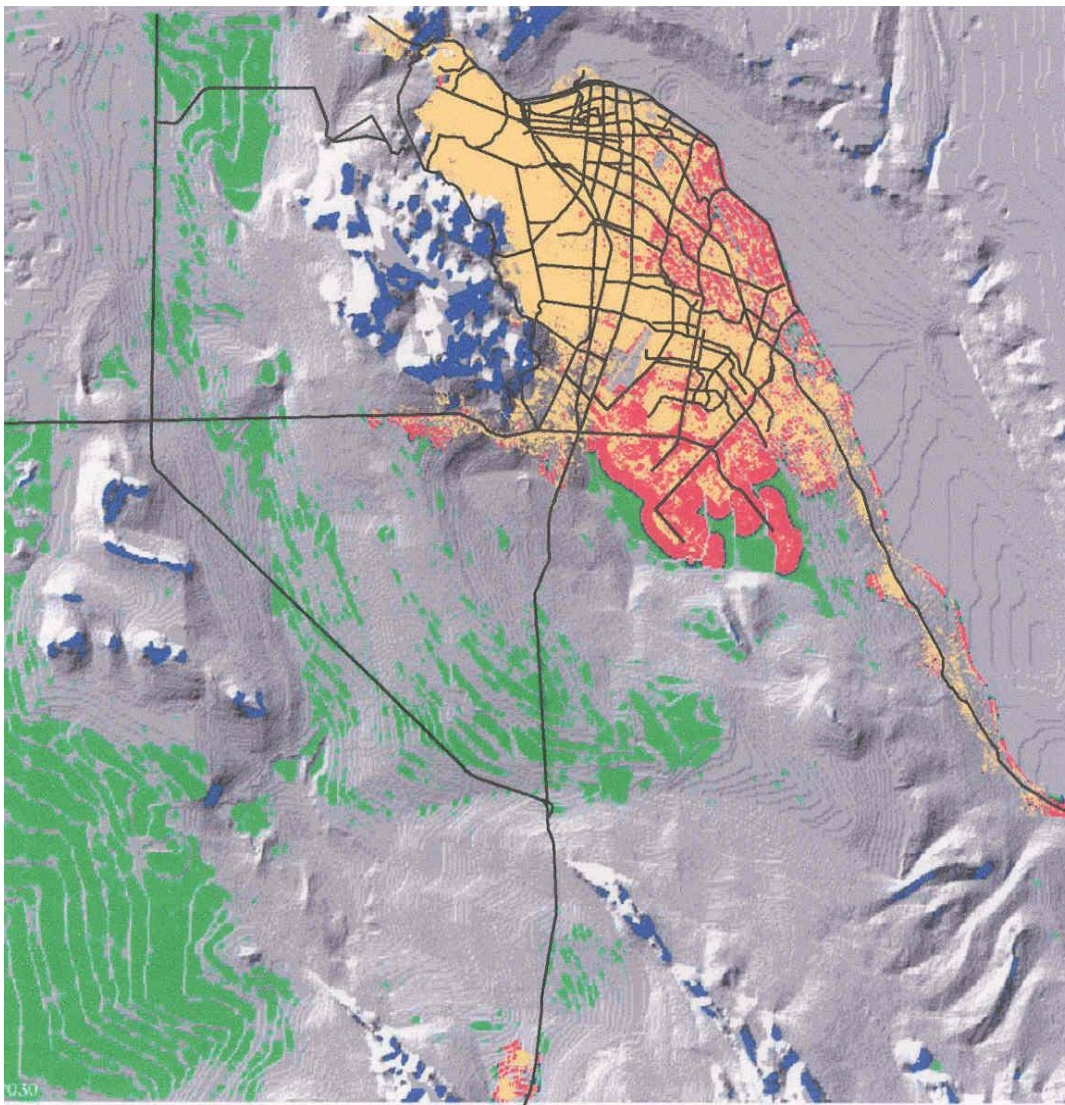
El modelo de crecimiento para Ciudad Juárez para el año 2030 arroja la zona excluida, gris en la imagen, la frontera, la sierra de Juárez, la parte verde claro es la zona menos probable de urbanizar, el tono café claro es la superficie urbana actual, en azul las zonas imposibles de urbanizar por altas pendientes y en rojo la alta posibilidad de ser urbanizadas.

Se estima que para el año 2030, la superficie urbanizada será de 90,000 ha. Un simple ejercicio muestra que si la densidad de población es de 20 a 30 habitantes por ha, la población varía desde 1, 8000, 000 hasta 2, 700, 000.0 habitantes.



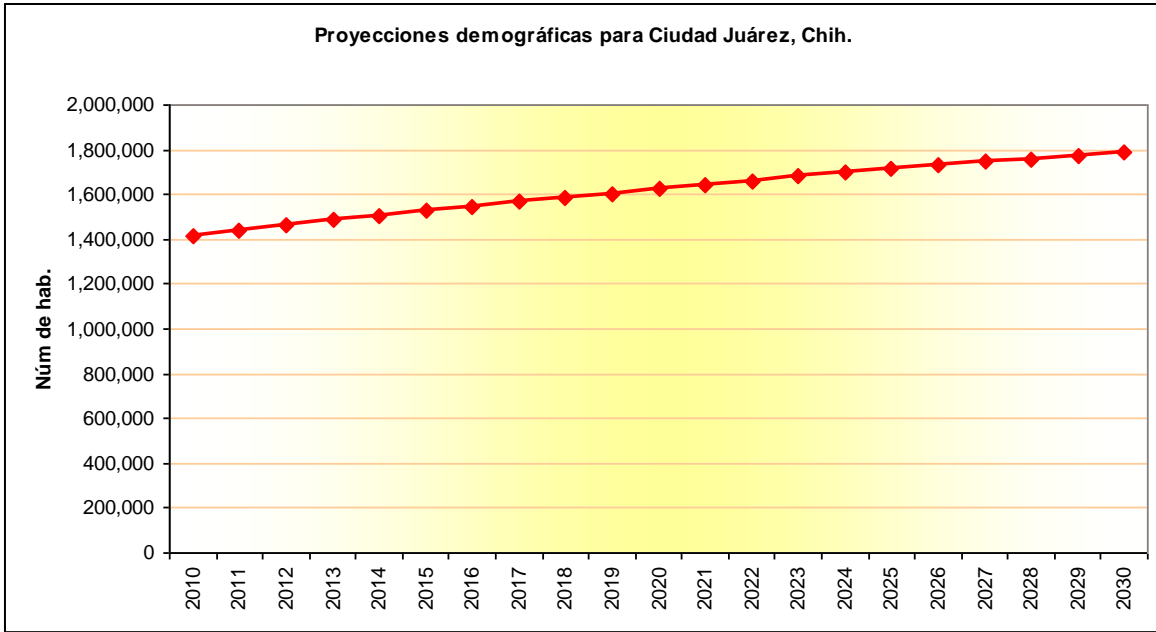


La simulación con restricciones tiene un crecimiento controlado que fundamentalmente impide que se desarrolle la urbanización a orillas del río Bravo. Hacia el 2030 se tendrá una superficie urbana de 60,000 ha creciendo en la dirección sur y suroeste.

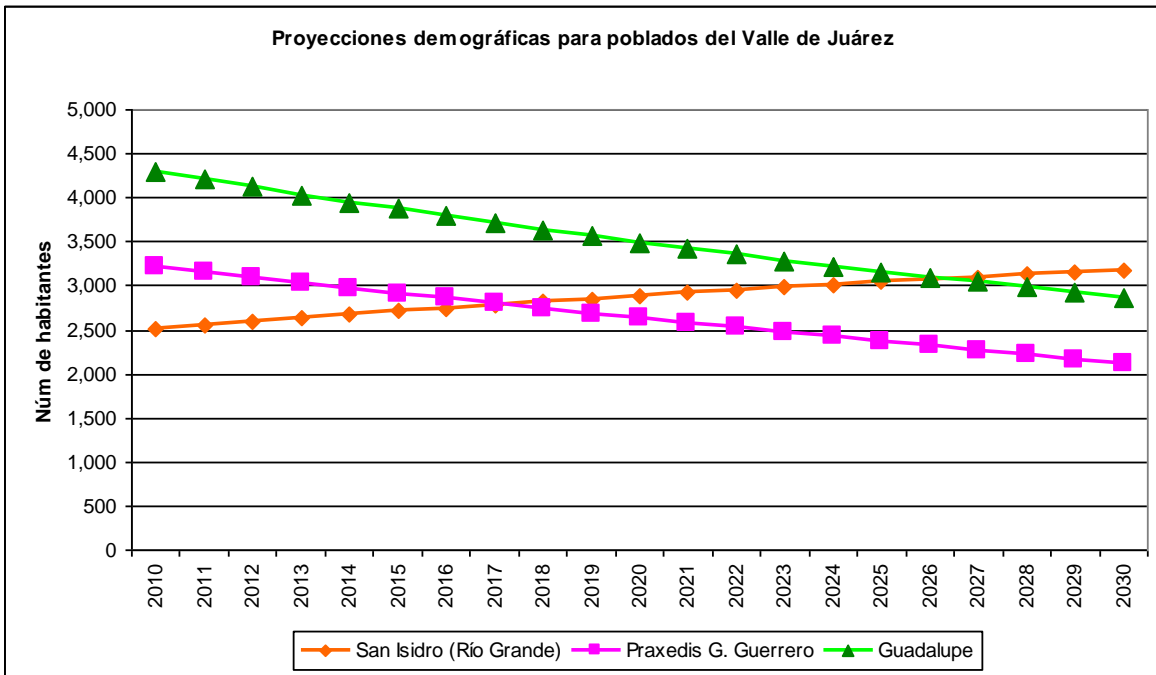


Según datos de la CONAPO, Ciudad Juárez, tendrá en 2030 una población de 1, 787, 710 habitantes.



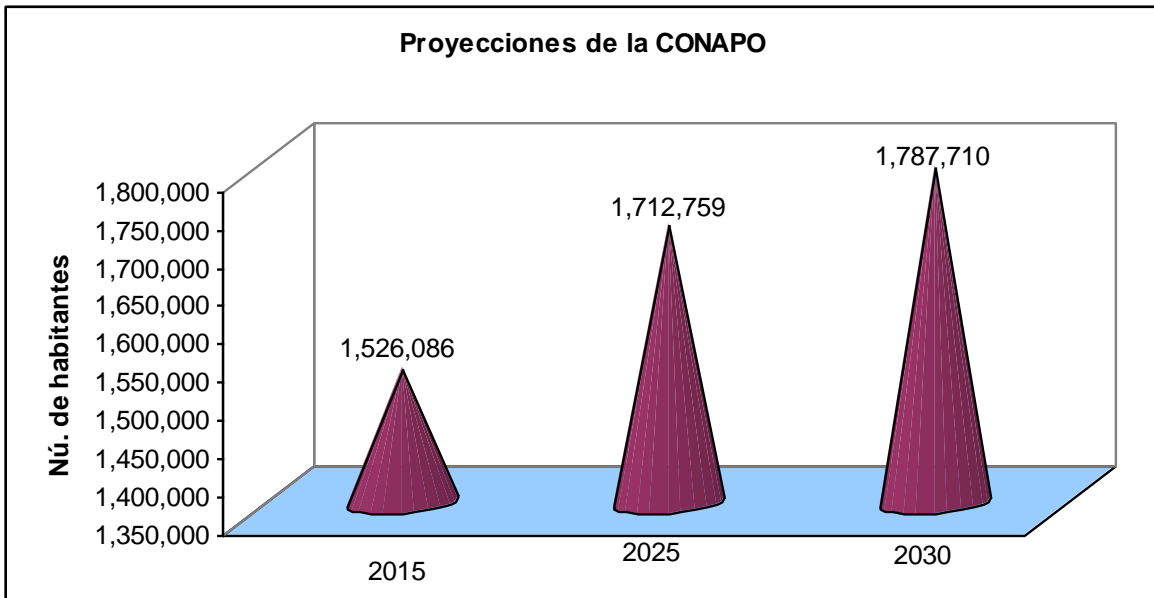
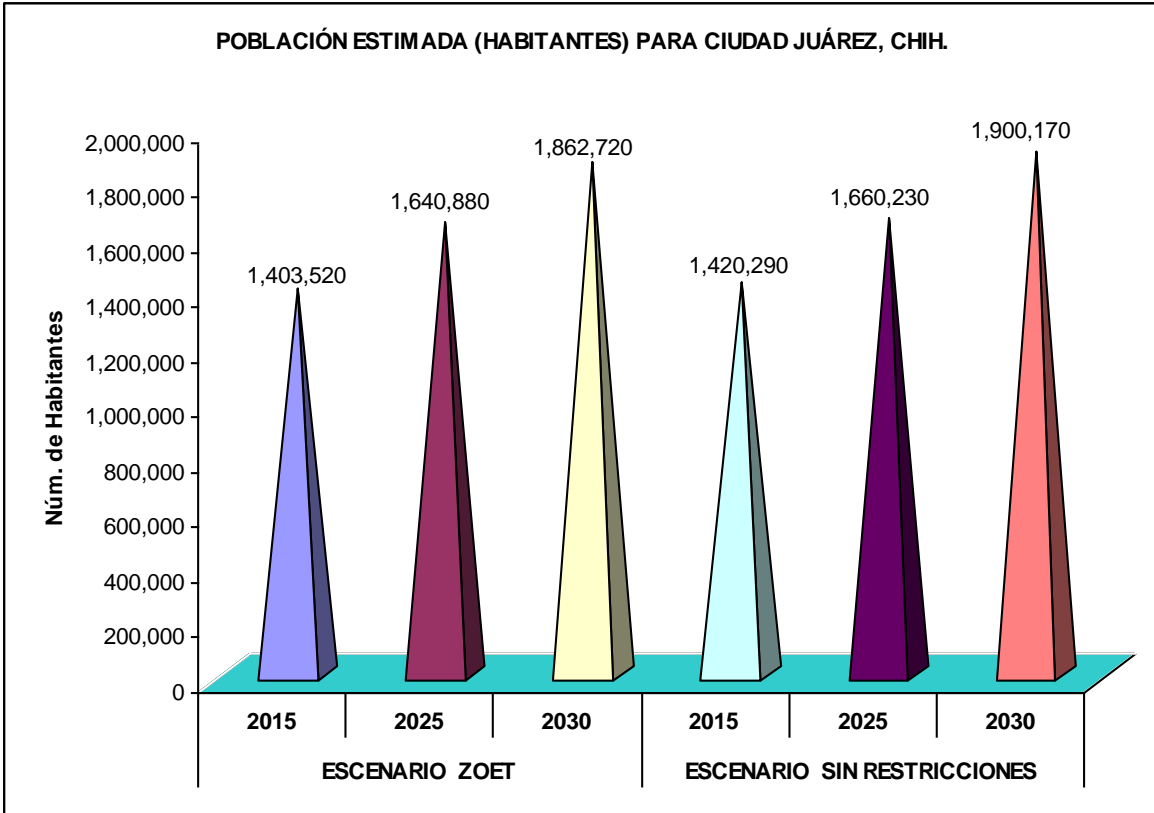


Según datos de la CONAPO, de los poblados aledaños al río Bravo sólo San Isidro incrementará su población al 2030 en 3,104 habitantes.



Por lo que se pueden comparar los resultados del Modelo SLEUTH y las proyecciones de la CONAPO (este último escenario se denominó CONAPO).

Los resultados se muestran en la siguientes ilustraciones, en las que se observa una similitud en orden de magnitud de las cifras de población para Ciudad Juárez.



Que en términos de población con enfoque predictivo esencialmente indican los mismos valores. Para el análisis de volumen del efluente residual se preserva el dato mayor.

## Conclusiones parciales

- El crecimiento de Ciudad Juárez fue concéntrico basado en el comercio y servicios en el centro histórico y cerca al cruce fronterizo. Debido a la cooperación Méxicoamericana para el desarrollo de polos industriales transfronterizos, el desarrollo de la ciudad pasó a ser multi-céntrico. El plan de desarrollo urbano se integró en 1979 y se ha actualizado 5 veces.
- La primera Unidad del DR 009 ha sido prácticamente absorbida por la mancha urbana y se prevé desaparezca en los años 2018-2020.
- Según el modelo SLEUTH, hay dos procesos principales de urbanización observables, el crecimiento hacia el sur y aumento de alta densidad de población en el área oeste, obtenidos en base a imágenes de satélite.
- El escenario sin restricciones (s) arroja una superficie urbana al 2030 de 90,000 ha con 1, 900, 170 habitantes y un avance de la mancha urbana sobre la zona agrícola a las riveras del río Bravo.
- Bajo el escenario (Z) ZOET, al 2030 se tendrán 60,000 ha con 1, 862, 760 habitantes y se restringe el crecimiento de la zona urbana sobre la superficie agrícola del valle de Juárez.
- Se ha obtenido la población en diferentes años hasta el 2030, la cual es la base del cálculo del efluente residual de acuerdo con el uso urbano.
- Se vuelve a observar otro problema de planeación del crecimiento urbano con migración de la presión urbana a la zona agrícola de la unidad 2. Es evidente que al incrementar la población se incrementa el requerimiento de agua para uso doméstico y mayor sobreexplotación de acuíferos.

## Estudio de calidad del agua residual

Se busca establecer diferencias físico-químicas y bacteriológicas de las fuentes de agua de riego que son utilizadas en el DR 009 y elaborar recomendaciones generales para el uso del agua residual disminuyendo los riesgos de salud pública y agronómica de los cultivos establecidos en el valle de Juárez.

Se caracterizaron las fuentes de abastecimiento para riego, se recopiló información de calidad del agua con CONAGUA, JMAS y CILA. Se estableció una red de muestreo para determinar T°, pH, CE y SDT. Se elaboró la base de datos y se sistematizó la información.

Como fuentes de abastecimiento están las AGUAS DEL RÍO BRAVO, el tratado de 1906 asigna 74 M m<sup>3</sup>. Las AGUAS RESIDUALES DE CIUDAD JUÁREZ, de las cuales una parte son tratadas en la planta Norte y Sur, luego conducidas al DR por drenes y canales; y aguas residuales no tratadas. AGUAS DE POZOS PROFUNDOS que son aprovechadas, una vez extraídas y mezcladas con las aguas residuales.

### Calidad del agua

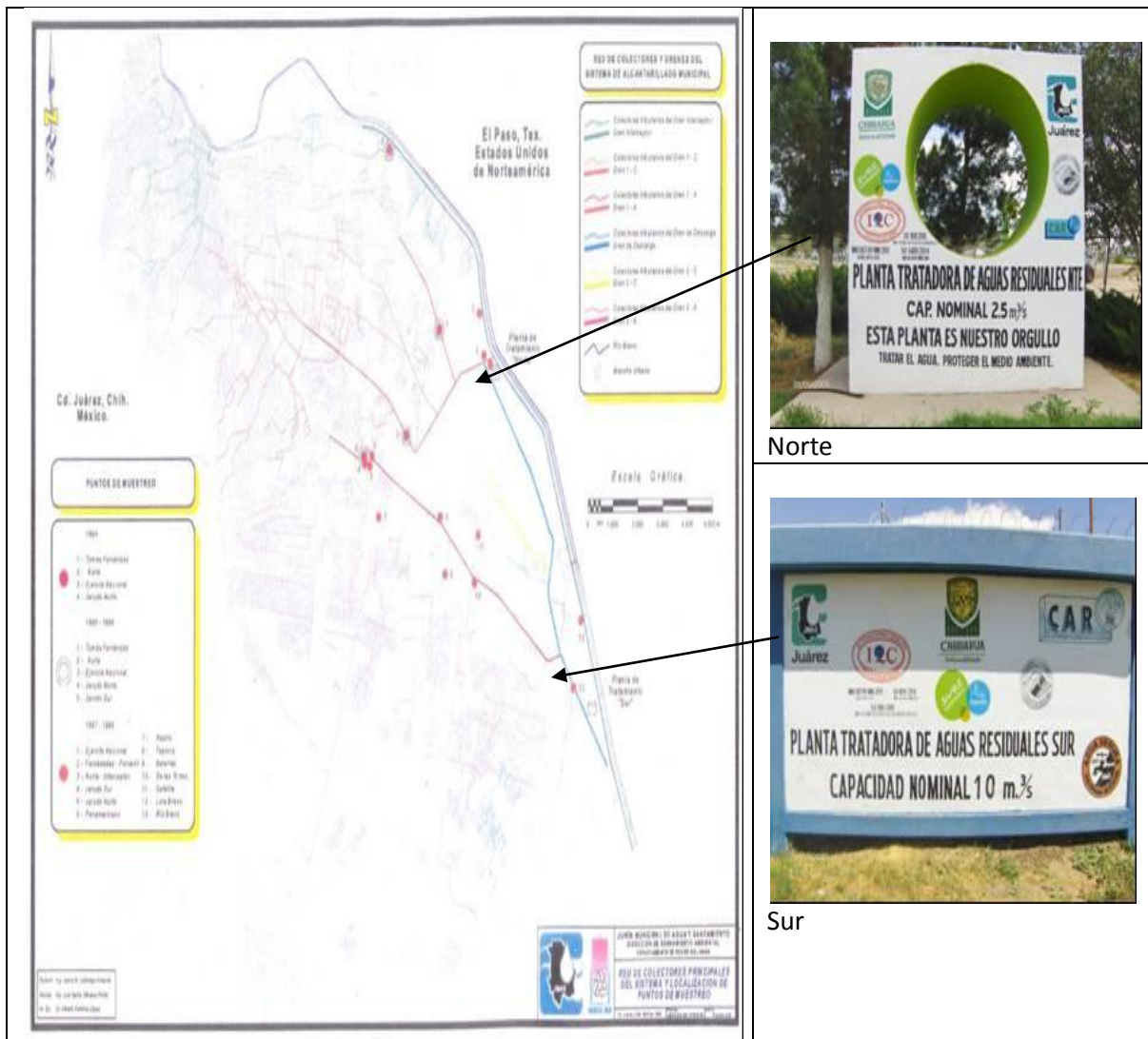
El agua del Río Bravo registró una calidad fisicoquímica aceptable para riego agrícola, con algunas restricciones en cuanto a los parámetros de conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, cloruros y sólidos suspendidos totales, que la colocan como agua con grado de restricción de ligera a moderada para uso en riego, según la FAO.

Estación	Coordenadas				Directrices para interpretar la calidad del agua de riego (Manual FAO. Riego y Drenaje No. 29, 1987)		
	31°40'20" Latitud Norte		106°20'16" Longitud Oeste				
	Fecha				Grado de restricción para su uso		
	11/11/1992	12/03/1995	11/07/1998	Promedio	Ninguno	Ligero a Moderado	Severo
<b>Parámetros de campo.</b>							
Temperatura°C	15.1	15.1	14.2	14.8			
pH	7.7	8.4	7.9	8.0			
Conductividad µmhos/cm	1760	2130	1857	1916	<700	700-3000	>3000
Salinidad (ppm)	1126.4	1363.2	1188.48	1226			
Sólidos disueltos totales	1240	1460	1150	1,283.33		<1200	>1200
Cloruros (mg/L)	238	297	222	252.33		140-350	
Cloruros (meq/L)	6.71	8.37	6.26	7.11		4 a 10	
Sólidos suspendidos totales	120	32	89	80.33	<50	50 a 100	>100

Fuente: Elaboración propia con algunos datos de CILA, 2004.

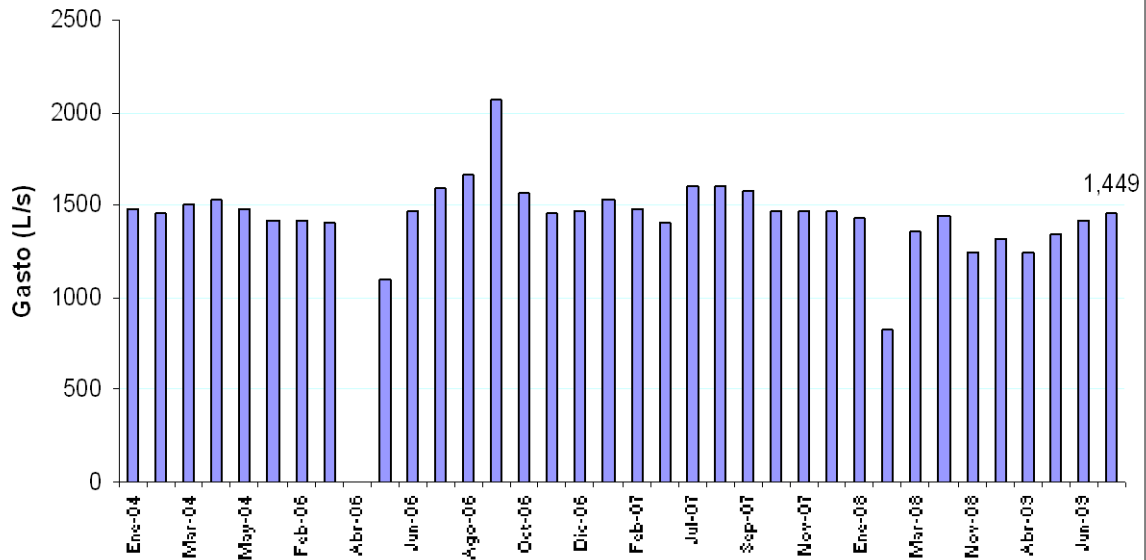
En el área de estudio hay una población de 1'331,000 habitantes que demandan 4.7 m<sup>3</sup>/s de agua potable, y generan 3.8 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales, de las cuáles 85% son colectadas en el

alcantarillado, es decir 3.23 m<sup>3</sup>/s, estas son conducidas a las plantas de tratamiento Norte y Sur. Actualmente solo se tratan (tratamiento primario) 2.4 m<sup>3</sup>/s, por lo que se vierten 1.394 m<sup>3</sup>/s crudos de aguas negras hacia el DR 009.



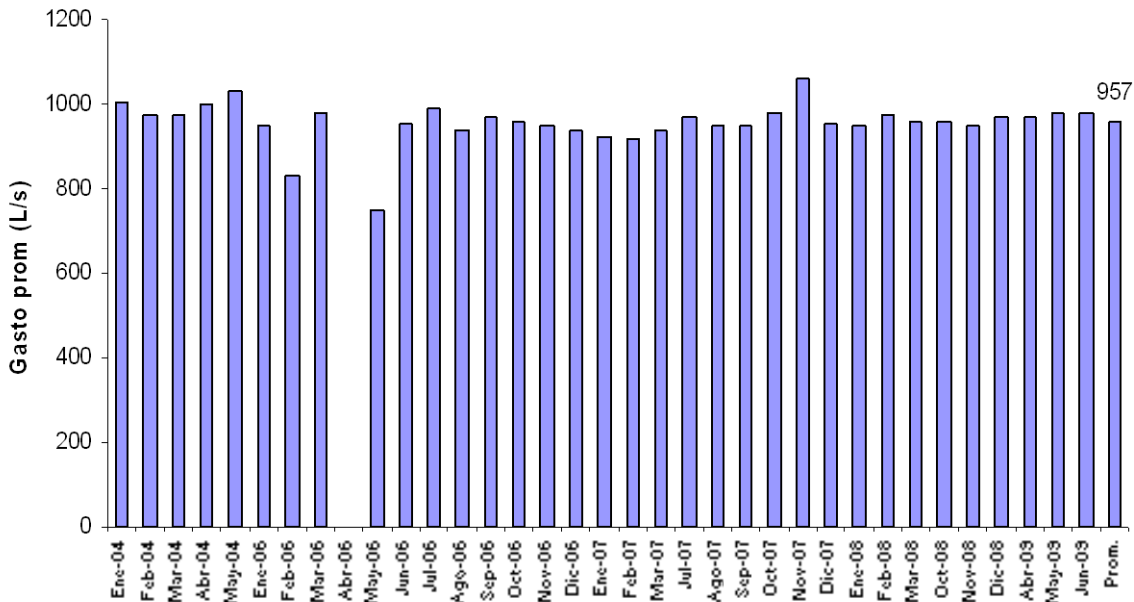
AGUAS RESIDUALES TRATADAS (m <sup>3</sup> /s)	AGUAS RESIDUALES SIN TRATAMIENTO (m <sup>3</sup> /s)
2.4	1.394

**Gasto del Efluente de la planta de tratamiento "Norte"**



La planta fue diseñada para tratar 2.5 m<sup>3</sup>/s, pero como la ciudad creció en el lado opuesto a la ubicación de la planta ahora no se aprovecha su capacidad.

**Gasto del Efluente de la planta de tratamiento "Sur"**



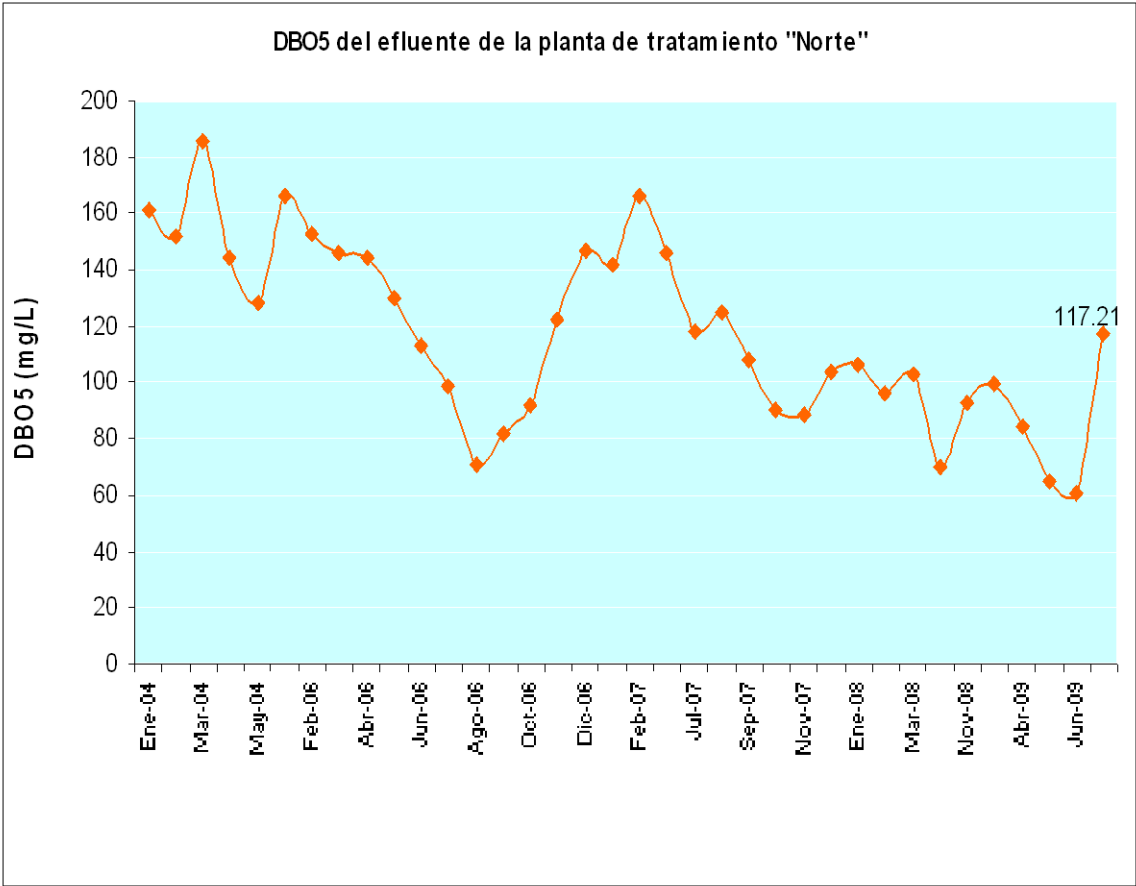
La planta fue diseñada para tratar 1m<sup>3</sup>/s, pero la ciudad creció en este sector y ahora la planta no tiene capacidad para tratar el volumen generado que se estima en casi 2.3 m<sup>3</sup>/s

La calidad bacteriológica de las aguas residuales se observó a partir de la demanda biológica de oxígeno a 5 días, (DBO5) que es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica e inorgánica susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación.

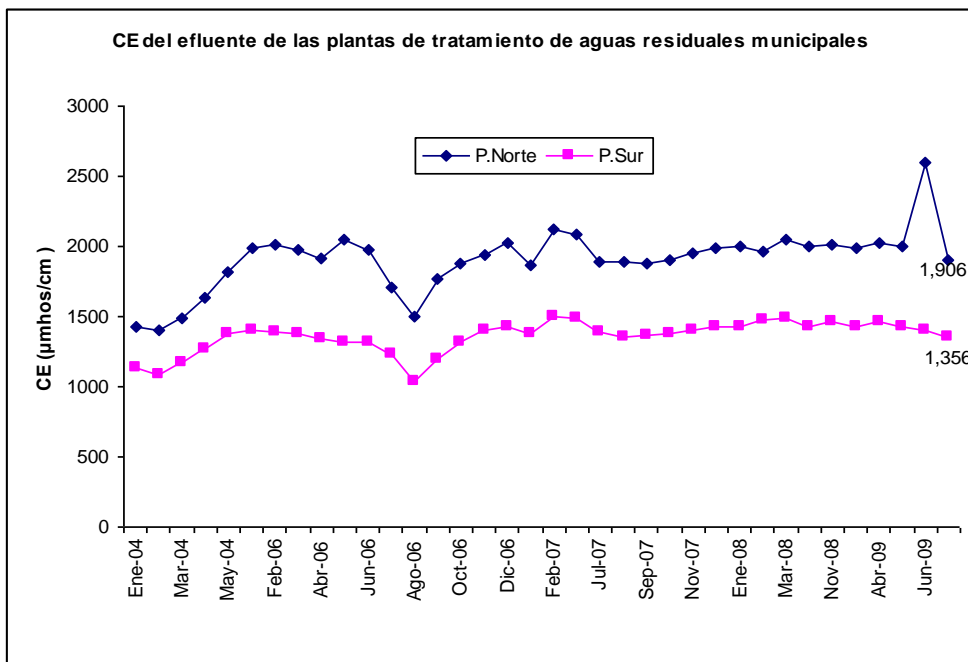
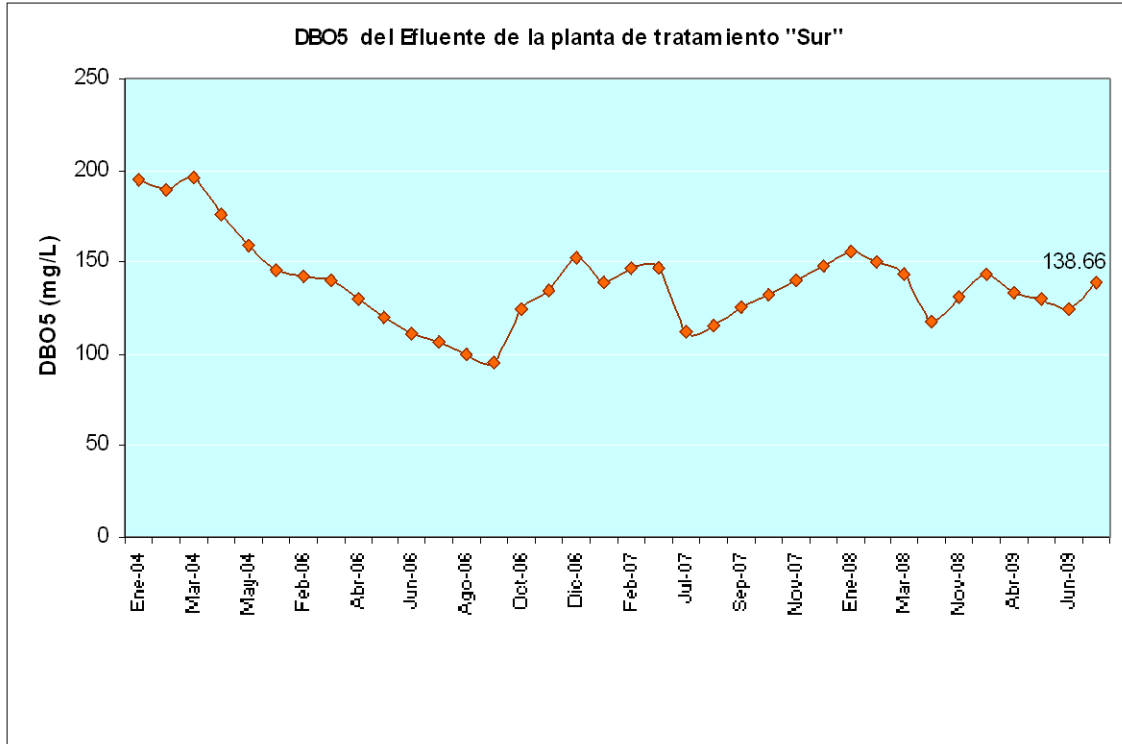
El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se han inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos transcurridos 5 días (DBO5) y se expresa en mg O<sub>2</sub>/litro o mg/l.

La DBO5 de los efluentes de las plantas norte y sur mostraron un comportamiento descendente en el período de análisis (2004-2009), sin embargo los promedios obtenidos fueron de **117.21 y 138.66 mg/l** respectivamente, **muy por encima** de lo que marca la nom-001-semarnat-96 que es de **75 mg/l** para aguas que vierten a embalses naturales o artificiales con uso en riego agrícola.

La planta norte apenas en los meses de abril a junio de 2009 logró cumplir con los límites de DBO5, pero en la planta sur se requiere que la JMAS y el organismo operador de inmediato revisen y adecuen el proceso que permita que la DBO5 disminuya a los límites que marca la norma.



La concentración actual de DBO5 afecta drenes y canales del distrito, al crear condiciones ideales para la proliferación de malezas que afectan la conducción del agua e incrementan los costos de mantenimiento y favorece la reproducción de micro-organismos, insectos y otros animales que pueden afectar la salud humana y aumentar el riesgo de plagas para la agricultura.

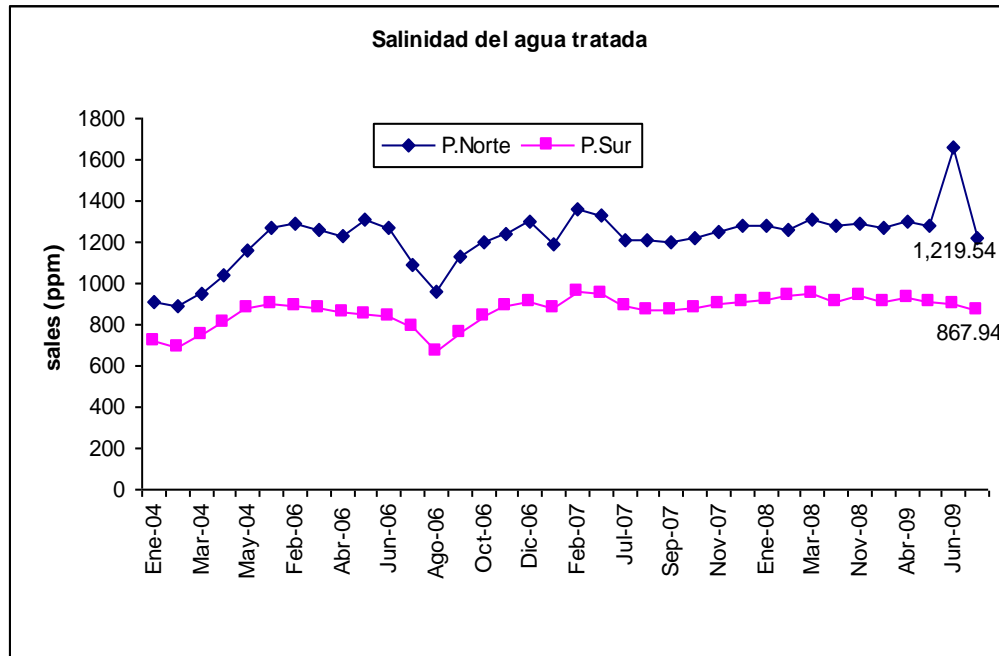


La conductividad eléctrica (CE) es uno de los parámetros más importantes a considerar en el agua de riego, con ella se establece el grado de salinidad del agua. La CE de los efluentes de las plantas se



encontraron en un rango de 1300 a 1910 ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) muy similar a la CE del agua del tratado.

La salinidad del efluente de la planta Norte promedio 1,219 ppm y en la sur 897 ppm. Por lo tanto, las aguas residuales tratadas en las plantas norte y sur se clasifican según los criterios AGRONÓMICOS EN EL RANGO DE RIESGO MODERADO DE USO PARA RIEGO AGRÍCOLA.



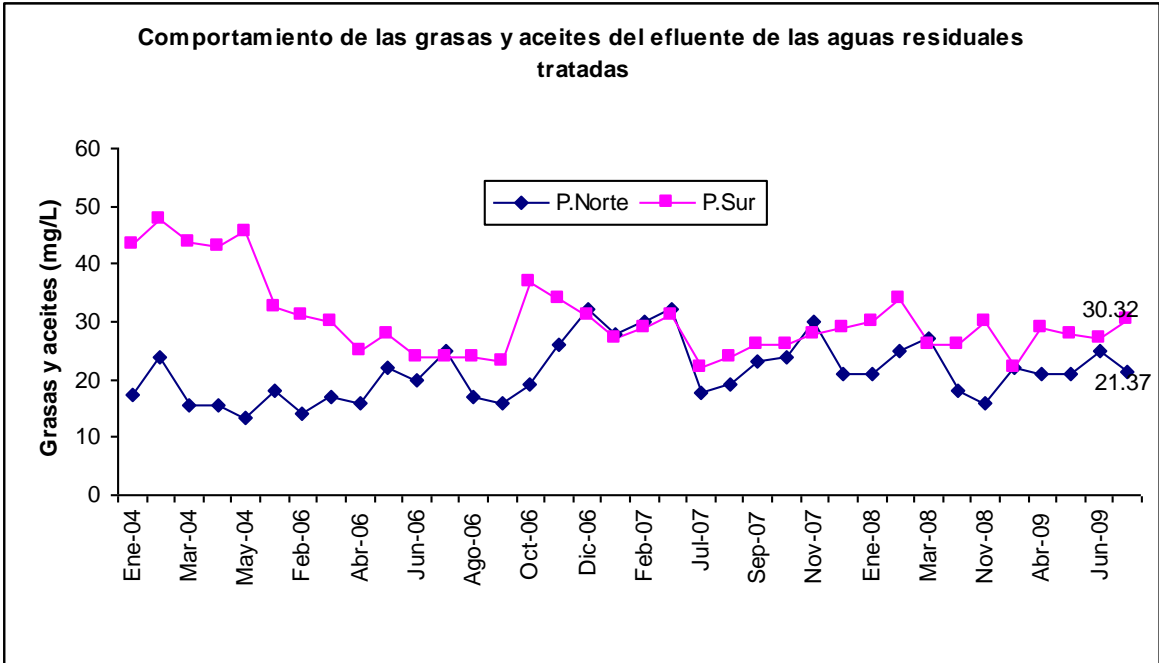
Estos datos son los reportados por la JMAS, aunque se supone ser las mismas aguas de los pozos profundos, la salinidad se esperaría similar. Muestrados directos no muestran dicha tendencia.



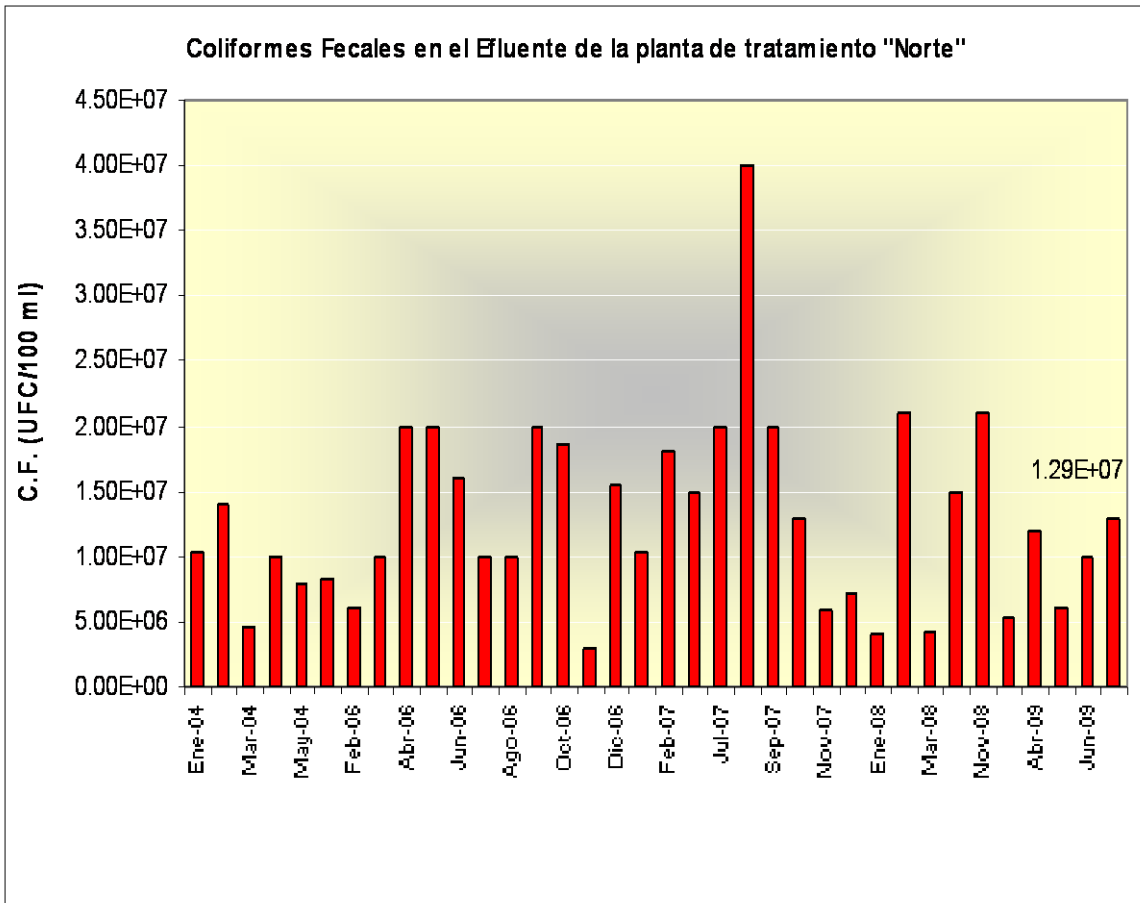
Las grasas y aceites son responsables de las natas y espumas que se observan en la superficie del agua, y cuando se vierten en concentraciones que rebasan los límites establecidos por la nom-001-semarnat-96 que marca 15 mg/l, suelen causar contaminación de cauces, suelos, y afectación de siembras.

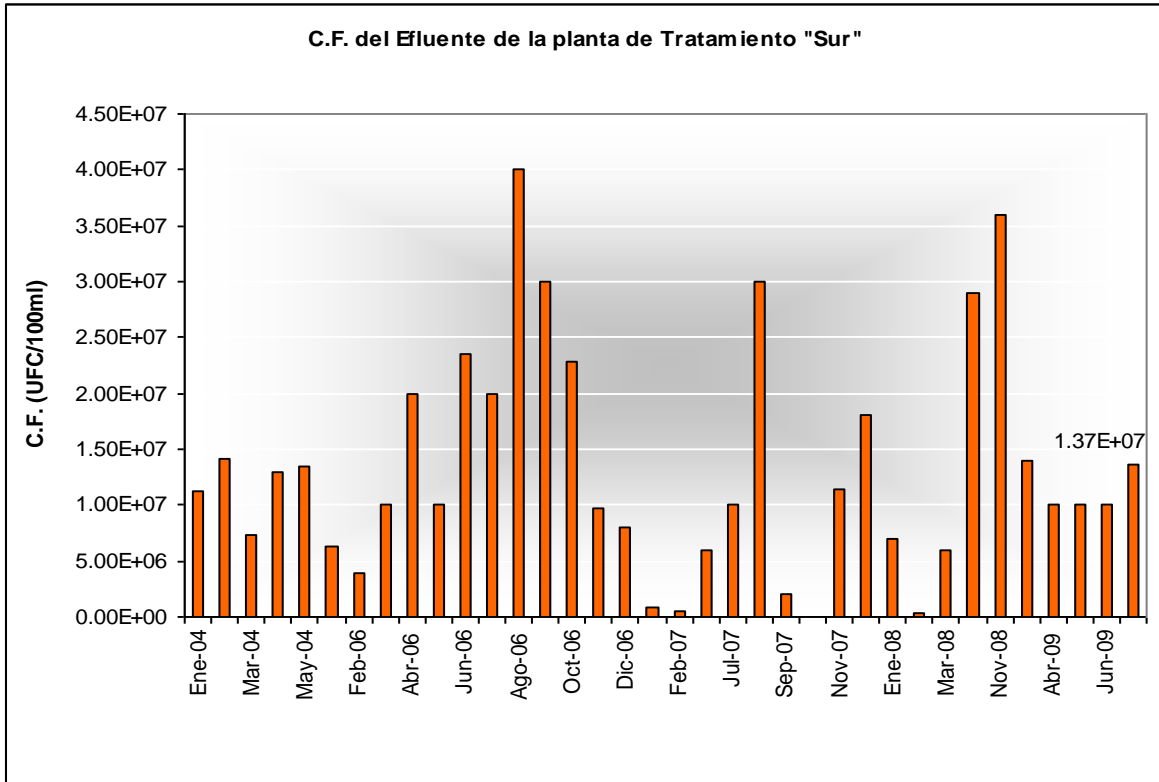
Los efluentes de las plantas norte y sur no logran cumplir con los límites de descarga para grasas y aceites de acuerdo a la norma por lo que se recomienda instar a la JMAS para

que revise las trampas de grasas y aceites a fin de cumplir con lo establecido por la norma.



Los coliformes fecales aparecen en la gráfica siguiente:





La NOM-001-semarnat-96 establece como límites máximos permisibles en aguas para riego 1000 y 2000 cf nmp/100 ml de agua para el promedio mensual y para el promedio diario.

En los efluentes de las plantas norte y sur (período 2004-2009) el agua rebasa en casi cuatro órdenes de magnitud los límites establecidos por la norma, por lo que éstas aguas representan un alto riesgo para la salud humana de los trabajadores del campo que entran en contacto con el agua, los suelos, y los cultivos regados, además de representar un alto riesgo para la producción agrícola que puede verse afectada por la aparición de fungosis o bacteriosis que son la principal causa de marchitamiento de las plantas, pudrición de raíces y frutos, etc. por lo que se recomienda que las plantas de tratamiento actuales y las próximas por construir como mínimo establezcan un tratamiento secundario avanzado.

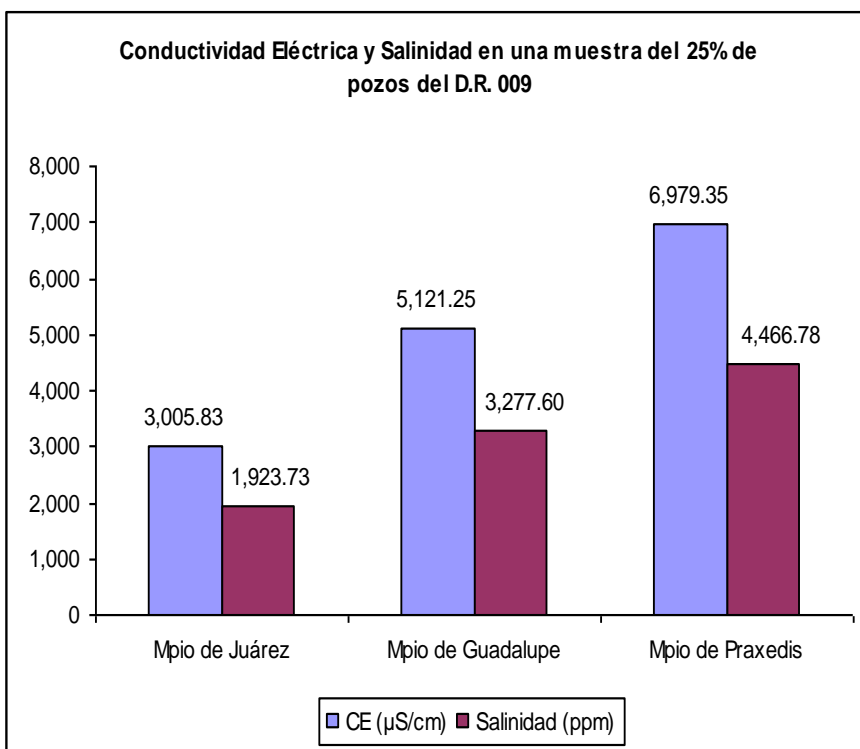
Las plantas de tratamiento norte y sur emplean sales de hierro como el sulfato ferroso como coagulante, por lo que se recomienda a la JMAS y al organismo operador revisen las dosis utilizadas y sus procesos de coagulación, floculación y clarifloculación así como los tiempos de sedimentación, ya que el color oscuro en el efluente final puede ser indicativo de alguna deficiencia y esto no ayuda a mejorar la apreciación que los productores tienen del agua tratada.

Por otra parte, el sulfato ferroso presente en el agua de riego se podría pensar que beneficia a los suelos del distrito, sin embargo, el sulfato ferroso en el suelo se transforma rápidamente en férrico el cual no es asimilable por las plantas, precipitándose como óxidos de hierro, que favorecen la acidificación de los suelos.

Se recomienda tomar algunas muestras de agua del sitio de unión de las aguas tratadas de las plantas de tratamiento para determinar concentración de este compuesto y tomar algunas muestras de suelos para verificarlo, así como hacer algunas consultas con la junta de sanidad vegetal para determinar incidencia de clorosis en los cultivos de la zona.



Para determinar sobre la calidad del agua de los pozos que explotan el acuífero somero, se realizó un muestreo en el 25% del total de los pozos agrícolas a lo largo del distrito se confirmó que existe un gradiente salino en el agua de los pozos que se va incrementando conforme se avanza de la primera a la tercera unidad, encontrándose en promedio 1,923 ppm (Unidad 1) en el municipio de Juárez, incrementándose a 3,277 ppm (Unidad 2) en el municipio de Guadalupe y de casi 4,500 ppm (Unidad 3) en el municipio de Praxedis.



Dicha situación indica que desde el punto de vista agronómico, que el agua presenta una restricción severa para su uso en riego. No obstante, el agua puede ser utilizada en dilución con agua de mejor calidad.

En dichas condiciones esta agua es restrictiva para el riego de alta presión por la evolución continua a la

acumulación de sales en el suelo.



La mezcla de las descargas de la planta norte y sur, tiene lugar en el sitio denominado loma blanca a partir de la cual se hace su aprovechamiento agrícola.

Los análisis realizados indican que estas aguas presentan las siguientes restricciones para riego que pueden ser indicadas en el siguiente resumen.

**Demanda bioquímica de oxígeno** con rangos de 135 a 224 mg/l, valores que exceden en más del doble lo establecido por la nom-001-semarnat-96 que es de 75 mg/l para embalses con uso agrícola.

**Conductividad eléctrica** con rangos entre 1200 y 1400  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y salinidad 768 ppm y 896 ppm, que la ubican como agua con un riesgo de ligero a moderado según el tipo de cultivo a regar. La hace restrictiva al riego de alta presión por la acumulación progresiva de las sales en el suelo.

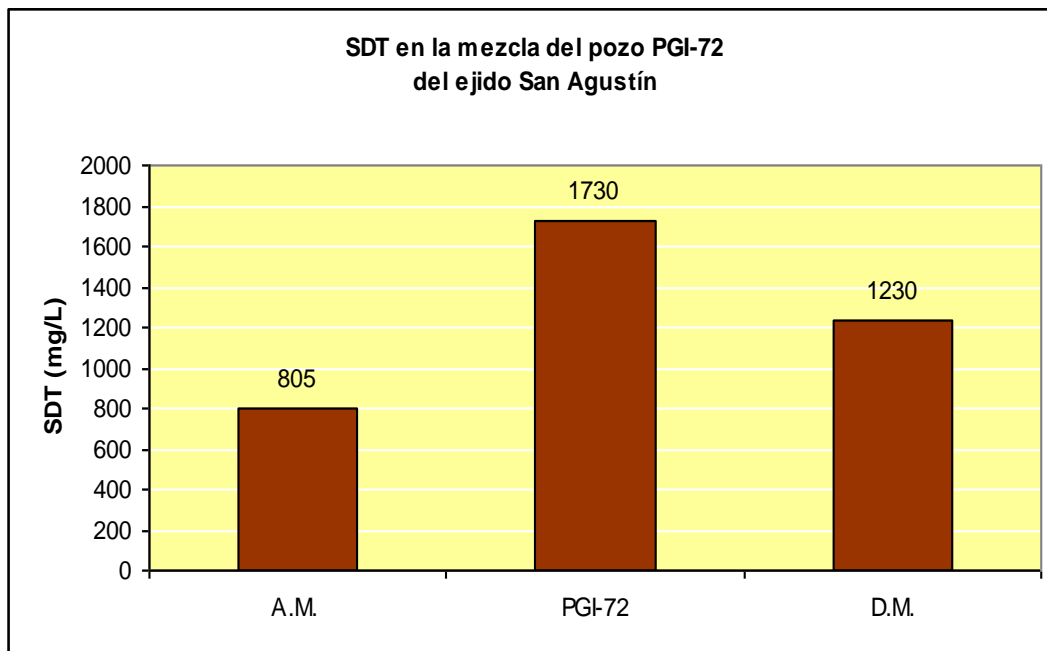
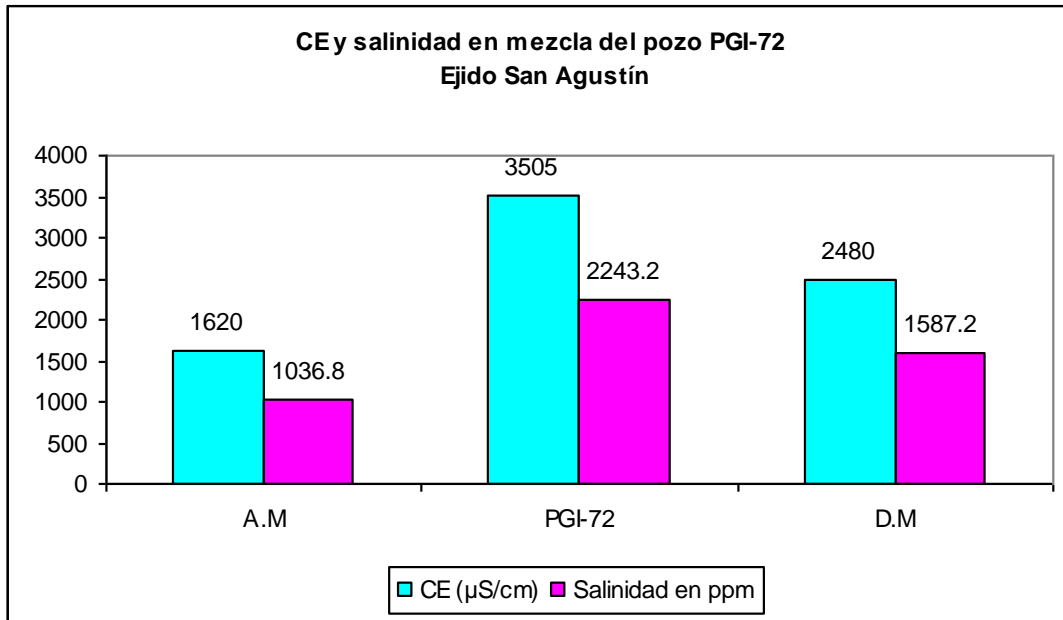
**Sólidos suspendidos totales** con rangos 60 a 150 mg/l, que la ubican como agua con un riesgo de moderado a severo según los criterios agronómicos y rebasando también los límites que marca nom-001-semarnat-96 que es de 75 mg/l para el promedio mensual, para embalses con uso agrícola. Complementa la restricción.

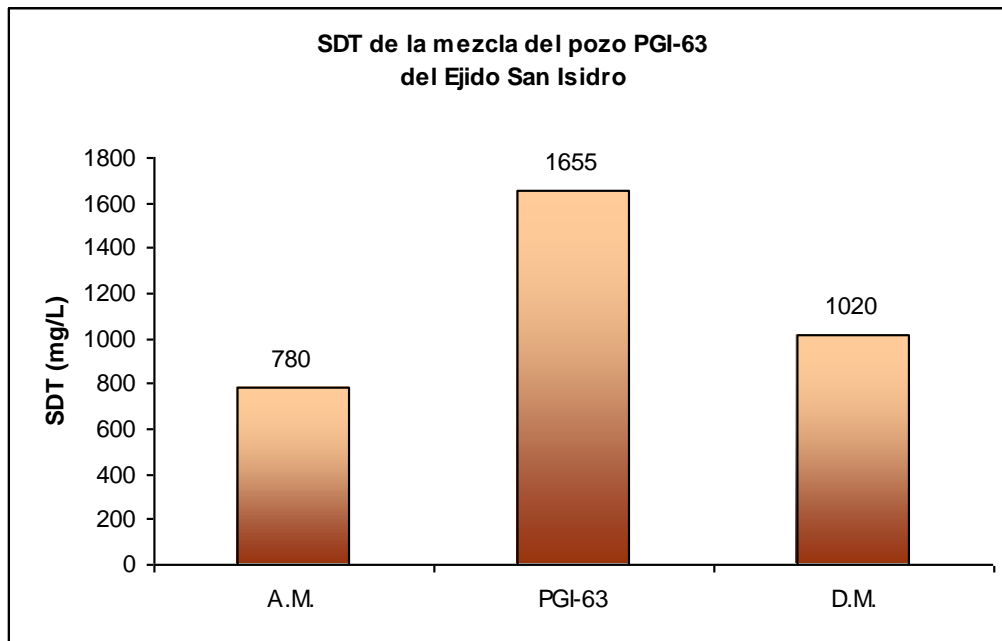
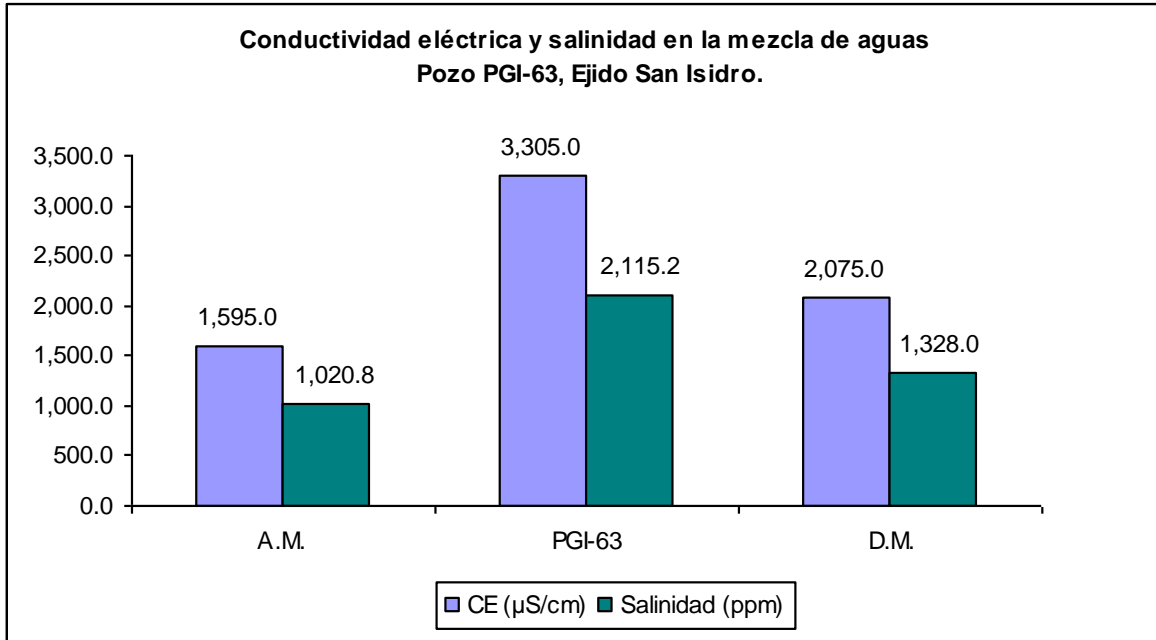
**Grasas y aceites** con rangos de 18 a 46 mg/l, por encima de los límites que marca nom-001-semarnat-96 que es de 15 mg/l para el promedio mensual, para embalses con uso agrícola. La hace muy restrictiva para el riego de alta presión por requerir de filtrado de agua.

**Coliformes fecales** con rangos de  $1.00 \times 10^6$  a  $5.00 \times 10^6$  ufc/100 ml de agua, rebasando los límites que marca nom-001-semarnat-96 que es de  $1.00 \times 10^3$  nmp/100 ml para el promedio mensual.

**Calidad del agua mezclada.** Se tomaron algunas muestras de agua de forma aleatoria, en sitios donde estas mezclas se estaban realizando para el riego, el producto resultante de la mezcla de aguas residuales con el agua de los pozos muestreados, mejoró notablemente la calidad del riego, al permitir reducir la conductividad eléctrica original del pozo, la salinidad y los sólidos

suspendidos totales en promedio de un 30 a 38%, no obstante esta agua es inapropiada para el riego de alta presión.





## Análisis y recomendaciones

Con la calidad actual de las aguas residuales tratadas sólo se recomienda el riego por gravedad y continuar con la práctica de mezclado con agua de pozos, y/o del tratado estableciendo cultivos tolerantes a sales, cultivos que no sean de consumo humano directo y praderas sin pastoreo directo del ganado.

Es necesario que la CONAGUA, inste a la JMAS y al organismo operador de la planta sur, para cumplir en el plazo inmediato con la norma de descarga de DBO5 a fin de reducir la proliferación

de malezas, insectos, organismos patógenos y otros que aumentan los riesgos de salud para la población y para la sanidad vegetal de la actividad agrícola en el distrito.

Es necesario que la JMAS y los organismos operadores se comprometan a reducir las grasas y aceites en el futuro inmediato, a fin de disminuir riesgos de contaminación que afectan directamente la permeabilidad de los suelos del distrito, afectan los mecanismos de las compuertas y dificultan la conservación y aumentan el costo de mantenimiento de los drenes y canales, además del impacto nocivo y visible de las natas de grasa en los cultivos recién establecidos, incluida la alfalfa recién cortada.

Dados los resultados de conductividad eléctrica y salinidad de los pozos, se recomienda que sus aguas se aprovechen mezclándolas en la medida de lo posible con las aguas residuales tratadas y/o del tratado lo que reduce la conductividad eléctrica, la salinidad y los sólidos en rangos de 30 a 38% mejorando su calidad fisicoquímica, a fin de reducir los riesgos de salinización de suelos y afectación a cultivos.

El riego en el DR 009 aun cuando utiliza aguas residuales tratadas y crudas además de las del tratado, debe tecnificarse en el futuro inmediato, revistiendo regaderas y estableciendo tubería de PVC entre la toma granja y las parcelas, y con sistema de multi-compuertas a nivel parcelario, llevar a cabo la interconexión de pozos oficiales y privados, lo que permitirá eficientar la conducción de las aguas salobres, un mejor aprovechamiento de los volúmenes y una mezcla más homogénea. A la vez, deberá provocarse el almacén de agua salobre en los bordos de almacenamiento para abatir los niveles del manto freático somero dañino a los cultivos y dar utilidad por mezcla al agua de mala calidad.

Si el actual tratamiento primario de las aguas residuales pasa a un tratamiento secundario avanzado las limitantes de contenido de DBO5, de coliformes fecales, grasas y aceites y sólidos suspendidos totales se reduciría al mínimo, solo quedando la limitante de salinidad en el agua, sin embargo el aprovechamiento en riego en el distrito se podría escalar a baja presión y a cultivos tolerantes a sales pero más rentables como el pistacho, el nogal, el olivo y la palma datilera por mencionar algunos, lo que mejoraría el índice de productividad de la tierra y beneficiaria con mayor ingreso a los usuarios.

Durante los meses de noviembre-diciembre y enero-febrero baja la demanda de riego por lo que se recomienda buscar el mecanismo para almacenar estos excedentes sea utilizando depresiones naturales o bien estableciendo pequeños bordos a lo largo del distrito que permitan su almacenamiento.

Es necesario fomentar entre los productores la modernización y el uso eficiente del riego, para el caso, el uso de tubería de conducción y multicompuertas. Se debe establecer un programa de capacitación mediante talleres teórico-práctico a técnicos de la CONAGUA (dirección local Chihuahua) y en conjunto con representantes de los módulos de riego y sus propios técnicos sobre uso eficiente del riego.



## Conclusiones parciales

El caudal actual disponible de aguas residuales municipales tratadas es de **2.4 m<sup>3</sup>/s** mas **1.394 m<sup>3</sup>/s** de aguas negras crudas para un gasto disponible total de **3.794 m<sup>3</sup>/s** promedio para el DR 009.

Es necesario continuar con las inversiones en infraestructura de tratamiento que permita tratar el 100% del agua residual generada, con al menos un tratamiento secundario avanzado, que permita su reutilización en el distrito 009, con los menores riesgos posibles de contaminación y afectación a los suelos, cultivos y a la salud humana.

El análisis de resultados del efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en el periodo 2004-2009 registró que la planta norte apenas en los meses de abril a junio de 2009 logró cumplir con los límites máximos permisibles que marca la nom-001-semarnat-97, de DBO5 en su efluente, no así la planta sur que desde que inició operaciones no ha podido cumplir con los límites que establece la norma. La DBO5 actual de la descarga de la planta sur que casi duplica los límites que marca la norma, afecta drenes y canales del distrito, crea condiciones ideales para la proliferación de malezas lo que incrementa los costos de mantenimiento y crea condiciones para la reproducción de organismos patógenos.

La calidad de las aguas residuales tratadas presentaron una conductividad eléctrica y salinidad muy semejantes a las aguas del tratado, lo que las hace aceptables para riego agrícola con restricción ligera a moderada dependiendo de la sensibilidad de los cultivos.

**Grasas y aceites** que rebasan los límites de la nom-001-semarnat-97, y ya muestran sus efectos adversos en canales y drenes al dificultar su conservación y aumentar su costo de mantenimiento además de la afectación a los mecanismos de las compuertas y también elevan el riesgo de problemas de infiltración en los suelos regados, y no son recomendables al riego de alta presión por sus costos operativos.

**Coliformes fecales** que rebasan en cuatro órdenes de magnitud los límites establecidos por la norma elevando el riesgo de salud pública, agronómica y pecuaria en el área de influencia del distrito.

**Sólidos suspendidos totales** del efluente de la planta sur que rebasan ligeramente los límites máximos permisibles y con ello se encuentran fuera de norma.

El sulfato ferroso sulfato ferroso utilizado en las plantas se transforma rápidamente en férrico, precipitándose como óxidos de hierro que son acumulables en el suelo y favorecen la acidificación de los mismos.

Existe un excedente de aguas residuales tratadas entre los meses de noviembre-diciembre y enero-febrero que son las fechas en que la demanda de riego baja. Dicho volumen debe ser almacenado y mezclado con agua de mejor calidad físico-química para darle uso agrícola.

La principal limitante del agua de los pozos en el valle de Juárez es la salinidad presentándose un gradiente que se va incrementando de la primera a la tercera unidad, encontrándose en promedio 3006  $\mu\text{s}/\text{cm}$  en el municipio de Juárez, incrementándose a 5,121  $\mu\text{s}/\text{cm}$  en el municipio de Guadalupe y de casi 7000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  en el municipio de Praxedis, y de salinidad de 1,923 ppm a 3,277 ppm 4, 466 ppm, lo que indica que desde el punto de vista agronómico esta agua presenta una restricción de moderada a severa para su uso, pero puede ser utilizada en dilución con agua de mejor calidad.

La principal ventaja de la práctica de mezclado de aguas residuales con el agua de los pozos muestreados, es que se mejora notablemente la calidad del riego, al permitir reducir la conductividad eléctrica original del pozo, la salinidad y los sólidos suspendidos totales en promedio de un 30 a 35 %, lo que permite a los agricultores del DR 009 aprovechar el agua de los pozos aún cuando éstos sean salinos.

En la sección siguiente, se realiza un estudio hidrológico de las principales microcuencas que descargar hacia el río Bravo con el fin de estimar su volumen de escurrimiento medio con fines de almacenamiento, para luego ser utilizado en un análisis de volúmenes del efluente residual, y todas las fuentes de agua susceptibles de utilizarse en el riego del valle de Juárez.

# Estudio hidrológico de microcuencas

Este estudio hace uso de un modelo de elevación digital (MDE) y se aplica en el DR 009 para analizar alternativas de modernización, en particular revisar las superficies de las principales microcuencas.

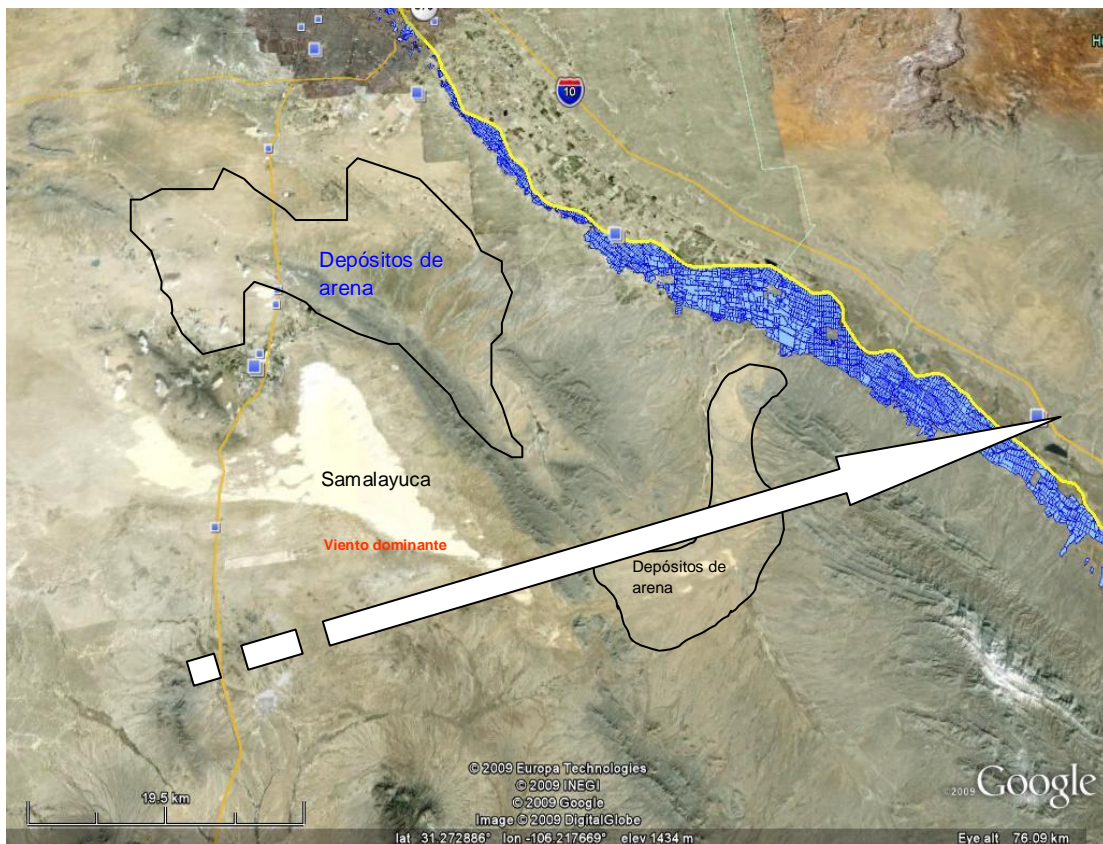
La problemática existente en la zona del Distrito de Riego de la erosión eólica e hídrica ocasiona depósitos de arena en la zona agrícola y directamente en el Río Bravo, además de no aprovechar toda el agua originada por el escurrimiento de la lluvia.

## Problema de erosión hídrico-eólica

La ubicación particular del Distrito, la falta de vegetación en el centro del estado de Chihuahua y la dirección de los vientos dominantes reúne los elementos para que se deposite gran cantidad de partículas de suelo formando la zona de dunas de Samalayuca y agregando arena en la parte cercana alta de la zona del Distrito de Riego.

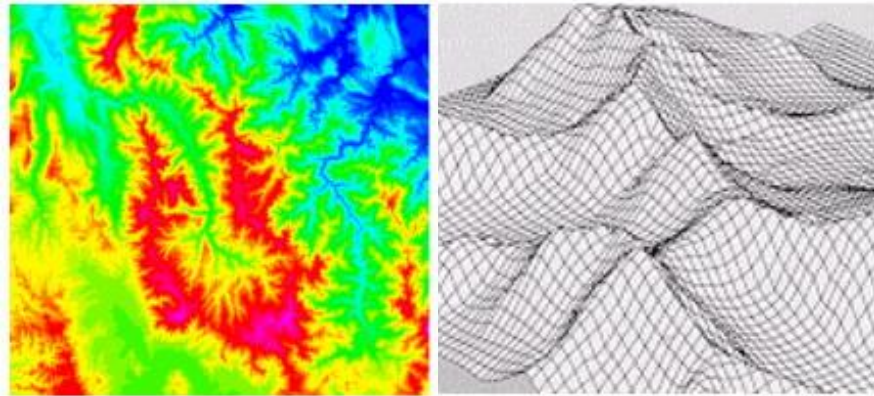
La lluvia cuando ocurre, al faltar la vegetación se origina escurrimiento con arrastre de arena hacia la zona baja, haciendo difícil el aprovechamiento de la misma agua por la gran cantidad de material en suspensión.

### Problemática



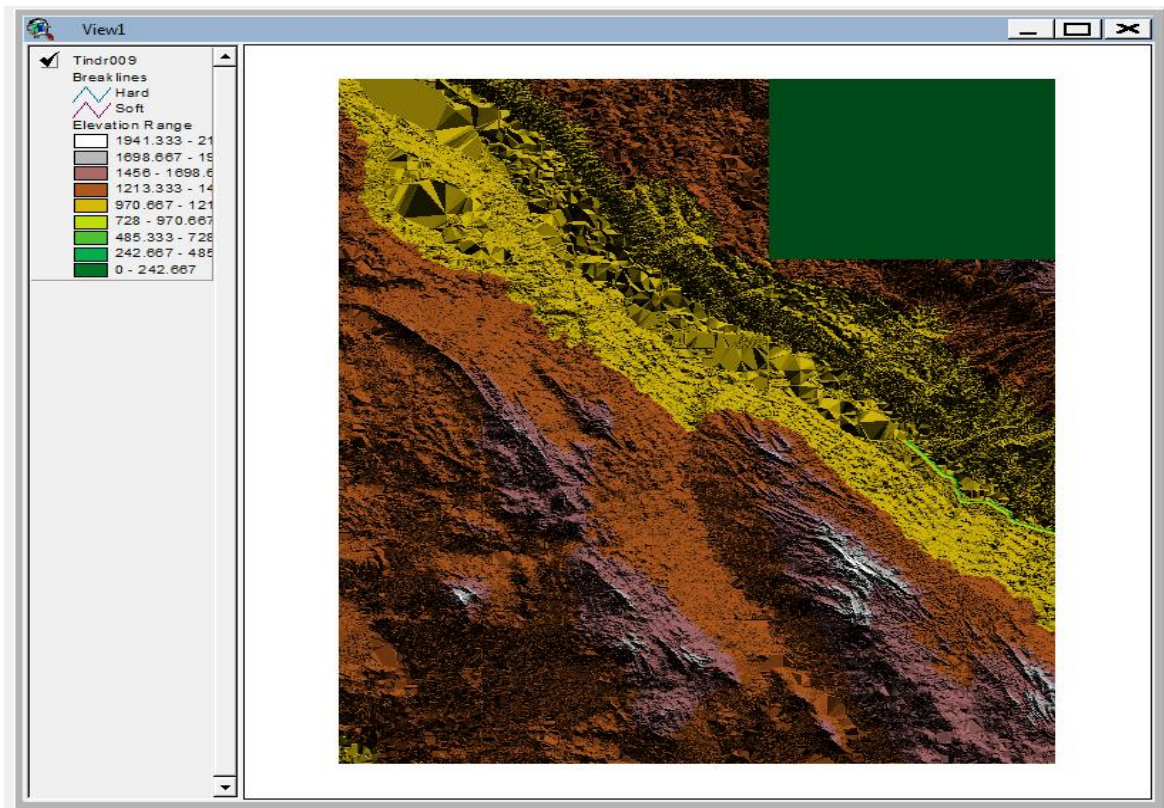
Para ubicar los arroyos y delimitar su cuencas correspondientes se requirió la utilización del MDE pues permite delimitar las cuencas de cada corriente.

Un MDE es una estructura numérica de datos que representan la cota de cada coordenada de un área en particular. Este puede representarse de forma gráfica tridimensional representando la superficie terrestre, o bien auxiliarse del color identificando el nivel del terreno.



Una parte del tratamiento de un Modelo Digital de Elevación es la generación de una Red Irregular de

Triangulación que consiste en una discretización del MDE para ubicar puntos del área correspondiente representándolo como una malla cuya densidad está en función de los accidentes topográficos del terreno y con ello facilitar su análisis.



El procedimiento para el análisis de las cuencas de los arroyos inició en la localización de los mismos y a partir de la topografía del terreno determinar el trazo de su cuenca correspondiente.



Una vez identificados los parte-aguas se determinó el área de sus cuencas. Para resolver la problemática inicial se consideraron 2 acciones de control y 1 recomendación preventiva.

**ACCION 1. CONTROL DE LA EROSIÓN EÓLICA:** Se considera la utilización de cortinas rompe-vientos, mediante la alineación de una o más hileras de árboles o arbustos para formar una barrera que constituya un obstáculo al paso del viento y del polvo.

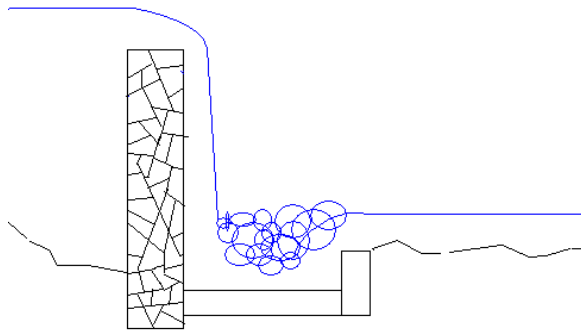
Sus beneficios son:

- Reducción de la velocidad del viento.
- Detención del material acarreado.
- Protección al suelo de la acción erosiva del viento.

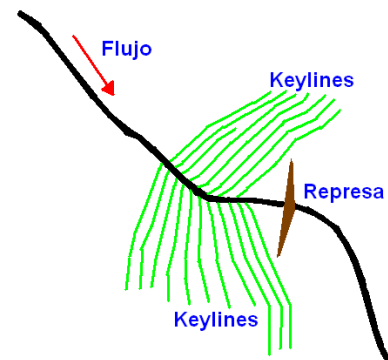
Su utilización está limitada por la competencia de humedad, elementos nutritivos y las condiciones de aridez pueden ocasionar que no se desarrollen adecuadamente además de que pueden ser hospederas de plagas.

Para su uso se recomienda utilizar especies adaptadas al clima y a la zona, que sean resistentes a la sequía y con un sistema radicular de desarrollo vigoroso vertical y horizontal, de manera que aproveche mejor la humedad del suelo, que sean de crecimiento rápido y morfológicamente uniformes, de alta densidad foliar, de preferencia no apetecibles al ganado o espinosas que restrinjan el ramoneo y que conserven el follaje todo el año.

ACCION 2 CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA. a) Utilización de presas de gaviones para retener el material arrastrado por el agua y aumentar la infiltración, aguas abajo del vertedor un tanque de amortiguamiento para disminuir la energía cinética del agua y así reducir su poder erosivo.



b) Colocación de keylines o canales de infiltración ayudan a aumentar el volumen infiltrado. Los canales de infiltración son pequeños canales paralelos pendiente-dirigidos a los costados de la corriente principal cuyo objetivo es incrementar la humedad de gran parte del suelo y así disminuir el volumen de agua a escurrir, permitiendo que el suelo sirva como almacén de agua.



c) Construcción de pequeños bordos o reservorios a lo largo de los ramales del escurrimiento principal de la cuenca, ubicados al costado de la corriente para evitar su erosión y degradación.



Estos permiten retener aguas arriba un volumen utilizable para agostadero o vida silvestre además de recarga del acuífero y evitar se pierda al verterse directamente al Río Bravo.

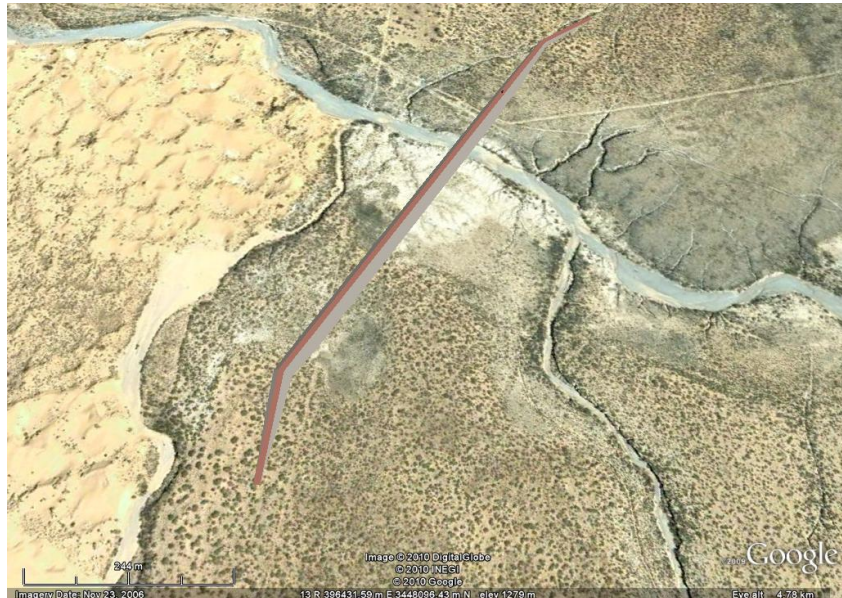
**RECOMENDACIÓN:** Todas las acciones anteriores son correctivas, se recomienda entre otras cosas evitar el sobrepastoreo, la recolección de plantas, etc. con el objetivo de cada vez tener mayor cubierta vegetal y con ellos disminuir la pérdida potencial de suelo.

## Propuestas y resultados

Después del análisis de cada cuenca se recomendaron acciones a los más importantes cauces:

### El Bandejas

Por su gran potencial de aprovechamiento puede permitir almacenar alrededor de 4 millones de metros cúbicos tan solo aguas arriba del arenal que se localiza al centro de su cuenca. Con acciones de conservación en toda la cuenca se debe evitar el arrastre de 35 mil metros cúbicos de azolve anualmente, con la colocación de varias presas de gaviones a lo



largo de su corriente principal y de ir almacenando el volumen escurrido por medio de reservorios, además de conservar la arena en su lugar mediante la instalación de barreras rompe-vientos. El uso de keylines será adecuado en función del tipo de suelo y su profundidad.

El arroyo se denomina las bandejas por presentarse en su parte alta reservorios pequeños o bandejas que multiplicándolos permitirían la recarga del acuífero y su utilización para la vida silvestre así como aminorar el volumen escurrido con potencial erosivo.



## El Millón:

Es el arroyo que deposita directamente más material de azolve en el lecho de Río Bravo. Requiere de todas las acciones de control de la erosión para la conservación de suelos. En la parte alta construcción de varias presas de gaviones para retener el azolve y keylines, pequeños reservorios para retener parte del agua y en 3 puntos identificados la construcción de 3 diques para almacenar alrededor de 1.2 Millones de m<sup>3</sup> anualmente.





**Arroyo (51).** Se localiza en la parte ultima del Distrito de Riego, tiene alto potencial de captación y presenta en menor grado arrastre de material, pueden aplicarse al igual todas las acciones planteadas. Por su ubicación el aprovechamiento agrícola al colocar dos diques para almacenar 1.223 Millones de m<sup>3</sup> anualmente de agua de lluvia, lo que representa una gran oportunidad sobre todo por localizarse en un área donde no hay garantía de abastecimiento del agua de riego para el Distrito. La colocación de presas de gaviones evitaría que el material suelto se depositara en los diques y tuvieran una vida útil mayor. La colocación de pequeños reservorios permite la recuperación del manto freático con agua de excelente calidad además de preservar la vida silvestre. Se evitaría el sobre pastoreo con fines conservacionistas.



## Conclusiones parciales

La utilización de modelos digitales de elevación permite a partir de la problemática presente plantear alternativas de solución para la ubicación de arroyos y delimitación de cuencas, así como la determinación de los puntos más propicios para la construcción de diques de almacenamiento/filtración de agua.

Los Sistemas de Información Geográfica usando un MDE son una herramienta para el procesamiento de las cuencas hidrológicas de la zona en estudio que entre mayor resolución espacial mejor es el resultado del análisis.

Existe un volumen potencial de captación en las cuencas de los arroyos mayores del DR 009, del orden de 6.4 Millones de m<sup>3</sup> anualmente utilizables para recarga del acuífero o para el riego de parcelas agrícolas. Este volumen se convierte en una superficie adicional de 4250 ha de cultivos irrigados con una lámina media de 1 metro y dejando un volumen de conservación equivalente a un tercio del almacenamiento total.

De acuerdo con datos estimados por el Ingeniero en Jefe del Distrito de Riego 009, el escurrimiento generado por las lluvias en la ciudad permite captar unos 20-25 millones de m<sup>3</sup> anualmente, a lo cual se deben preparar la red de distribución y la operación para provocar el almacenamiento de agua de lluvia en los bordos de almacenamiento. No obstante que, se deben de construir las obras para conducir el agua sin problemas a la red de conducción. Este volumen debe ser utilizado en su totalidad para riego. Como esto depende de cómo se opere, podemos hablar de ingresar un ½ de dicho volumen permitiendo irrigar otras 10 mil ha con la lámina de un metro.

En las condiciones actuales, si se suma la superficie por el producto de almacenar el agua residual invernada a las superficies recién obtenidas se llega a una superficie de riego de 19,650 ha adicionales al legado del agua residual en el ciclo Primavera-Verano. Definitivamente es necesario contar con esta infraestructura.

En la sección siguiente se expone el uso actual del agua para riego en el Valle de Juárez.

# Estudio hidroagrícola y reconversión de cultivos

El objetivo de esta sección es exponer el análisis de la información hidroagrícola del DR 009, su desempeño y corroboración de datos de eficiencias, así como medir el efluente residual en uso agrícola y dadas las características físico-químicas del agua de riego recomendar una reconversión de cultivos.

## Introducción

El clima es árido del tipo Bw. **Vegetación:** escasa de tipo matorral desértico plantas como *Larrea tridentata* (gobernadora), *Prosopis ssp.* (Mezquite), *Mimosa ssp.* (Vara prieta y gatuño) y vegetación de galería como *Tamarix spp.* (pinabete), *Populus ssp.* (álamos) y *Salix ssp.* (sauces). etc..



La precipitación promedio es de 234 mm y la evaporación de 2231 mm.

Período	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1903 – 2005	10	12	9	8	9	18	39	41	35	26	13	14	234
1969 – 2005	88	109	187	238	287	299	271	237	196	147	99	73	2231

La superficie física y regable que cuenta el DR 009, Valle de Juárez, Chih. es de 24,708.64 y 20,798.89 ha. Respectivamente (Cuadro 3.)

Cuadro 3. Superficie física y regable por municipio reportada en el Plan Director del DR 009, Valle de Juárez, Chih. 2005

Municipio	Sup. Física (ha)	Sup. De Riego (ha)
-----------	------------------	--------------------

<b>Juárez</b>	4,888.02	4,565.94
Guadalupe D. B	9,007.29	7,641.25
Praxedis G. Guerrero	10,813.33	8,591.71
<b>Total</b>	<b>24,708.64</b>	<b>20,798.89</b>

Es necesario considerar de qué mucha de la superficie ubicada en el municipio de Juárez ha sido invadida por la mancha urbana y algunos terrenos han sido abandonados por la baja productividad, debido a la falta de agua y al ensalitramiento de los suelos.

En el DR 009, en los últimos cinco años se ha regado una superficie media de **11,500 ha**.

Suelos. La CONAGUA (2005) realizó una clasificación de los suelos por texturas en el Valle de Juárez.

Clase de Texturas	Superficie (Ha)	Porcentaje %
<b>Ligeras</b>	<b>3,081</b>	<b>14.81</b>
<b>Medias</b>	<b>5,249</b>	<b>25.23</b>
<b>Pesadas</b>	<b>12,469</b>	<b>59.94</b>
<b>TOTAL</b>	<b>20,799</b>	<b>100.0</b>

Situación que permite asociar las siguientes cantidades volumétricas con fines de estimación de requerimiento de riego.

Clase de Texturas	$\theta_{CC}(\%)$ ó cm de agua/m suelo	$\theta_{PMP}(\%)$ cm de agua/m suelo	HA(%) ó cm de agua/m suelo	Humedad Fácilmente Aprovechable. cm	Lámina Promedio de HA (En prof. de 1 m suelo) cm
Ligeras	12	7	7	3.5	6
Medias	25	13	13	10	12
Pesadas	33	16	16	8	14

En el mismo sentido la profundidad radicular media de los cultivos sirve para calcular la lámina promedio de reposición.

CULTIVO	PROFUNDIDAD MEDIA DE LAS RAICES (cm)
Alfalfa	135
Algodón	90

Avena	60
Avena Forrajera	60
Cacahuete	60
Camote	79
Cebolla	70
Chile verde	80
Frijol	79
Tomate	79
Maíz	90
Maíz Forrajero	90
Melón	50
Nogal (Nuez)	135
Pistacho	130
Pepino	60
Pradera	90
Sandía	50
Sorgo	90
Sorgo Forrajero	90
Trigo	80

El problema de la salinidad. En el Valle de Juárez el uso de agua salina para riego agrícola, los mantos someros y las condiciones semidesérticas de la región han favorecido el ensaltramiento de los terrenos de cultivo. La salinidad limita el establecimiento de ciertos cultivos, reduce considerablemente rendimiento y la productividad, y con ello el abandono de las parcelas ensaltradas. La salinidad se ha incrementado por manejo y utilización de agua con muy altos contenido de sales. Se presenta la clasificación de suelos de acuerdo con los grados de salinidad en base a la CE (United States Salinity Laboratory de Riverside 1984).

Tipo de Suelo	Conductividad Eléctrica (dS/m)	Partes por millón(ppm)*
A.- Normal	De 0 a 2	De 0.0 a 1,300
B.- Ligeramente Salino	De 2 a 4	De 1,300 a 2,600
C.- Salinos	De 4 a 8	De 2,600 a 5,100
D.- Fuertemente Salinos	De 8 a 16	De 5,100 a 10,200

E.- Extremadamente salinos	Mayo de 16	Más de 10,200
----------------------------------	------------	---------------

Incluso se anexa una clasificación práctica del agua para riego:

CLASE	CLASIFICACIÓN PRACTICA DE LA APTITUD DEL AGUA PARA RIEGO	
1	Agua apta	Sin riesgo para riego. Si contiene menos de 0.5 gramos de sal por litro de agua
2	Agua con riesgo	De 0.5 a 2 gramos de sal por litro de agua. Caso aguas tratado y plantas de tratamiento.
3	Agua no apta	No recomendada para el riego si tiene más de 2 gramos de sal por litro de agua. A menos que se aplique bajo la supervisión de un experto. Caso de pozos de Valle de Juárez con 15 o más gramos de sal/litro

Clasificación de la Salinidad de suelos de acuerdo a la respuesta de los cultivos.

Tipo de Suelo	Salinidad	C.E. (dS/m)	Efectos
Normales	Muy ligera	0-2	Casi nulos
	Ligera	2-4	Puede afectar a cultivos sensibles
Salinos	Media	4-8	La mayoría de los cultivos son afectados
	Fuerte	8-16	Solo pueden prosperar cultivos tolerantes
	Muy Fuerte	> 16	Solo se desarrollan cultivos muy tolerantes

Debido a que el nivel del manto freático se eleva se presenta la tabla de tolerancia de cultivos al manto freático de 50 cm.

TIPO RESPUESTA A MANTO FREÁTICO SOMERO	ALTAMENTE TOLERANTES	MEDIANAMENTE TOLERANTES	SENSIBLES
Principales cultivos	caña, papa, arroz, sauce, ciruela, fresas, algunos zacates, habas	remolacha, trigo, avena, cítrico, plátano, manzano, cebada, chícharo, algodón, pera, zarzamora, cebolla	maíz, tabaco, durazno, cereza, olivo, frijol, palma datilera

Clasificación práctica de suelos salinos por contenido en peso de sal en el agua del suelo.

TIPO DE SUELO	Contenido de sales de la solución del suelo en gramos de sal por litro de agua
No salino	De 0 a 3 gramos de sal por litro de agua
Ligeramente salino	De 3 a 6 gramos de sal por litro de agua
Medio salino	De 6 a 12 gramos de sal por litro de agua
Altamente salino	Más de 12 gramos de sal por litro de agua

Tolerancia de las plantas cultivadas a la salinidad:

Plantas muy tolerantes                      Hasta 10 gramos de sal por litro de agua.

Medianamente tolerantes                      Hasta 5 gramos de sal por litro de agua

Plantas Ligeramente tolerantes De 2 hasta 5 gramos de sal por litro de agua

Principales cultivos y árboles de acuerdo con su nivel de tolerancia a la salinidad.

Cultivos Muy tolerantes	Árboles
-------------------------	---------

Espinacas	Casuarina
Betabel	Pino salado
Remolacha azucarera	
Cebada	
Espárragos	
Colza	
Caña de azúcar	
Cártamo	
Algodón	
Romeritos	
Acelgas	
Pasto salado y pasto Bermuda	

Moderadamente tolerantes	Árboles
Girasol	Palma datilera
Arroz	Olivo
Trigo	Higuera
Centeno	
Cebolla	
pepinos	
Papa	
Alfalfa	
sorgo	
Camote	



Ligeramente tolerantes	Árboles
Avena forrajera Sandía Melón Calabaza Soya Jitomate Brócoli lechuga Chícharo Maíz Manzano Zanahoria	Durazno y frutales de hueso y pepita

Ciclos y cultivos para determinar requerimientos de riego.

Cultivo	Superficie (ha)	No. de riegos	Volumen bruto Mm <sup>3</sup>	Volumen neto Mm <sup>3</sup>	Eficiencias de conducción
Alfalfa	2554	5.29	38,070.00	22,731.80	0.597
Frutales NN	265	4.48	3,363.20	1,978.10	0.597
Pradera NN	527	4.38	6,495.80	3,854.40	0.593
Algodón	4,095.00	3.7	42,105.60	25,055.60	0.595

Sorgo F - PV	284	6.2	5,060.60	2,874.20	0.598
Pradera PV	45	2.2	284.50	171.00	0.601
Sorgo F 2do. C.	1,164.00	2.78	8,612.90	5,171.70	0.600
Pradera 2do. C.	92	2.29	591.30	355.30	0.601
Avena F (o-i)	210	4.13	2,539.30	1,512.00	0.595
Trigo (o-i)	1,882.00	3.5	18,956.10	11,244.60	0.593
Pradera (o-i)	4.0	5.0	57.80	34.20	0.592
<b>Total</b>	<b>11,122</b>		<b>126,137.10</b>	<b>74,982.90</b>	<b>0.594</b>

## Estadística hidroagrícola y eficiencias reportadas

Las eficiencias de conducción **Ec**, reportadas son estimadas entre las eficiencias de la **Red Mayor (83%)** y la **Red menor de 73%** dando como resultado **62 %**. De acuerdo a información del mismo distrito se estima que las eficiencias de aplicación (**Ea**) son del **60%** y que la Eficiencia Global (EG) del distrito anda muy cercano al 37.23.

Las eficiencias medidas presentan la tendencia de un valor de eficiencia medio de 90% para la red mayor, se corrobora la de red menor y en general se aplica en agua a la parcela en un orden de 60%. El riego de siembra o presiembra es muy pesado, en particular el riego de algodón es por estricta inundación, es útil en el sentido del lavado de suelos por presencia de salinidad.

### Promedio de Volúmenes utilizados para riego en el DR 009, de 1973 al 2008.

AGUAS NEGRAS	AGUAS TRATADO	POZOS CNA	POZOS PARTIC.	TOTAL	DERIVACION DEL RIO
--------------	---------------	-----------	---------------	-------	--------------------

52,177.7	67,373.5	24,723.7	46,945.1	191,220.1	17,628.1
----------	----------	----------	----------	-----------	----------

**Volumen Sustentable y fuente de abastecimiento reportado en el plan director (CONAGUA, 2005)**

Concepto	Volumen (Mm <sup>3</sup> )	%
Tratado Internacional	74.0	42.28
Aguas Residuales	73.0	41.71
Pozos Profundos	28.0	16.0
<b>Total</b>	<b>175.0</b>	<b>100.0</b>

**Volúmenes promedio utilizados en últimos cinco años (2004-2008)**

AGUAS NEGRAS	AGUAS TRATADO	POZOS CNA	POZOS PARTIC.	TOTAL	DERIVACION DEL RIO	TOTAL
60,501.5	52,381.4	3,697.7	3,403.3	119,983.9	1,548.3	121,532.2

**Volumen utilizado en el ciclo agrícola (2007-2008).**

AGUAS NEGRAS	AGUAS TRATADO	POZOS CNA	POZOS PARTIC.	TOTAL	DERIVACION DEL RIO	TOTAL
59,613.6	61,243.3	122.1	0.0	120,979.0	5,921.3	126,900.3

La disponibilidad de agua de riego del tratado de los últimos años así como el incremento de agua residual de mejor calidad salina que la del acuífero somero ha provocado que las reparaciones y conservación de pozos agrícolas no se realice llegando al caso de menor extracción de agua y la

elevación de los niveles estáticos en la parcelas del DR 009. Esencialmente el usuario no tiene interés es bombear agua de mala calidad agrícola.

## Requerimientos de riego de los cultivos del Valle

Descripción de Fases Fenológicas utilizadas para el cálculo de los requerimientos de riego en el DR 009, Valle de Juárez.

		FASES FENOLOGICAS					
		1	2	3	4	5	6
Inicio	Siembra- Trasplante	1as. hojas verdes	50 % desarrollo veg.	Inicio floración	Fin floración	Llenado fruto	
Fin	1as. hojas verdes	50 % desarrollo veg.	Inicio floración	Fin floración	Llenado fruto	Cosecha	

**Fechas de las épocas de siembra recomendadas para el establecimiento y siembra de cultivos en el Valle de Juárez.(CONAGUA, 2009).**

<b>OTOÑO- INVIERNO</b>	
TRIGO	20 DE DICIEMBRE AL 15 DE FEBRERO
AVENA GRANO	15 DE DICIEMBRE AL 20 DE ENERO
AVENA FORRAJERA	20 DE NOVIEMBRE AL 15 DE FEBRERO
PRADERA	15 DE SEPTIEMBRE AL 15 DE OCTUBRE
CEBADA	20 DE DICIEMBRE AL 31 DE ENERO
<b>PRIMAVERA- VERANO</b>	
ALGODON	1o AL 30 DE ABRIL OPTIMA 10 AL 20 DE ABRIL
MAIZ	1o DE ABRIL AL 31 DE MAYO
SORGO	1o DE ABRIL AL 31 DE MAYO
CHILE TRASPLANTE	SIEMBRA 20 AL 31 DE ENERO TRASP. 20 AL 31 DE MARZO
<b>SEG. CULTIVOS</b>	
SORGO	1o. DE JUNIO AL 20 DE JULIO
MAIZ	1o. DE JUNIO AL 20 DE JULIO
FRIJOL	15 DE JUNIO AL 30 DE JULIO
<b>PERENNES</b>	
ALFALFA	15 DE SEPTIEMBRE AL 31 DE OCTUBRE
PRADERA	PLANTACION DEL 1o DE FEBRERO AL 15 DE MARZO
NOGAL	PLANTACION DEL 1o DE FEBRERO AL 15 DE MARZO
PISTACHO	PLANTACION DEL 1o DE FEBRERO AL 15 DE MARZO

$R_r = E_{Tr} - P_e$ ;  $E_{Tr} = K_c (E_{To})$ . Cálculo de la  $E_{To}$  por el método Penman-Monthieth y los datos de la evaporación de la estación Cd. Juárez. (IMTA, 2009).

MES	EVAPORACIÓN	0.8*EVAPORACIÓN	PRECI (mm)	PRECI EFE (mm)	ETo1
ENERO	88.0	70.4	10.0	7.6	59.0
FEBRERO	109.0	87.2	12.0	9.2	73.0
MARZO	187.0	149.6	9.0	6.9	125.3
ABRIL	238.0	190.4	8.0	6.1	159.5
MAYO	287.0	229.6	9.0	6.9	192.3
JUNIO	299.0	239.2	18.0	13.7	200.3
JULIO	271.0	216.8	39.0	29.8	181.6
AGOSTO	237.0	189.6	41.0	31.3	158.8
SEPTIEMBRE	196.0	156.8	35.0	26.7	131.3
OCTUBRE	147.0	117.6	26.0	19.8	98.5
NOVIEMBRE	99.0	79.2	13.0	9.9	66.3
DICIEMBRE	73.0	58.4	14.0	10.7	48.9
TOTAL	2231.0	1784.8	234.0	178.5	1494.8

Requerimiento de riego mensual y total en milímetros para los cultivos perennes en el DR 009 Valle de Juárez, Chih (IMTA, 2009).

MES	ETo1(mm)	ALFALFA	NOGAL	PRADERA
ENERO	59.0	7.11	4.16	7.11
FEBRERO	73.0	9.10	5.45	9.10
MARZO	125.3	55.78	43.25	30.72
ABRIL	159.5	121.46	105.52	57.68
MAYO	192.3	166.19	175.81	108.51
JUNIO	200.3	186.60	186.60	136.51
JULIO	181.6	151.81	188.13	151.81

<b>AGOSTO</b>	158.8	127.51	127.51	111.63
<b>SEPTIEMBRE</b>	131.3	91.48	78.35	65.22
<b>OCTUBRE</b>	98.5	49.11	29.41	29.41
<b>NOVIEMBRE</b>	66.3	13.30	3.35	6.66
<b>DICIEMBRE</b>	48.9	1.55	0.90	1.55
<b>TOTAL(mm)</b>	<b>1494.8</b>	<b>981.0</b>	<b>946.6</b>	<b>715.9</b>

Requerimiento de riego mensual y total en milímetros de los Cultivos establecidos en el ciclo de primavera verano en el DR 009, Valle de Juárez (IMTA, 2009).

<b>MES</b>	<b>ETo1(mm)</b>	<b>ALGODÓN</b>	<b>SORGO FORRAJERO</b>	<b>PRADERA</b>	<b>MAIZ GRANO</b>	<b>MAIZ FORRAJE</b>
<b>ENERO</b>	59.0					
<b>FEBRERO</b>	73.0					
<b>MARZO</b>	125.3					
<b>ABRIL</b>	159.5	9.84		57.68		
<b>MAYO</b>	192.3	50.82	89.28	127.74	60.43	60.43
<b>JUNIO</b>	200.3	106.46	126.50	166.56	106.46	106.46
<b>JULIO</b>	181.6	133.66	133.66	151.81	151.81	151.81
<b>AGOSTO</b>	158.8	135.45	143.39	95.75	143.39	143.39
<b>SEPTIEMBRE</b>	131.3	91.48	78.35		71.79	52.09

<b>OCTUBRE</b>	98.5	4.78				
<b>NOVIEMBRE</b>	66.3					
<b>DICIEMBRE</b>	48.9					
<b>TOTAL(mm)</b>	<b>1494.8</b>	<b>532.5</b>	<b>571.2</b>	<b>599.5</b>	<b>533.9</b>	<b>514.2</b>

Requerimiento de riego mensual y total en milímetros de los Cultivos establecidos durante el ciclo Otoño Invierno en el DR 009, Valle de Juárez (IMTA, 2009).

<b>MES</b>	<b>ETo1 (mm)</b>	<b>TRIGO</b>	<b>AVENA</b>	<b>PRADERA</b>
<b>ENERO</b>	59.0	18.90	18.90	51.33
<b>FEBRERO</b>	73.0	34.66	34.66	56.57
<b>MARZO</b>	125.3	118.42	99.63	
<b>ABRIL</b>	159.5	153.36	153.36	
<b>MAYO</b>	192.3	146.97	127.74	
<b>JUNIO</b>	200.3	66.40		
<b>JULIO</b>	181.6			
<b>AGOSTO</b>	158.8			
<b>SEPTIEMBRE</b>	131.3			
<b>OCTUBRE</b>	98.5			39.26
<b>NOVIEMBRE</b>	66.3			49.78
<b>DICIEMBRE</b>	48.9			38.23

<b>TOTAL (mm)</b>	<b>1494.8</b>	<b>538.7</b>	<b>434.3</b>	<b>235.2</b>
-------------------	---------------	--------------	--------------	--------------

## Corroboración del desempeño del DR 009

Cálculo y medición de las Eficiencias de aplicación. Utilización de la profundidad radicular y lámina a reponer en cm en función de su textura de suelo.

<b>CICLO/CULTIVOS</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>LAMINA A REPONER</b>	<b>LAMINA A REPONER</b>	<b>LAMINA A REPONER</b>
<b>2007-2008</b>	<b>RADICULAR MEDIA (cm)</b>	<b>EN TEXTURA LIGERA (cm)</b>	<b>EN TEXTURA MEDIA (cm)</b>	<b>EN TEXTURA PESADA (cm)</b>
AVENA FORRAJERA	60	3.6	7.2	8.4
TRIGO	80	4.8	9.6	11.2
ALGODÓN	90	5.4	10.8	12.6
OTRAS HORTALIZAS	80	4.8	9.6	11.2
OTROS FORRAJES	60	3.6	7.2	8.4
SORGO FORRAJERO	90	5.4	10.8	12.6
ALFALFA	135	8.1	16.2	18.9
OTROS FORRAJES	60	3.6	7.2	8.4
OTROS FRUTALES	135	8.1	16.2	18.9
MAIZ FORRAJERO	90	5.4	10.8	12.6
OTROS FORRAJES	60	3.6	7.2	8.4



SORGO FORRAJERO	90	5.4	10.8	12.6
-----------------	----	-----	------	------

Número de riegos y la lámina de agua reponer en cm para cada cultivo durante todo su ciclo vegetativo.

CULTIVO	Numero de riegos durante ciclo	Lamina media a reponer en cada riego con base a la textura del suelo (cm)	Lámina a reponer durante el ciclo (cm)
Avena F, O-I	3.8	7.38	28.06
Trigo O-I	4.0	9.85	39.38
Algodón P-V	3.3	11.08	36.55
Pradera P-V	2.4	7.38	17.72
Sorgo F, P-V	4.3	11.08	47.63
Alfalfa NN	6.0	16.62	99.69
Pradera NN	4.7	7.38	34.71
Frutales	5.7	16.62	94.71
Maíz F, 2do. C	2.1	11.08	23.26
Pradera 2do. C	1.5	7.38	11.08
Sorgo F, 2do. C	2.0	11.08	22.15
<b>Promedio</b>	<b>3.62</b>	<b>10.63</b>	<b>41.36</b>

Eficiencias de aplicación calculadas con las láminas de reposición requeridas por cultivos y las láminas netas reportadas con por el Distrito (IMTA, 2009)

CULTIVO	Lamina neta reportada (cm)	Eficiencia de Aplicación EDA
Avena F, O-I	67.5	0.52
Trigo O-I	71.7	0.58
Algodón P-V	55.0	0.64
Pradera P-V	44.0	0.51
Sorgo F, P-V	70.4	0.65
Alfalfa NN	102.4	0.79
Pradera NN	78.4	0.53
Frutales	97.5	0.79
Maíz F, 2do. C	31.7	0.67
Pradera 2do. C	23.7	0.54
Sorgo F, 2do. C	28.8	0.69
<i>Promedio</i>	<i>61.0</i>	<i>0.63</i>

Ejemplo de cálculo en campo de verificación de eficiencias.

Sitio 1.- Regadera a 10 m de la Toma derecha 0+ 200 del Sublateral Izquierdo 40+300.

Cultivo: Alfalfa, Superficie: 1.8 Has = 18,000 m<sup>2</sup>, Suelo: Textura media (franco arenoso)

Tiempo de riego 17 horas, Área Hidráulica (AH) = 1.5(b x h1) = (1.5(0.4 m x 0.48 m)) = 0.288 m<sup>2</sup>

Velocidad (v) = 0.28 m/seg, Gasto (Q) = v(AH) = 0.288 m<sup>2</sup> x 0.28 m/seg = 0.080 m<sup>3</sup> = 80 Lps.

Volumen aplicado = 17 (60\*60 \* 0.080) = 4,896 m<sup>3</sup>.

Lámina de aplicación (La) =  $4,896 \text{ m}^3 / 18,000 \text{ m}^2 = 0.272 \text{ m} = 27.2 \text{ cm}$

Lámina a reponer (Lr) de acuerdo a su textura y profundidad de raíces = 16.2 cm

Eficiencia de aplicación **EA** =  $Lr / La = 16.2 / 27.2 = 0.595 = 59.5\%$

El muestreo en campo de eficiencias de aplicación no corroboró las eficiencias altas en cultivos perennes. Son del orden del resto de los cultivos 60%. Este evento potencia la economía en el uso eficiente del agua.

Estimación de la Eficiencia Global (**Eg**) por el método edáfico para los cultivos del DR 009 Valle de Juárez, Chih. (IMTA, 2009).

CULTIVO	Lamina bruta reportada (cm)	Lámina de reposición (cm)	Eficiencia de Gobal
Avena F, O-I	111.2	28.06	0.25
Trigo O-I	118.1	39.38	0.33
Algodón P-V	95.2	36.55	0.38
Pradera P-V	71.7	17.72	0.25
Sorgo F, P-V	143.5	47.63	0.33
Alfalfa NN	168.3	99.69	0.59
Pradera NN	136.9	34.71	0.25
Frutales	173.4	94.71	0.55
Maíz F, 2do. C	50.5	23.26	0.46
Pradera 2do. C	37.9	11.08	0.29
Sorgo F, 2do. C	46.1	22.15	0.48
<b>Promedio</b>	<b>104.800</b>	<b>41.36</b>	<b>0.38</b>

## Propuesta de cultivos y reconversión

A. Los existentes o que alguna vez se cosecharon en el distrito

Cultivo	Ciclo
Avena Forrajera	Otoño-Invierno
Trigo	Otoño-Invierno
Pradera	Otoño-Invierno
Hortalizas	Otoño-Invierno
Cebada	Otoño-Invierno
Cártamo	Otoño-Invierno

Cultivo	Ciclo
Algodón	Primavera-Verano
Sorgo Forrajero	Primavera-Verano
Sorgo grano	Primavera-Verano
Pradera	Primavera-Verano
Maíz Forraje	Primavera-Verano
Maíz grano	Primavera-Verano
Hortalizas	Primavera-Verano

Algodón	Segundo Cultivo
Sorgo Forrajero	Segundo Cultivo
Sorgo grano	Segundo Cultivo
Pradera	Segundo Cultivo
Maíz Forrajero	Segundo Cultivo
Maíz grano	Segundo Cultivo

Alfalfa	Perennes
Frutales	Perennes
Pradera	Perennes

B). Nuevos cultivos: Considerando la salinidad y la contaminación de las aguas:

- A cielo abierto :

Acelga y espinaca	Primavera-Verano exclusivo agua de pozo
Camote	Primavera-Verano solo en aguas mezcladas y pozos
Cebolla	Primavera-Verano solo en aguas mezcladas y pozos
Centeno	Otoño-Invierno
Colza	Otoño-Invierno
Flores (margarita, cempoalsuchil, nube, mota de ovispo y crisantemo)	Primavera-Verano
Girasol	Primavera-Verano
Nopal p/verdura	Perennes
Papa	Primavera-Verano solo en aguas mezcladas y pozos
Sandía	Primavera-Verano solo en aguas mezcladas y pozos
Soya	Primavera-Verano
Triticale	Otoño-Invierno

- Para invernadero:

Pepino, Acelga, Espinaca, Tomatillo, Tomate rojo, Espárrago, Pimiento morrón y Flores.

## Experiencia del DR 003, Tula Hidalgo y manejo de cultivos en regadíos de agua residual

El Riego con aguas residuales tratadas opción ventajosa y sustentable. El aprovechamiento del agua reciclada en las áreas de riego, podría liberar volúmenes importantes, para ser utilizados en la dotación de agua potable a ciudades e industrias, así como para intensificar o ampliar las superficies de riego.

En México se riegan aproximadamente unas 350 mil hectáreas con aguas negras, lo cual trae riesgos como contagio de humanos y animales que manejan el agua o la toman; afectaciones del cultivo, especialmente los de consumo directo y en crudo; infiltraciones a los acuíferos y excedentes de riegos que llegan a ríos y otros cuerpos de agua.

La reutilización del agua residual depurada se basa, principalmente, en aprovecharla como agua de riego o de recarga, con el fin de incrementar los recursos hídricos de un sistema acuífero. Esta práctica podría contribuir a evitar los problemas que ocasiona el vertido de esta agua en cauces superficiales o en el mar, tales como: riesgos sanitarios, cambios en las características organolépticas, entre otros.

Este reuso permitiría que los recursos hídricos convencionales se destinen a cubrir aquellas demandas que exigen agua de mayor calidad.

Para el riego se requiere un nivel de calidad menos estricto, implica que la depuración que debe alcanzar durante el tratamiento no sea tan elevada. La aplicación del agua depurada en el terreno supone una fase más del tratamiento, ya que al infiltrarse el agua a través de la zona no saturada, se producen procesos físicos, químicos y biológicos que dan lugar a la disminución de su carga contaminante.

Es necesario que en el momento de diseñar un proyecto de riego con aguas residuales tratadas se tomen en cuenta aspectos técnicos, sanitarios y legales.

Aspectos técnicos. En relación con los sistemas de depuración previos a la reutilización, se establecen las principales características de un agua residual que deben considerarse al momento de definir su idoneidad para su reutilización en riego:

- 1.– Materia o sólidos en suspensión: su presencia en cantidades excesivas puede ocasionar la formación de depósitos de fangos, obstruir el sistema de riego por goteo o aspersión.
- 2.– Materia orgánica biodegradable: la materia biodegradable constituida, esencialmente, por proteínas, carbohidratos y grasas sufre una descomposición biológica que necesita gran cantidad de oxígeno, lo que puede dar lugar al agotamiento del oxígeno disuelto.

3.– Elementos nutritivos: altos contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio pueden provocar contaminación de aguas subterráneas y si se vierten en un medio acuático, condiciones de eutrofización.

4.– El pH afecta la alcalinidad de suelo y la solubilidad de los metales, aunque normalmente el pH en aguas residuales urbanas no alcanza valores indeseables.

5.– Metales pesados: la toxicidad de algunos radica en su capacidad de acumulación en el suelo, afectando a plantas y animales. Otros elementos en cantidades adecuadas son valiosos micronutrientes.

6.– Microorganismos patógenos: como organismos indicadores de la presencia de patógenos en el agua se suelen emplear los coliformes fecales y los coliformes totales. Su presencia podría ser causa de enfermedades de transmisión.

7.– Sustancias orgánicas estables o refractarias al proceso de tratamiento: son una serie de compuestos tales como fenoles, pesticidas e hidrocarburos clorados nocivos para el medio ambiente.

8.– Sustancias inorgánicas disueltas: la elevada salinidad en el agua de riego es nociva para plantas y suelo, concentraciones elevadas de sodio y boro son tóxicas para numerosos cultivos, y además el sodio deteriora la permeabilidad del suelo.

La mayoría de las aguas residuales brutas tienen altos valores de estos parámetros por lo que deben ser tratadas para disminuir su carga contaminante.

Algunos de los principales sistemas de tratamiento de aguas residuales son:

– Tratamiento previo (pretratamiento): su objetivo es eliminar aquellos elementos que por su naturaleza o gran tamaño pueden afectar el correcto funcionamiento de los tratamientos posteriores. Incluye desbaste, desarenado y desengrasado.

– Tratamiento primario: es la separación por medios físicos y fisicoquímicos de los sólidos en suspensión no retenidos en el pretratamiento. Se realiza por medio de decantadores primarios o uso de fosas sépticas.

– Tratamiento secundario convencional: incluyen un proceso biológico y una decantación secundaria, con lo que se logra eliminar la mayor parte de la materia orgánica biodegradable no retenida en el tratamiento primario. Implica provocar el desarrollo de microorganismos capaces de asimilar y oxidar la materia orgánica. Los sistemas más empleados son de tipo fisicoquímico (coagulación-floculación), con lodos o fangos activados y con lechos bacterianos.

– Tratamientos secundarios de bajo costo o no convencionales: hacen uso del poder autodepurador bacteriano de las aguas residuales, de la bio-asimilación vegetal de la materia orgánica o del papel depurador ejercido por el suelo y la zona no saturada. Los de mayor empleo

son: lagunaje (lagunas anaerobias, facultativas y aerobias), lechos de turba, bio-discos, filtros verdes e infiltración en el terreno.

– Tratamientos terciarios: después del tratamiento secundario, el efluente puede aún no tener la calidad adecuada para el uso al cual se destina, por lo que es necesario utilizar otros procesos de muy diversa naturaleza, entre los que destacan la filtración en medio granular, separación por membranas (microfiltración, ultrafiltración, ósmosis inversa); precipitación química y la adsorción con carbón activado.

– Desinfección: tiene el fin de obtener agua con una determinada calidad microbiológica, para lo cual se destruyen o desactivan los organismos patógenos por medio de sistemas como cloración o el uso de ozono.

#### Aspectos sanitarios

La reutilización de aguas residuales en riego implica cierto riesgo sanitario debido a los agentes biológicos que contienen. Los tratamientos de depuración reducen la concentración inicial de organismos patógenos, pero asegurar una eliminación eficaz e incluso la eliminación continua de éstos, es difícil. Por ello es necesario conocer en detalle la presencia, concentración y supervivencia en distintos medios –suelo, agua, cultivo– de los diferentes microorganismos.

Los principales agentes infecciosos son bacterias, virus y parásitos intestinales (protozoos y helmintos). La supervivencia de estos organismos en las aguas, suelos y cultivos es variable ya que depende de varios factores. Tiene relación directa con la temperatura y presencia de una flora competitiva.

En el caso de las bacterias, su periodo de vida en el agua es de 20 días, y para los virus es de dos meses, los protozoos viven difícilmente, los huevos de helminto tienen un rango de vida de hasta más de un año.

Las bacterias sobreviven en el suelo durante largos espacios de tiempo (meses) si las condiciones son adecuadas, por ejemplo, el género *Salmonella*, logra vivir más de un año si el suelo es frío, húmedo y rico en materia orgánica.

La mayoría de los virus sobreviven a los tratamientos que incluyen la cloración, por lo que cuando un agua residual es aplicada sobre suelo, los virus pueden vivir largos periodos –30 días para polivirus y entre 25 y 170 días para enterovirus–, en función de la temperatura, suelo, pH, humedad del suelo.

La información sobre la supervivencia de helmintos y protozoos en suelos es escasa. Los primeros pueden sobrevivir hasta siete años y aparecer en fangos y aguas tratadas. A los segundos se les atribuye su supervivencia y persistencia en aguas residuales y suelos, a su capacidad de formar quistes, estado metabólico inactivo que le permite al patógeno soportar condiciones ambientales extremas.

La presencia de patógenos en las partes húmedas o mayor protegidas de las plantas es frecuente, mientras que en las partes externas su aparición es mínima por efecto de la luz solar y la desecación.

La supervivencia en cultivos es menor que en agua y suelos, pero suficiente para que estos organismos estén presentes durante la cosecha y comercialización, de aquí los riesgos potenciales a trabajadores y consumidores.

#### Aspectos legales

En México, los criterios de la normatividad al momento de establecer la calidad del agua, están expuestos en la NOM 001-ECOL-1996, en referencia a las descargas de aguas residuales en suelos, ríos y embalses naturales y artificiales para su uso posterior en riego agrícola.

En esta normativa, la contaminación microbiológica se determina en función de los coliformes fecales y de los huevos de helminto. El límite máximo permisible para descargas en el suelo para uso agrícola es de un huevo de helminto por litro para riego restringido (no se pueden regar legumbres y verduras que se consuman crudas) y de cinco huevos por litro para riego no restringido (se puede regar cualquier cultivo). La contaminación no microbiológica se define con base en los metales pesados (Ar, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn), cianuros, grasas y aceites

#### Experiencia en México

México y China son los países que más utilizan las aguas residuales tratadas en el riego agrícola, ya que en zonas donde escasea el vital líquido se garantiza una fuente constante y segura aun en los años más secos. Se cuenta además con un aporte continuo de nutrientes y microelementos para las plantas cultivadas, lo que significa un ahorro en gastos de fertilización, pero sobre todo a ayudar reducir contaminantes vertidos sin control en cauces de ríos y lagos. El DR 003 Tula, Hidalgo es el más importante que reutiliza aguas residuales, ya que las fuentes de abastecimiento las constituyen principalmente las aguas residuales de la zona metropolitana del Valle de México.

El Valle de México, está fuertemente contaminado y su principal foco contaminante en el D.F. el cual vierte sus aguas negras y pluviales al Estado de Hidalgo, con un volumen aproximado de 1,515 Millones de m<sup>3</sup>. La cuenca del Río Tula presenta niveles altos de contaminación en sus inicios a través de los ríos El Salto y Tula, los cuales reciben las descargas de la zona metropolitana por conducto del Emisor Central, recuperándose un poco a lo largo de su recorrido. (CNA; 2000).





El Distrito de Riego 003-Tula tiene dos ciclos agrícolas Primavera-Verano y Otoño-Invierno, así mismo se atienden segundos cultivos y cultivos perennes.

En este distrito los cultivos perennes destacan por la superficie cosechada, pues se establece un orden de 25,926 ha sembradas, siendo el más importante de ellos la alfalfa con 25,331 ha, lo que la convierte en el cultivo más importante. Por otro lado, en Primavera-Verano se establecen, además, 17,319 ha, siendo los cultivos más importantes el maíz con 12,586 ha sembradas y el frijol con 2,199 ha. De esta manera el maíz es el segundo cultivo en orden de importancia. En el ciclo otoño-Invierno, la superficie cosechada aproxima las 4,351 ha, siendo los forrajes los cultivos más cosechados destacando la avena con 1330 ha y la cebada con 966 ha. Así los cultivos que más importante son alfalfa, maíz, forrajes y frijol.

Estos cultivos tienen un bajo valor comercial, sin embargo una de las razones por las que son cultivados es por la calidad del agua de riego que se utiliza, pues debe tenerse presente que la mayor cantidad del agua utilizada en el riego es agua de origen residual lo que limita en gran manera el padrón de cultivos que se puede manejar.

Cabe resaltar que en segundos cultivos una parte de la superficie es sembrada con hortalizas y otros cultivos como: Avena forrajera, Brócoli, Calabaza, Cebada forraje, Chile, Cilantro, Coliflor, Flor, Frijol, Haba, Huanzontle, Maíz, Nabo, pradera, Pepino, Tomate y Trigo

La industria relacionada con la comercialización de las hortalizas, la mayor parte de la Producción se vende en el mercado de abastos de la ciudad de México; para el caso del maíz en grano, se vende en diferentes estados de la Republica Mexicana y algunas veces en el extranjero. En el caso de la alfalfa, esta se vende en la Unión Lechera de Tizayuca, Hgo., y también se vende en el mercado local y para autoconsumo.

Recomendaciones para el Manejo seguro de las aguas residuales en el Valle de Juárez.

1. - Tratamiento de las aguas. Realizar el tratamiento primario o secundario de las aguas destinadas al riego agrícola, mediante plantas de tratamiento.
- 2.- Conocer el destino final de los productos agrícolas. Si son cultivos para forraje o materia prima para la industria no debe tener restricciones. Si son para consumo humano y en fresco, el agua residual no debe hacer contacto directo con el follaje o el fruto cosechado.
3. - Selección del método y momento del riego. Seleccionar el sistema de riego que no produzca obstrucción de goteros y micro-aspersores, la aspersión no se recomienda porque baña el producto final que será consumido. En caso, el más recomendado es la utilización de surcos altos y riego somero de tal forma que el agua pueda mojar el suelo y la parte radicular, excepto la parte aérea donde se encuentran los frutos y el follaje. El mejor filtro es el mismo tejido de las plantas. Las concentraciones de coliformes fecales y otros parásitos son detenidos por las paredes celulares de las plantas.

4. Restricción de cultivos. No todos los cultivos pueden ser regados con agua residual ya que puede podrir los frutos o bien transmitir enfermedades infecciosas como la fresa. Definir los cultivos en base a la normatividad y las condiciones locales de las aguas utilizadas. Los forrajes y cultivos industriales que no mermen la producción, pueden ser utilizados con mayor confianza.

5.- Proceso post-cosecha. Una vez cosechados los productos agrícolas, proceder a un lavado, encerado o desinfectado antes del empaque y de ser enviados al mercado.

6. Control de la calidad del agua y reducir el tiempo de exposición humana. Implementar un sistema constante y sistemático de muestreo de la calidad del agua que esta siendo utilizada para el riego y emitir las alertas y recomendaciones para su uso. Es necesario reducir el tiempo de contacto y exposición de los trabajadores para evitar contagio de algún problema sanitario. Se deberá utilizar equipo de protección adecuado para regadores como botas, guantes e impermeables.

## Conclusiones parciales

1.- De la estadística del DR 009 se observa una constante reducción de la superficie sembrada, no así en los volúmenes utilizados para riego. Existe superficie de baja productividad y problemas de salinidad.

2.- De acuerdo al análisis de información el promedio de los últimos 30 años, la superficie media establecida para primeros cultivos en los ciclos P-V y O-I es de 14,246 ha con una aplicación de 5 riegos en promedio y una lamina bruta de 122 cm y neta de 73 cm. Con una superficie siniestrada promedio de 70 ha. Los volúmenes brutos fueron de 172.15 M m<sup>3</sup> y los netos de 102.03 con una eficiencia global del 60%.

3.- Históricamente los cultivos más importantes han sido el algodón y sorgo forrajero en el ciclo P.V y avena forrajera en O-I, con alfalfa y nogal en los perennes.

4.- El algodón ha consumido el 45% del agua, el 25% la alfalfa y el restante 30% los otros,

5.- Los requerimientos de riego calculados para los cultivos son similares a los del DR 005 y otras zonas de riego, la mayor lámina (98.1 cm) correspondió a la alfalfa y la menor (23.5 cm) a la pradera sembrada en O-I.

6.- De los métodos utilizados para estimar la eficiencia de aplicación, el edáfico es mejor ya que considera la lámina de reposición, y para tener en cuenta el aspecto salino del agua debe estimarse la lámina de lavado. La lámina media de reposición por riego fue de 10.63 cm. La eficiencia reportada fue del 63% y la estimada del muestreo anda del mismo orden de magnitud. Las eficiencias de aplicación (orden de 60%) del muestreo en cultivos perennes son menores a las reportadas en el DR 009, 79%.

7.- La eficiencia reportada de conducción es de 60% y la global de 38%, en la red mayor la eficiencia reportada es de 83%, mientras que la del muestreo es de 87% y para la red menor de 73% y la del muestreo de 75%, que en términos prácticos son muy similares.

8.- La tecnificación permite regar con la misma agua 14,850 ha (2850 más a las actuales), evidentemente si se mejora el manejo de y se construye la infraestructura necesaria. El volumen de agua ahorrado es de un orden de  $36 \text{ M m}^3$  para P-V en las condiciones actuales y si se manejan cultivos de menor demanda se puede ir hasta las 16,000 ha.

9.- El intercambio de agua residual por agua de primer uso y tecnificación es recomendable mediante la adecuación de la infraestructura.

10.- Con la infraestructura a construir y los volúmenes determinados la superficie regable puede abarcar la superficie (empadronada) del DR 009 regando una superficie importante con cultivos de baja demanda.

En la sección siguiente se realiza un balance de disponibilidad de volumen en el valle de Juárez en su prospección 2030.

# Estudio de proyección de volúmenes para riego 2030

Esta sección inicia con la proposición de infraestructura para una primera estimación de volumen y termina con el análisis de la disponibilidad de agua en el valle de Juárez.

## Visión de infraestructura

- a) Introducir a la red de distribución el escurrimiento ciudadano del orden de 20-25 M m<sup>3</sup> obtenidos por estimación (DR 009).
- b) Controlar el escurrimiento de arroyos más importantes para garantizar un almacenamiento de 6.4 M m<sup>3</sup> y/o llevar a cabo la recarga de agua dulce al acuífero, luego recuperarlos por bombeo o directamente para uso de riego (al menos los dos tercios, 4.27 M m<sup>3</sup>).
- c) Almacenar el volumen de agua invernal que es del orden de 40-50 M m<sup>3</sup>.
- d) Aprovechar el volumen ahorrado 36 M m<sup>3</sup> para hacer rendir la mezcla de agua salobre. Este volumen ahorrado debe considerar la posibilidad de ser utilizado para garantizar la cosecha de los cultivos establecidos en primavera verano.
- e) Mejorar el manejo del volumen actual residual de P-V actualmente es de 73 M m<sup>3</sup>.
- f) Garantizar el funcionamiento de pozos oficiales (capacidad de extracción hasta 30 M m<sup>3</sup>) y propiciar el intercambio de agua salobre del acuífero somero con los pozos y usuarios particulares (capacidad hasta 40 M m<sup>3</sup>) para garantizar la mezcla de agua con el volumen de agua residual y manejar un mayor volumen para el ciclo primavera verano. Este último volumen es del orden de la extracción permitida al DR 009 y requiere de reparación de infraestructura de bombeo.

En particular, el volumen de los bordos artificiales debe garantizar la capacidad de absorber el volumen disponible de las diferentes fuentes de abastecimiento arriba citadas.

El cuadro siguiente resume la situación actual.

Fuente de Abastecimiento	Volumen (M m <sup>3</sup> ) actual
Tratado	74
Agua residual (P-V)	73
Agua residual O-I para P-V	Se tira
Pluvial de arroyos	Se tira
Volumen Ahorrado	0
Pluvial de ciudad	No se sabe
Volumen parcial	147 M m <sup>3</sup> (mínimo)
Bombeo CONAGUA	0 (tiende a)
Bombeo particular	No se sabe
Volumen TOTAL	147 M m <sup>3</sup> (mínimo)

Con al menos dicho volumen riegan en promedio 11100 ha en el DR 009.

## Proyección de volúmenes disponibles

A continuación se realiza la proyección de demanda, consumo de agua potable y oferta de agua residual

Primero se postulan 3 situaciones:

- 1) El avance de la mancha urbana presiona la existencia de la Unidad Agrícola 1. Esta debe desaparecer hacia el 2018-2020.
- 2) En el caso del Escenario de crecimiento de la población S, la presión sobre la Unidad Agrícola 2 va a ser mayor de ahí sigue sobre la Unidad 3. No obstante, el Municipio ordenará el crecimiento de Ciudad Juárez en el marco del escenario Z, es decir con permanencia de la actividad agrícola y el crecimiento ordenado de la Ciudad hacia el sur y occidente. Por lo tanto, es coherente hacer las proyecciones agrícolas más adelante citadas.
- 3) La calidad del agua residual es de riesgo ligero a moderado, bajo criterios de salinidad, para la agricultura, aunado a que la calidad del agua respecto a la demanda biológica de oxígeno a 5 días, presencia de coliformes fecales, sólidos totales disueltos, presencia excesiva de grasas y aceites, el agua de acuífero somero de alto riego o salobre utilizable solo si se mezcla, todo en resumen presenta problemas para la salud pública, etcétera, hacen orientar que el mejor uso del agua puede hacerse a través de reducir las pérdidas de conducción y aplicación mediante el uso de tubería multicompuerta y entubamiento de la conducción.

Se puede presentar la proyección de la demanda y consumo de agua potable y oferta de aguas residuales para la población de Ciudad Juárez Chihuahua del año 2010 al 2030.

Ciudad fronteriza de intercambio comercial y manufacturero se ubica en una zona semidesértica y es muy costoso proporcionar el servicio de agua potable a una población creciente. En el año 2003, contaba con una población de 1, 217, 818 habitantes y la zona habitacional se encontraba en una superficie de 225 km<sup>2</sup>. El consumo de agua per cápita de 305 litros diarios en promedio resultando un volumen de agua consumida anual de 154'362,733 m<sup>3</sup>. Para atender esa demanda se extrajeron 4.8 m<sup>3</sup>/s mediante el bombeo del acuífero del Bolsón del Hueco. Con la constante extracción de agua del subsuelo este acuífero cada día se abate considerablemente y aumenta la concentración salina.

En la actualidad la población y la mancha urbana se han incrementado pero la nueva cultura de la gente es reducir el consumo de agua de un acuífero sobre explotado por años y las autoridades (JMAS) han tomado medidas para ahorrar agua, reutilizar agua negras mediante el tratamiento y complementar la demanda con líquido de otro acuífero.

Actualmente, el número de habitantes es de 1'340,000, El consumo diario promedio es de 280 Lt./día y el anual de 137'000,000 de m<sup>3</sup>, con un gasto de 4.35 m<sup>3</sup>/s. Si se considera que la red opera con una eficiencia total del 80%, el gasto para suministro de la red es de 5.22 m<sup>3</sup>/s.

Hace un poco más de medio año se puso en marcha el acueducto Conejos-Médanos y se anexo a la red 1 metro cúbico por segundo de agua a la red municipal ya existente.

Para realizar la presente proyección del uso de agua potable en Ciudad Juárez en los próximos 20 años, se presentaron tres escenarios donde se considera el incremento de la población.

Cuadro 1. Proyección de la población esperada para Ciudad Juárez Chihuahua en número de habitantes para los próximos 20 años.

AÑO	Escenario Z	Escenario S	CONAPO
2015	1,403,520.00	1,420,290.00	1,526,086.00
2025	1,640,880.00	1,660,230.00	1,712,759.00
2030	1,862,720.00	1,900,170.00	1,787,710.00

Primero, se considera que el consumo de agua potable promedio diario por habitante es de 300 litros durante el año. En el periodo de Primavera-Verano se considera un consumo de 60% equivalente a 360 litros y del 40% en Otoño-Invierno equivalente a 240 litros. La distribución de los volúmenes y gastos para cada año y período se muestran en los siguientes cuadros.

Cuadro 2. Proyección de los volúmenes, caudales demandados estacionales y totales para los próximos 20 años considerando el Escenario Z. (IMTA, 2010)

AÑO	Consumo O-I Millones de m <sup>3</sup>	Gasto O-I m <sup>3</sup> /s	Consumo P-V Millones de m <sup>3</sup>	Gasto P-V m <sup>3</sup> /s	Consumo Anual Mill. de m <sup>3</sup>
2015	61.31	4.68	92.46	7.02	153.77
2025	71.67	5.47	108.10	8.20	179.77
2030	81.40	6.21	122.68	9.31	204.08

Cuadro 3. Proyección de los volúmenes, caudales demandados estacionales y totales para los próximos 20 años considerando el Escenario S. (IMTA, 2010).

AÑO	Consumo O-I Millones de m <sup>3</sup>	Gasto O-I m <sup>3</sup> /s	Consumo P-V Millones de m <sup>3</sup>	Gasto P-V m <sup>3</sup> /s.	Consumo Anual Mill. de m <sup>3</sup>
2015	62.03	4.73	93.58	7.10	155.61

2025	72.51	5.53	109.38	8.30	181.89
2030	83.00	6.33	125.18	9.50	208.18

Cuadro 4. Proyección de los volúmenes, caudales demandados estacionales y totales para los próximos 20 años considerando el Escenario CONAPO. (IMTA, 2010).

AÑO	Consumo O-I Millones de m <sup>3</sup>	Gasto O-I m <sup>3</sup> /s	Consumo P-V Millones de m <sup>3</sup>	Gasto P-V m <sup>3</sup> /s	Consumo Anual Mill. de m <sup>3</sup>
2015	66.66	5.09	100.54	7.63	167.20
2025	74.81	5.71	112.84	8.56	187.65
2030	78.09	5.96	117.77	8.94	195.86

Escenario actual:

Cuadro 5. Con una población de 1'340,000 habitantes, con un consumo de 310 litros por día por habitante se calculan los volúmenes demandados y el agua residual disponible.

AÑO	Volumen Demandado (Mill. de m <sup>3</sup> )	Gasto Promedio m <sup>3</sup> /s	Volumen agua residual disponible (Mill. de m <sup>3</sup> )	Gasto Agua residual Promedio m <sup>3</sup> /s	Gasto Agua residual O-I m <sup>3</sup> /s	Gasto Agua residual P-V m <sup>3</sup> /s
2010	152.00	4.8	122.61	3.84	3.07	4.60

Lo que equivale en términos de volumen aproximadamente en P-V a 74 y 49 Millones de m<sup>3</sup> para O-I. Los datos de caudal de agua residual invernal fueron corroborados a través de mediciones resultando ser superiores a 3.5 m<sup>3</sup>/s, (2 m<sup>3</sup>/s en Planta Norte, 1.5 en Planta Sur, 200 lps de una descarga en Loma Blanca y a partir de ahí existen pequeñas descargas domiciliarias al canal). Estos mismos valores resultan coherentes para el agua residual en primavera-verano.

A partir de los datos de extracción y de efluente residual se puede considerar que del total del agua utilizada por el usuario un 81% es recolectada y retorna a la red de drenaje y se puede estimar la disponibilidad de los volúmenes y gastos de las aguas de uso urbano para los mismos años proyectados para cada uno de los escenarios.

La tendencia es reducir el consumo y las proyecciones se realizan considerando 300 litros por persona por día y las proyecciones de la población para los diferentes escenarios.

Cuadro 6. Proyección de los volúmenes y gastos disponibles de agua residual para los próximos 20 años, de acuerdo con el Escenario Z.

AÑO	Volumen Demandado (Mill. de m <sup>3</sup> )	Gasto Promedio m <sup>3</sup> /s	Volumen agua residual disponible (Mill. de m <sup>3</sup> )	Gasto Agua residual Promedio m <sup>3</sup> /s.	Gasto Agua residual O-I m <sup>3</sup> /s	Gasto Agua residual P-V m <sup>3</sup> /s
2015	153.77	5.85	99.95	4.74	3.79	5.68
2025	179.77	6.84	116.85	5.54	4.43	6.65
2030	204.08	7.76	132.65	6.29	5.03	7.54

Cuadro 7. Volúmenes disponibles por estación de aguas residuales para el escenario Z.

AÑO	Volumen de agua residual disponible período O-I (Millones de m <sup>3</sup> )	Volumen de agua residual disponible período P-V (Millones de m <sup>3</sup> )
2015	39.98	59.97
2025	46.74	70.11
2030	53.06	79.59

Cuadro 8. Proyección de los volúmenes y gastos disponibles de agua residual para los próximos 20 años, de acuerdo con el Escenario S.

AÑO	Volumen Demandado (Mill. de m <sup>3</sup> )	Gasto Promedio m <sup>3</sup> /s	Volumen agua residual disponible (Mill. de m <sup>3</sup> )	Gasto Agua residual Promedio m <sup>3</sup> /s	Gasto Agua residual O-I m <sup>3</sup> /s	Gasto Agua residual P-V m <sup>3</sup> /s
2015	155.61	5.92	101.14	4.79	3.83	5.75
2025	181.89	6.92	118.23	5.60	4.48	6.72



2030	208.18	7.92	135.32	6.41	5.13	7.70
------	--------	------	--------	------	------	------

Cuadro 9. Volúmenes disponibles por estación de aguas residuales para el escenario S.

AÑO	Volumen de agua residual disponible período O-I (Millones de m <sup>3</sup> )	Volumen de agua residual disponible período P-V (Millones de m <sup>3</sup> )
2015	40.46	60.69
2025	47.29	70.94
2030	54.13	81.19

Cuadro 10. Proyección de los volúmenes y gastos disponibles de agua residual para los próximos 20 años, de acuerdo con el Escenario de la CONAPO.

AÑO	Volumen Demandado (Mill. de m <sup>3</sup> )	Gasto Promedio m <sup>3</sup> /s	Volumen agua residual disponible (Mill. de m <sup>3</sup> )	Gasto Agua residual Promedio m <sup>3</sup> /s	Gasto Agua residual O-I m <sup>3</sup> /s	Gasto Agua residual P-V m <sup>3</sup> /s
2015	167.20	6.36	108.68	5.15	4.12	6.18
2025	187.65	7.14	121.97	5.78	4.62	6.94
2030	195.86	7.45	127.31	6.03	4.83	7.24

Cuadro 11. Volúmenes disponibles por estación de aguas residuales para el escenario de la CONAPO.

AÑO	Volumen de agua residual disponible período O-I (Millones de m <sup>3</sup> )	Volumen de agua residual disponible período P-V (Millones de m <sup>3</sup> )
2015	43.47	65.21
2025	48.79	73.18
2030	50.92	76.39

Como se observa cada día se dispondrá de mayor volumen de agua residual si la tendencia en el consumo por persona se mantiene. Puede ser que se llegue a aumentar las eficiencias hasta un 90% y con ello se reducirá el caudal depositado en la red de alcantarillado.

En cuanto a las proyecciones todas se parecen entre si y se conserva la misma tendencia del incremento de la población; aunque se debe observar, que la ola de violencia e inseguridad ha influenciado el crecimiento de población e inclusive se habla de desalojo de la zona urbana.

A pesar de estas circunstancias se puede hacer la siguiente proyección, esencialmente la del escenario sin restricciones, que como se mencionó en términos de volumen es muy similar a los otros escenarios.

Fuente de Abastecimiento	Volumen (M m <sup>3</sup> ) 2015	Volumen (M m <sup>3</sup> ) 2020	Volumen (M m <sup>3</sup> ) 2030
Tratado	0	0	0
Agua residual (P-V)	73	73	81
Agua residual O-I para P-V	40	47	54
Pluvial de arroyos	0	4.7	4.7
Volumen Ahorrado	36	36	36
Pluvial de ciudad	20-25	20-25	20-25
Volumen parcial	169 M m <sup>3</sup> (mínimo)	181 M m <sup>3</sup> (mínimo)	196 M m <sup>3</sup> (mínimo)
Bombeo CONAGUA	30	30	30
Bombeo particular	40	40	40
Volumen TOTAL	239 M m <sup>3</sup> (mínimo)	251 M m <sup>3</sup> (mínimo)	266 M m <sup>3</sup> (mínimo)

El caudal requerido de mezcla se define en base al volumen disponible parcial ya que dicha agua es de la mejor calidad físico-química. Atendiendo a la proporción deducida en el estudio de calidad del agua, de 30 a 38%, se tiene como valor medio 34% para multiplicar por el volumen parcial y obtener para cada caso.

Fuente de Abastecimiento	Volumen (M m <sup>3</sup> ) 2015	Volumen (M m <sup>3</sup> ) 2020	Volumen (M m <sup>3</sup> ) 2030
Volumen parcial	169 M m <sup>3</sup> (mínimo)	181 M m <sup>3</sup> (mínimo)	196 M m <sup>3</sup> (mínimo)
Volumen requerido de Mezcla	57.5 M m <sup>3</sup> (mínimo)	61.5 M m <sup>3</sup> (mínimo)	66.6 M m <sup>3</sup> (mínimo)
Volumen total para riego	226.5 M m <sup>3</sup> (mínimo)	242.5 M m <sup>3</sup> (mínimo)	262.6 M m <sup>3</sup> (mínimo)

Por lo que el volumen requerido de mezcla es un límite de extracción media para mejorar la calidad del agua para riego. Un volumen mayor de extracción del acuífero somero simplemente indica que el cultivo y el suelo son depositarios de mayor impacto nocivo de la mala calidad del agua. Es entonces conveniente diferenciar el volumen de agua que puede provenir de pozos con agua aún de buena calidad para poder rebasar este volumen de extracción.

En una primera etapa de tecnificación, el volumen del almacenamiento debe preverse para el volumen de agua residual invernal y agua pluvial citadina, más el volumen de 19 M m<sup>3</sup> orden de magnitud correspondiente a la componente operativa en época de lluvia al realizar al menos un

riego con la precipitación (263 mm) propuesto de 17 cm de lámina, dando del orden de 93 M m<sup>3</sup> que con su volumen requerido de mezcla debe ser de 124 M m<sup>3</sup>. Como se verá más adelante se propusieron bordos de almacenamiento para un volumen cercano a los 110 M m<sup>3</sup>.

Retomando la lectura del cuadro anterior se tiene que en cualquier caso, el volumen disponible para riego es mayor que el reportado por el DR 009 en términos de actividad agrícola media en los últimos 30 años, del orden de 175 M m<sup>3</sup>. Como se ve existe suficiente margen de valor para observar que la actual propuesta de tecnificación integral del DR 009 e intercambio de agua de primer uso por tecnificación y agua de segundo uso es una excelente propuesta. Inclusive un buen manejo lleva a regar mayor superficie de las 11,100 ha regadas comúnmente.

## Conclusiones parciales

En la actualidad el volumen invernal es del orden de 49 Millones de m<sup>3</sup>. El DR 009 reporta datos del orden de 30 M m<sup>3</sup>. De acuerdo con la proyección al 2030, el volumen máximo de almacenamiento invernal es de 54.13 Millones de m<sup>3</sup>. Este volumen mezclado equivale a 72.5 M m<sup>3</sup>, o sea, del orden del agua del tratado de 1904.

El volumen mínimo de tecnificación es mayor que el actual mínimo utilizado para riego. Es evidente que el proceso de tecnificación resuelve el problema de presión hídrica en el Valle de Juárez.

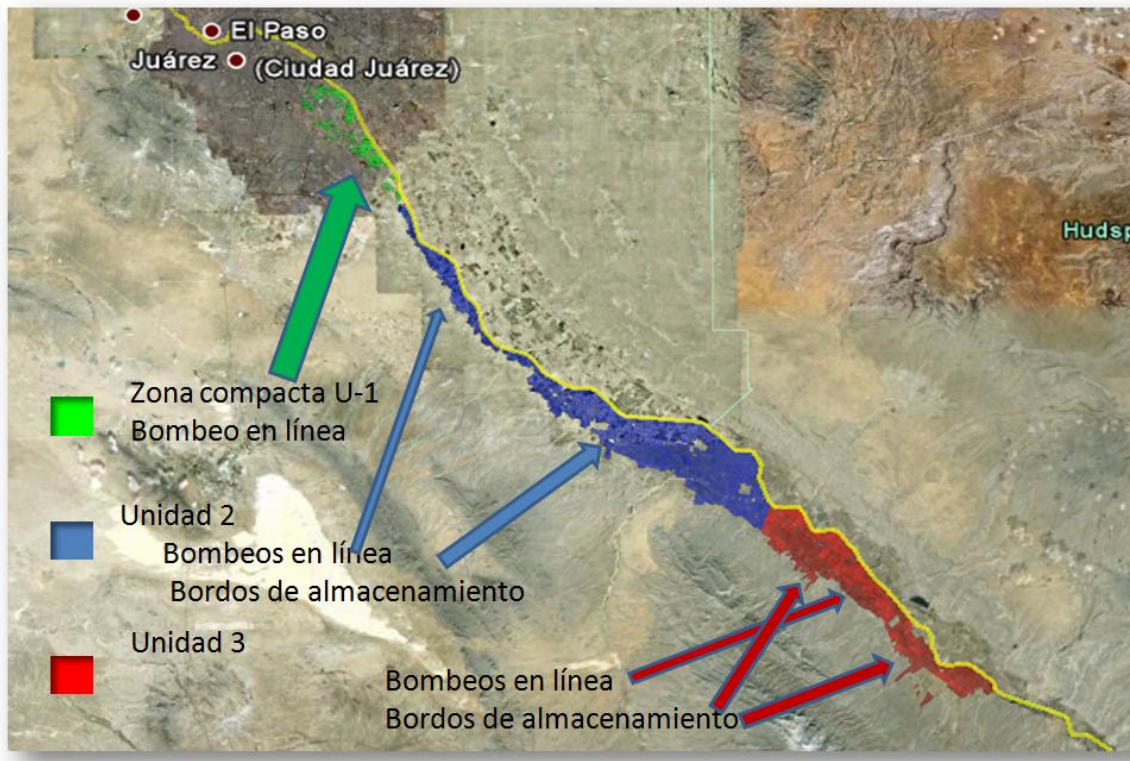
Se propuso una capacidad volumen de almacenamiento de los bordos del orden de 124 M m<sup>3</sup>.

# Estudio de tecnificación parcelaria, redes de distribución y bordos de almacenamiento

Debido a la calidad físico-química del agua disponible se optó por el riego a baja presión.

Para identificar fácilmente el establecimiento de las acciones de tecnificación se presentan las gráficas siguientes. El bombeo en línea significa que se bombea directamente del canal a las parcelas de riego, mientras que la otra opción es bombear el flujo de agua del canal a un bordo de almacenamiento.

- **Tecnificación integral DR 009**

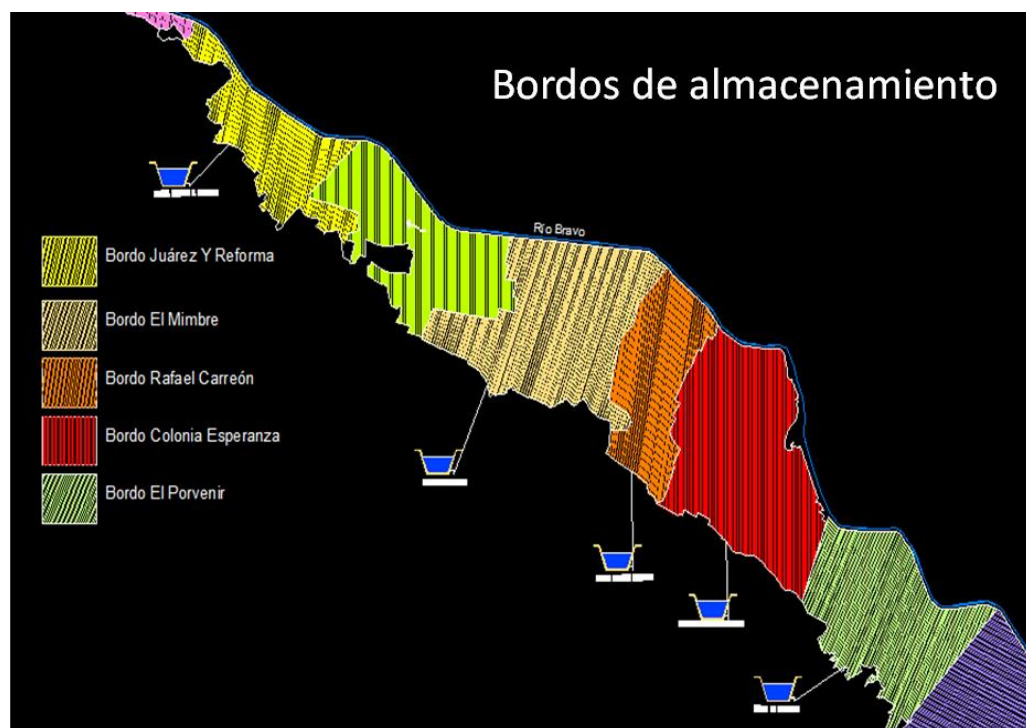
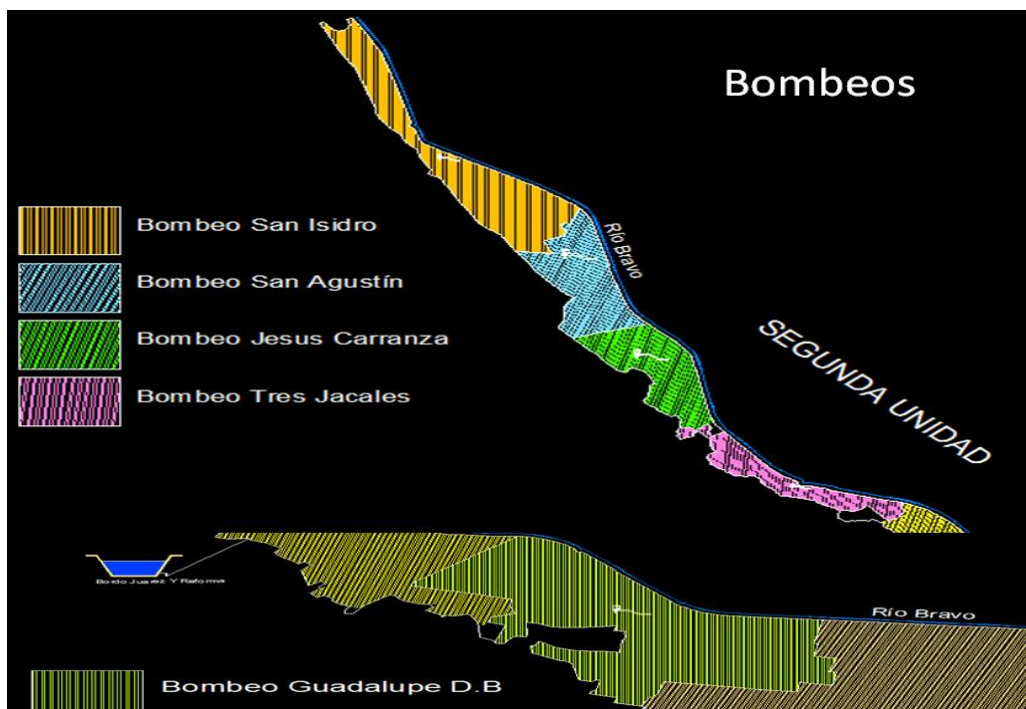


La unidad 1 muestra un área esparcida donde razonablemente resulta muy cara la inversión en tecnificación, no obstante se presenta una zona compacta donde se propone introducir un bombeo en línea para regar dicha superficie, del orden de unas 350 hectáreas. Sin embargo, es conveniente nivelar toda la zona agrícola en uso de la unidad 1 para mejorar la aplicación del agua en la parcela.

A lo largo del sector más delgado de la zona de riego de la Unidad 2 se establecerán bombeos en línea para regar convenientemente dicha zona donde el caudal no rebasa el efluente de agua residual. Al hacerse más amplia la zona de riego, es conveniente introducir el almacén de agua y formular planes de riego. La Unidad 3 manifiesta el mismo razonamiento, en su caso puede existir

algún complemento con bombeo en línea debido a la capacidad de agua en los bordos de almacenamiento y facilitar la operación en la demanda máxima.

Las ilustraciones siguientes muestran las zonas de influencia de riego de cada uno de los bombeos directos y los bordos de almacenamiento.



El volumen residual verano-invernal, urbano-microcuencas pluvial, volumen ahorrado y de pozos-mezcla-residual debe ser almacenado en los bordos de almacenamiento, debe ser cuidadosa y disciplinadamente almacenado, bajo un solemne criterio, por un lado aprovechando la mezcla de agua salobre del acuífero somero y el agua residual para limitar la “brea” y su impacto en cultivos establecidos y por el otro lado un manejo adecuado de volumen disponible en periodo de lluvias para aprovechar la mezcla con agua pluvial y mejorar la calidad del agua de los bordos.

El impacto del almacenamiento será tal que la operación y los planes de riego obedecerán a la reserva garantizada (al mes de febrero) de agua en los mismos, junto con el caudal continuo del efluente residual.

El criterio de diseño de la distribución fue en alta eficiencia de conducción (flujo en tuberías) y de aplicación del agua parcelaria en continuidad de las tuberías multicompuertas móviles en las longitudes de surco o melgas grandes respetando el diseño óptimo del riego por gravedad.

Un enfoque restrictivo de diseño es requerido para garantizar la entrega de agua en los años críticos favoreciendo el tandeo riguroso en la distribución para incrementar la eficiencia global.

La distribución de volumen en línea del canal se hará con bombeos directos del mismo garantizados a partir del efluente diario residual, mientras que en excedencias de agua disponible para riego se bombeará del canal o red de distribución a los bordos según requerimiento.

Los bombeos se diseñaron para garantizar en conjunto un bombeo superior a la capacidad de conducción máxima del canal, dicha flexibilidad permite almacenar a selección el agua en los bordos. Las estaciones de bombeo requieren de un cárcamo de almacenamiento relativamente grande según las necesidades de caudal a bombear para evitar flujos rotacionales y obtener un bombeo eficiente.

Los bordos se localizaron en depresiones naturales y de acuerdo con la disponibilidad de terreno más cercanos a las áreas respectivas de riego. El agua de los bordos posteriormente fluirá con energía potencial al estar estos dispuestos en cotas superiores a las parcelas de cultivo. Por la misma razón y al considerar que las zonas de recarga de agua dulce son en las laderas de los inicios de las sierras, cotas superiores a la línea del canal principal, se consideró impermeabilizar el vaso para evitar contaminar el agua de recarga.

Se ejecutaron 11 proyectos de bombeo en línea y 5 grandes proyectos de almacenamiento, con una capacidad superior a los 100 Millones de m<sup>3</sup> y se desarrolló en proyectos ejecutivos la tecnificación de 11,147 hectáreas localizadas en la segunda y tercera Unidades en riego a baja presión, y unas 356 ha compactas en la Unidad 1.

## **Criterios generales de diseño**

Como se mencionó, los proyectos se presentan en carpetas, con planos general, constructivo, unifilar y términos de referencia. Antes de explicar algunos de ellos, es necesario ampliar sobre los criterios de diseño.

- 1.- Cumplimiento del trazo y diseño óptimo del riego por gravedad, además de respetar el trazo de riego existente.
- 2.- Conservar la red de distribución en su estado actual evitando cruzarla en múltiples puntos, ya que esta servirá como almacén temporal en época de lluvia.
- 3.- Conservar las redes de comunicación (vehicular) en su estado actual y cruzarla lo menos posible.
- 3.- Para economizar sobre el costo de tubería y manejo de tamaños especiales, duplicar tubería de menor diámetro.
- 4.- Para flexibilizar la operación y mantenimiento de las estaciones de bombeo, agregar un bomba más, en particular las estaciones a bombeo agregar holgura a la carga potencial total para flexibilizar la entrega.
- 5.- Permitir la operación integrada de las estaciones de bombeo mediante PLCs.
- 6.- Permitir la interconexión de pozos y el mezclado de agua en línea.
- 7.- Los techos de invernadero son zonas captadoras de agua dulce

## **Proyectos de bombeos en línea para riego parcelario y almacén de bordos**

Los bombeos en línea son esencialmente plantas de bombeo que está integradas por los equipos y obra civil necesarios para proporcionar la energía potencial y el gasto requerido por el sistema; tales como: el cárcamo de bombeo, las casetas, el equipo electromecánico y la subestación eléctrica.

*Cárcamo de bombeo:* es la obra civil encargada de tomar el agua de la obra de toma; está integrado por: la obra de toma, el conducto de llamada, la sección de prefiltrado y por el foso de bombeo. El conducto de llamada se encarga de conducir el agua desde la obra de toma hasta la sección de prefiltrado. El foso de bombeo es el depósito del cual tomarán el agua las bombas; y mantendrá prácticamente el mismo nivel de agua, que el nivel del canal.

Antes de que el agua llegue al foso de bombeo, transitará por la sección de prefiltrado y sedimentación, que es un canal con gran longitud (59 m, varía según la estación), con un escalón al final del canal para detener los sólidos en el fondo y las arenas más gruesas que pueda arrastrar el agua. De esta forma se mantendrá la integridad de los equipos de bombeo. Para mayor referencia consultar el plano de la “Planta de bombeo”.

Para el diseño hidráulico del foso de bombeo, se determinaron los parámetros hidráulicos en función del diámetro de la campana de succión. En general, el diámetro de la campana varía de 1.2 a 1.5 veces el diámetro de la tubería de succión, según recomendaciones de la Asociación Británica de Investigación Hidromecánica (BHRA), son: profundidad (H), ancho (S), distancia del piso a la campana de succión (C), longitud (L) y distancia de la pared trasera al labio de la campana (X). Además, se utilizaron los parámetros del fabricante como la submergencia del primer impulsor y la carga neta de succión positiva requerida, cálculo asociado a la carga de los bordos. En general, los bordos se dejan con holgura en la carga máxima disponible para flexibilizar la entrega de agua para riego, sin rebasar los límites de fluencia de la tubería.

Se realiza lo necesario para que el agua en el foso, circule con una velocidad menor de 0.33 m/s y en la entrada del mismo menor a 1.2 m/s; velocidad suficiente para evitar la pre-rotación del flujo y la formación de vórtices en la superficie del agua.

*Casetas:* la planta de bombeo incluye dos casetas para protección y seguridad. La primera, es una caseta abierta, de 10.0 por 28.6 m, para protección del tren de descarga de los equipos de bombeo. La segunda, son dos casetas cerradas de 3.5 x 5.0 m para protección del centro de control de motores y para alojar al operador de la planta de bombeo.

La mayor referencia es el respectivo plano de la cada "Planta de bombeo".

*Equipo electromecánico:* está integrado por trece bombas tipo horizontal, colocadas en paralelo; la capacidad de cada bomba será de 250 lps o según el caso; las bombas proporcionarán una carga dinámica total de 62 m.

Cada bomba dispondrá de un motor eléctrico de 300 HP. En cuadros se muestran las variables de entrada para el diseño de la planta de bombeo, las características electromecánicas del conjunto bomba-motor eléctrico. Para mayor referencia consultar el plano de la "Planta de bombeo".

Los dispositivos de control del equipo electromecánico se localizan en el tren de descarga de cada bomba: las válvulas de retención, las válvulas de mariposa, las válvulas de alivio de presión, las válvulas combinadas para admisión, expulsión y eliminación de aire, los medidores de presión (manómetros) y los medidores de gasto con totalizador volumétrico. Para mayor referencia consultar el plano de la "Planta de bombeo".

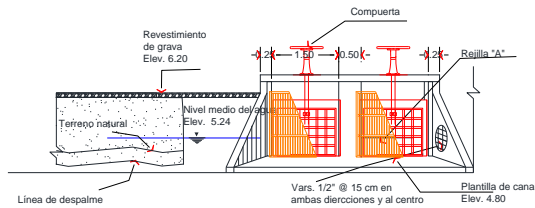
*Subestación eléctrica:* La subestación eléctrica está integrada por los dispositivos necesarios para proporcionar la energía eléctrica requerida por los equipos de la planta de bombeo: la acometida eléctrica, la red de fuerza, el sistema de medición, la red de servicios propios y la red de tierras. La red de fuerza se ha dividido en dos redes con la



misma capacidad de carga para satisfacer a los motores eléctricos; por lo tanto un transformador por motor. Además se ha considerado la instalación de variadores de frecuencia, en lugar de arrancadores tradicionales; gracias a los cuales se podrá regular la presión de operación de las bombas y en consecuencia reducir el consumo de energía eléctrica. Este proceso fue realizado para cada estación de bombeo. A continuación se presenta un ejemplo.

## 1 PLANTA DE BOMBEO

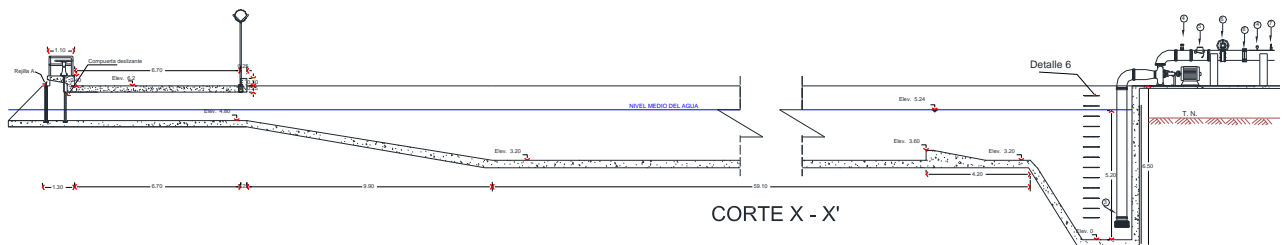
La planta de bombeo está integrado por los equipos y obra civil necesarios para proporcionar la energía potencial y el gasto requerido por el sistema; tales como: el cárcamo de bombeo, las casetas, el equipo electromecánico y la subestación eléctrica.



### CORTE Y - Y'

#### *Entrada de agua del canal al cárcamo de bombeo*

Antes de que el agua llegue al foso de bombeo, transitará por la sección de prefiltrado y sedimentación, que es un canal con gran longitud, con un escalón al final del canal para detener los sólidos en el fondo y las arenas más gruesas que pueda arrastrar el agua. De esta forma se mantendrá la integridad de los equipos de bombeo. Para mayor referencia consultar el plano de la "Planta de bombeo (I San Isidro)".



### CORTE X - X'

Para el diseño hidráulico del foso de bombeo, se determinaron los parámetros hidráulicos en función del diámetro de la campana de succión ( $\Phi_c$ ). En general, el diámetro de la

campana varía de 1.2 a 1.5 veces el diámetro de la tubería de succión, según recomendaciones de la Asociación Británica de Investigación Hidromecánica (BHRA).

Cuadro 1.1 Parámetros para diseño del cárcamo, según BHRA

$S/\Phi_c$	$C/\Phi_c$	$L/\Phi_c$	$X/\Phi_c$	$H/\Phi_c$	$V_c$ (m/s)	$V_e$ (m/s)
2 - 3	0.4- 0.75	> 4	> 0.25	> 2.0	< 0.33	< 1.2

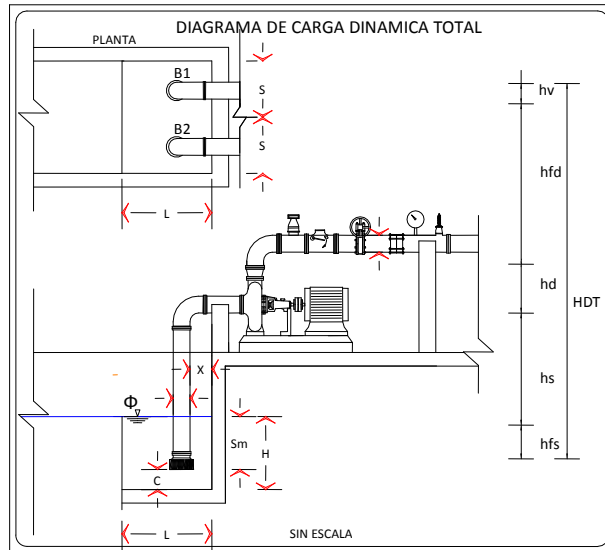
Z

Cuadro 1.2 Parámetros Calculados con el diámetro de la campana de succión

Diám. (in)	Diám. (m)	$\Phi_{campana}$ (m)	S (m)	C (m)	L (m)	X (m)	H (m)
14.00	0.36	0.53	1.60	0.40	2.13	0.13	2.13

Cuadro 1.3 Parámetros para diseño del cárcamo

BOMBA	S (m)	C (m)	L (m)	X (m)	H (m)
B1	2.00	0.50	2.00	0.20	5.20
B2	2.00	0.50	2.00	0.20	5.20
B3	2.00	0.50	2.00	0.20	5.20
B4	2.00	0.50	2.00	0.20	5.20
B5	2.00	0.50	2.00	0.20	5.20
B6	2.00	0.50	2.00	0.20	5.20

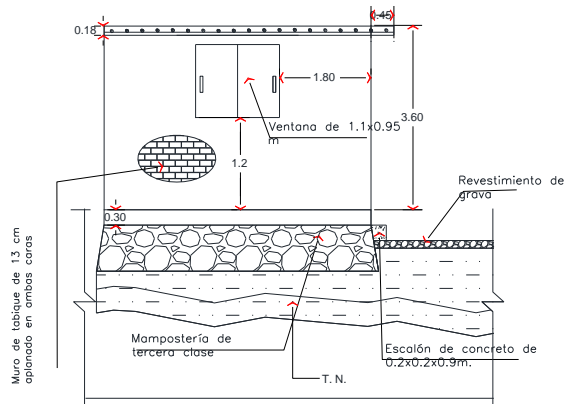


Donde:  $HDT =$

$$HDT = hs + hfs + hd + hfd + hv \text{ (Carga dinámica total, m)}$$

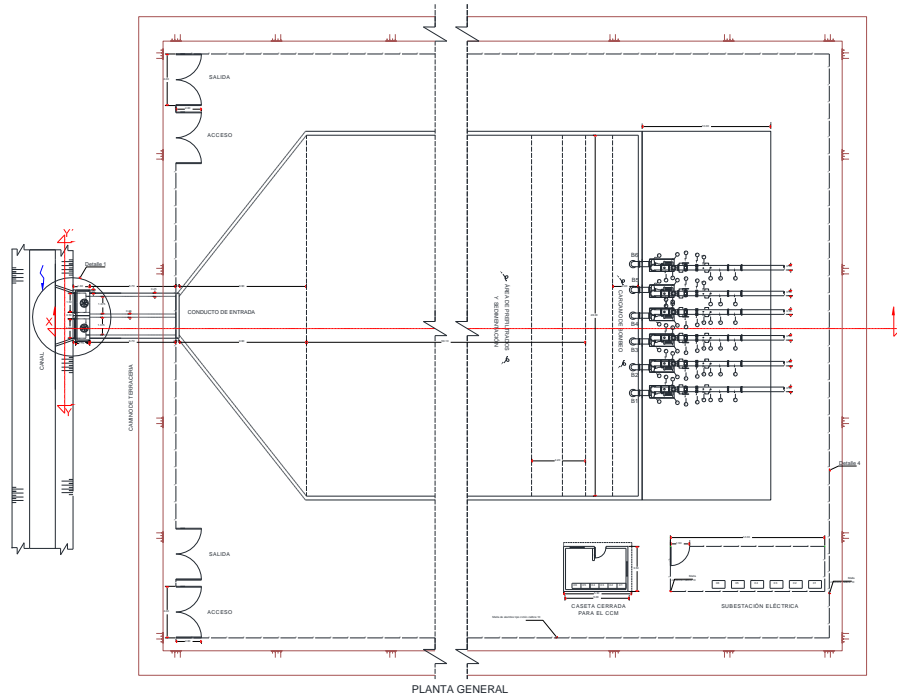
hs= carga estática en succión, m, hfs= pérdida de carga en succión, m, hd= carga estática en descarga, m, hfd= pérdida de carga en descarga, m, hv= carga de velocidad, m

Casetas sirven de protección del centro de control de motores y para alojar al operador de la planta de bombeo.

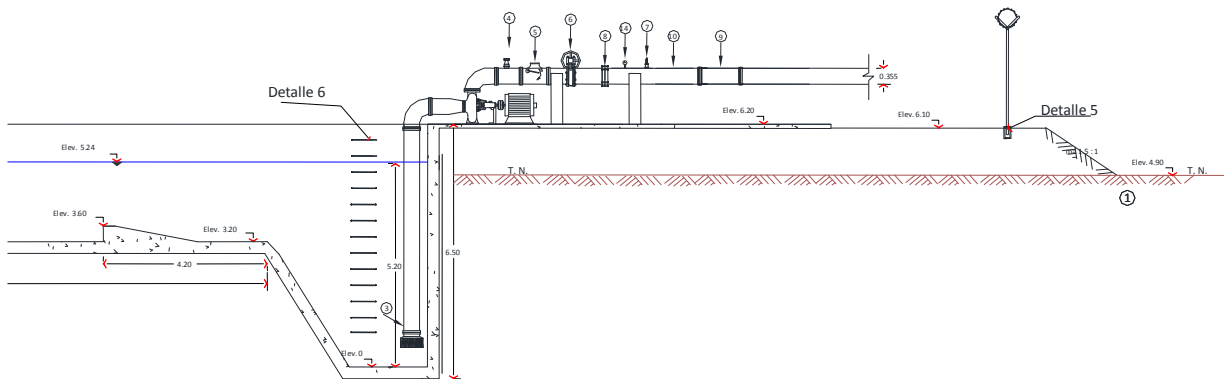


VISTA LATERAL. CASETA CERRADA

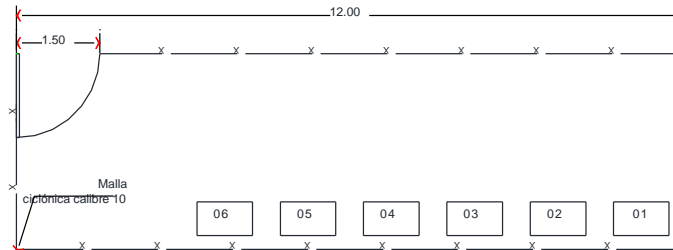
El Equipo electromecánico: está integrado por las bombas de tipo horizontal, colocadas en paralelo; identificada la capacidad de cada bomba; las bombas proporcionarán una carga dinámica total de diseño y disponen de un motor eléctrico de 60 HP



Los dispositivos de control del equipo electromecánico se localizan en el tren de descarga de cada bomba: las válvulas de retención, las válvulas de mariposa, las válvulas de alivio de presión, las válvulas combinadas para admisión, expulsión y eliminación de aire, los medidores de presión (manómetros) y los medidores de gasto con totalizador volumétrico.



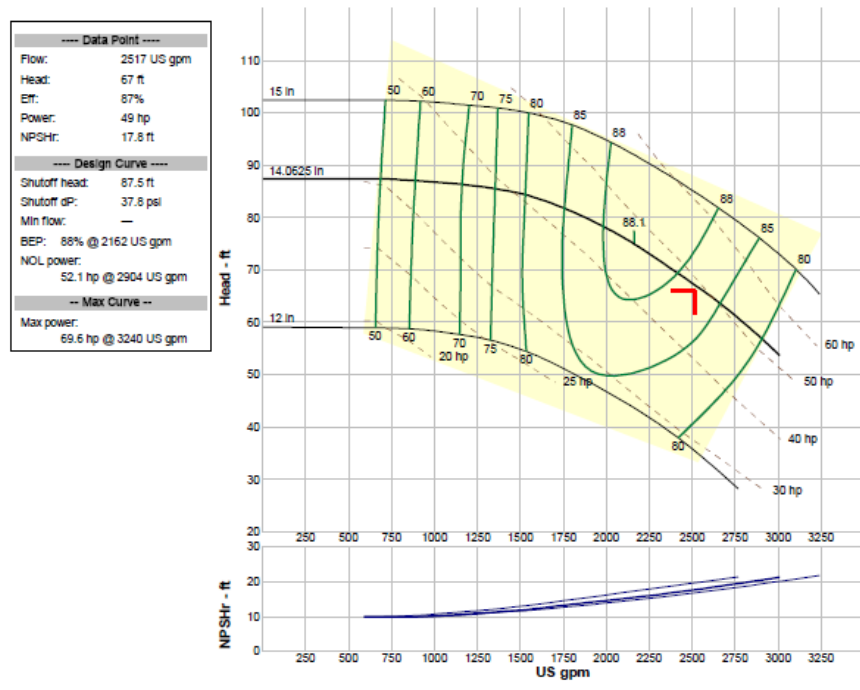
La Subestación eléctrica está integrada por los dispositivos necesarios para proporcionar la energía eléctrica requerida por los equipos de la planta de bombeo.



### SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Para la selección de la bomba requerida fue necesario recurrir a las curvas de diseño. Curva seleccionada con eficiencia del 87%

<b>Pump:</b>		<b>Search Criteria:</b>	
Size: 8x10x15		Flow: 2517 US gpm	Head: 66 ft
Type: 360 1 STG ENDSUC	Speed: 1175 rpm	<b>Fluid:</b>	
Synch speed: 1200 rpm	Dia: 14.0625 in	Water	Temperature: 60 °F
Curve: PC-142951	Impeller:	Density: 62.25 lb/ft³	Vapor pressure: 0.2563 psi a
Specific Speeds:	Ns: 1962	Viscosity: 1.105 cP	Atm pressure: 14.7 psi a
	Nss: 7172	NPSHa: —	
Dimensions:	Suction: 10 in	<b>Motor:</b>	
	Discharge: 8 in	Standard: NEMA	Size: 60 hp
<b>Pump Limits:</b>		Enclosure: ODP	Speed: 1200
Temperature: 300 °F	Power: —	Sizing criteria: Max Power on Design Curve	Frame: 404T
Pressure: 175 psi g	Eye area: —		
Sphere size: 1.531 in			



Cuadro de Variables de entrada para diseño de la “Planta de bombeo”.

Equipo No.	Q (lps)	NPSH r m	Smg d (m)	E imp (%)	HDT (m)	Potencia (HP)	V rt (rpm)	Dcol (plg)	D des (plg)
B1	160	5.43	4.50	87.0	20.00	49.0	1200	14	14
B2	160	5.43	4.50	87.0	20.00	49.0	1200	14	14
B3	160	5.43	4.50	87.0	20.00	49.0	1200	14	14
B4	160	5.43	4.50	87.0	20.00	49.0	1200	14	14
B5	160	5.43	4.50	87.0	20.00	49.0	1200	14	14
B6	160	5.43	4.50	87.0	20.00	49.0	1200	14	14

Cuadro de Potencia hidráulica y eléctrica

Equipo No.	Q (lps)	HDT (m)	Potencia (HP)	
			P hdc	P ME nom
B1	160	20.00	49.0	60.0
B2	160	20.00	49.0	60.0
B3	160	20.00	49.0	60.0
B4	160	20.00	49.0	60.0
B5	160	20.00	49.0	60.0
B6	160	20.00	49.0	60.0

Cuadro de Términos relacionados con el diseño de la planta de bombeo

Q (lps)	Gasto por bomba
NPSH r m	Carga neta de succión positiva requerida para hacer que pase un gasto determinado a través de la bomba y es proporcionado por el fabricante
Smg d (m)	Sumergencia, es la distancia desde la entrada de la campana de succión hasta el nivel de la superficie libre del agua. La sumergencia mínima para evitar la formación de vórtices debe ser cuatro veces el diámetro de la tubería

	de succión.
E imp (%)	Eficiencia del impulsor o de la bomba, es el cociente que resulta de dividir la energía aprovechada por la bomba por la energía suministrada o consumida
HDT (m)	Carga total, es la suma de energías contra las que debe operar la bomba
Potencia (HP)	Potencia, es la que realmente utiliza la bomba para proporcionar el gasto y vencer la carga total con cierta eficiencia
V rt (rpm)	Velocidad de rotación de la bomba
Dcol (plg)	Diámetro de la columna de succión donde se encuentra la campana
D des (plg)	Diámetro de la descarga donde se encuentran los accesorios de seguridad

Así cada estación de bombeo es presentada en carpetas de proyecto.

El cuadro siguiente realiza un resumen de las características de cada bombeo.

Estación de bombeo	Num. Equipos + 1	Qequipo (lps)	H total (m)	Diám. Aprox (in)	Q Total (lps)	EFICIENCIA BOMBA	MOTOR HP	Ancho (m)	Longitud largo (m)	Volumen obtenido m <sup>3</sup>	Horas de bombeo
Zona Compacta Unidad 1	4	127	15	12	509	85	40	14.00	36.7	1675.4	1.2
IV Ejido Tres Jacales	3	120	20	12	360	86	50	14.00	36.7	1675.4	1.9
III Ejido Jesús Carranza	4	127	15	12	509	85	40	14.00	36.7	1675.4	1.2
II Ejido San Agustín	5	133	15	12	663	85	40	14.00	36.7	1675.4	0.9
I Ejido San Isidro	6	159	20	14	953	87	60	28.00	63.3	5584.6	2.0
V Guadalupe	9	175	22	14	1575	86	75	28.00	63.3	5584.6	1.1
Bordo1	13	250	62	16	3250	81	300	28.00	63.3	5584.6	0.5
Bordo2	13	250	52	16	3250	85	250	28.00	63.3	5584.6	0.5
Bordo3	11	200	36	14	2200	81	125	28.00	63.3	5584.6	0.8
Bordo4	13	250	66	16	3250	82	300	28.00	63.3	5584.6	0.5
Bordo5	11	250	52	16	2750	85	250	28.00	63.3	5584.6	0.5

En particular el cárcamo tiene una capacidad de continuar un bombeo definido como Horas de bombeo para flexibilizar la operación de las estaciones y el personal de operación pueda realizar maniobras en las estructuras de control en dichos intervalos de tiempo, de acuerdo a la máxima cantidad de bombas. Todas las estaciones de bombeo

tendrán un equipo de seguridad por si alguna se encuentra en reparación o mantenimiento.

Por otro lado observe, que a las estaciones de bombeo se les da un margen importante de maniobra para aumentar la capacidad de bombeo y rebasar la capacidad total de conducción del canal, esto permite cierta maniobra para recuperar flujo en tránsito en alguna estación en particular y permitir la automatización de las estaciones de bombeo mediante tecnología sencilla con apoyo de PLCs.

Costo de los sistemas de bombeo. La cantidad de cada uno de los materiales requerido para la instalación y construcción del sistema de bombeo se determinó en las etapas de diseño correspondiente (diseño de la planta de bombeo). Para determinar el precio de lista promedio se utilizaron los precios de lista (actualizados a mayo del presente año) de fabricantes nacionales e internacionales. Con la cantidad de material y el precio de lista promedio se determinó el costo del sistema. El siguiente cuadro da un resumen de los costos obtenidos.

Estación de Bombeo	Obra Civil	Equipo Electromecánico	Subestación Eléctrica	Planta de Bombeo
	\$ miles	\$ miles	\$ miles	\$ miles
Bordo 1	3,110.39	9,186.52	4,911.12	17,208.02
Bordo 2	3,110.39	8,498.50	4,543.30	16,152.18
Bordo 3	3,110.39	5,542.93	2,963.25	11,616.57
Bordo 4	3,110.39	9,186.52	4,911.12	17,208.02
Bordo 5	3,110.39	7,198.22	4,543.29	14,851.90
San Isidro	3,090.85	2,829.17	1,512.47	7,432.49
San Agustín	1,569.48	2,159.74	1,154.60	4,883.81
Ejido Jesus Carranza	1,569.48	1,736.76	928.47	4,234.72
Ejido Tres Jacales	1,569.48	1,313.79	702.35	3,585.63
Guadalupe	3,110.39	4,364.01	2,333.00	9,807.40
Zona compacta Unidad 1	1,569.48	1,736.76	928.47	4,234.72
Total				111,215.44

El costo total obtenido fue de 111.2 Millones de pesos y los proyectos se integran en carpetas con documentos de diseño, términos de referencia y planos constructivos.

## Proyectos de bordos de almacenamiento

Los bordos de almacenamiento de agua residual en el Distrito de Riego surgen como una necesidad de almacenar agua en periodos de bajo consumo, ahorros de agua, disponibilidad de agua otoño-invernal y de exceso de disponibilidad en primavera-verano tanto en agua residual como debido a la lluvia, de manera que se encuentre disponible en periodos de alta demanda.

Se ubicó preliminarmente en mapa satelital la localización de cada uno de lo bordos de almacenamiento, luego de acuerdo con la topografía existente, se evitaron las entradas de aguas broncas y en función de la superficie de riego (cercana).



Se realizó posteriormente una visita de campo para observar el lugar físicamente, algunos lugares se adecuaron por las condiciones que presentaban en campo. Se tomaron fotos panorámicas de cada uno de los lugares indicados como se muestran a continuación.

Bordo 1 (Juárez y Reforma)



Bordo 2 ( El Mimbres)



Bordo 3 (Rafael Carreón)



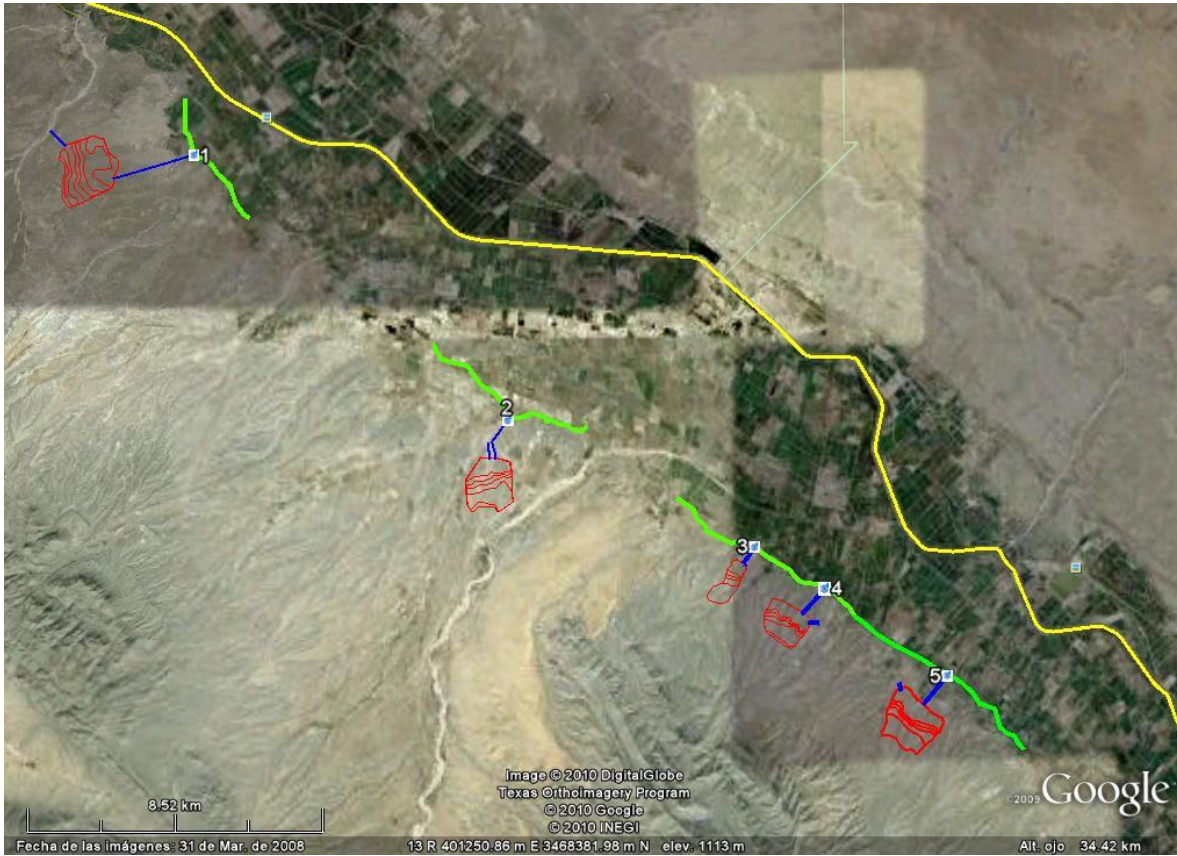
Bordo 4 (Colonia Esperanza)



Bordo 5 (El Porvenir)

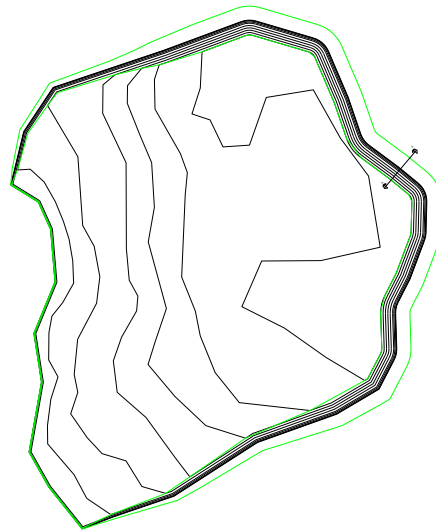


En el mapa se muestra la localización:

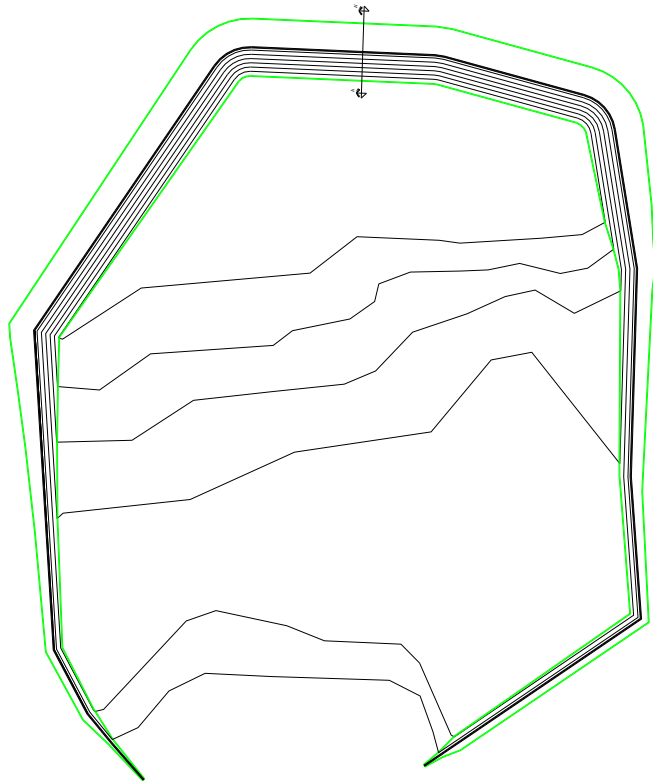


#### Localización de los bordos de almacenamiento considerados

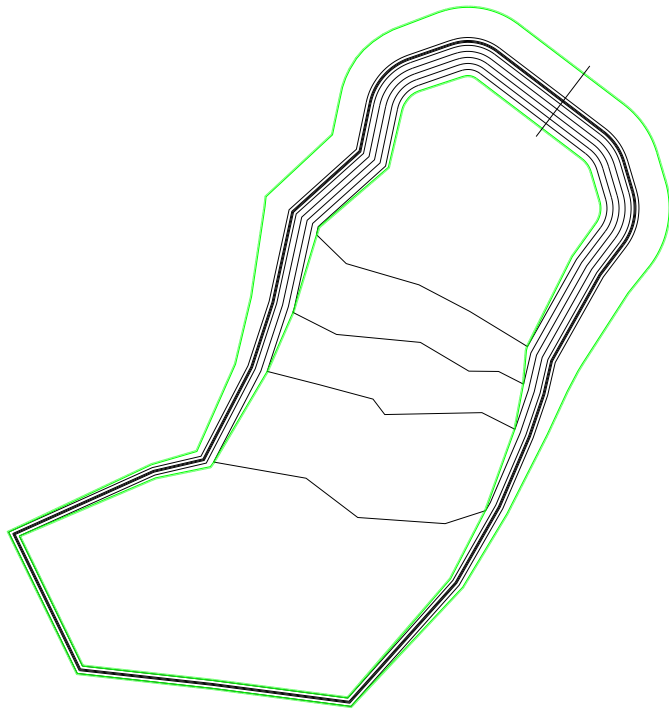
El trazo se realizó utilizando el modelo de elevación digital con curvas de nivel a cada 5 m, en el cual se delimitó el área potencial del bordo. Luego se trasladó a coordenadas UTM utilizando el sistema de información geográfica ArcView 3.2 y se calculó la curva áreas y capacidades para determinar la altura ideal para el volumen requerido del bordo. El resultado es el siguiente:



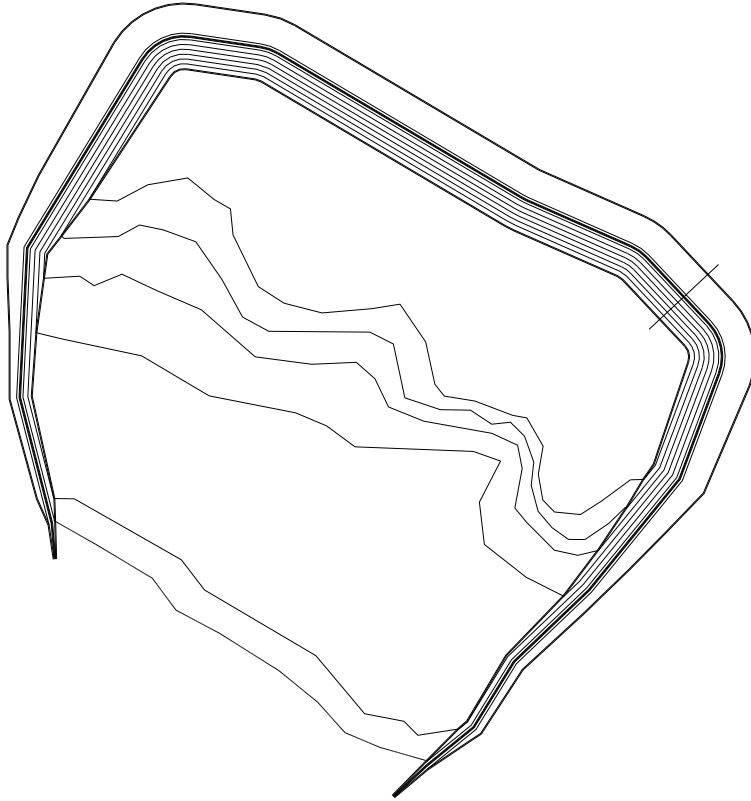
Bordo Juárez y Reforma



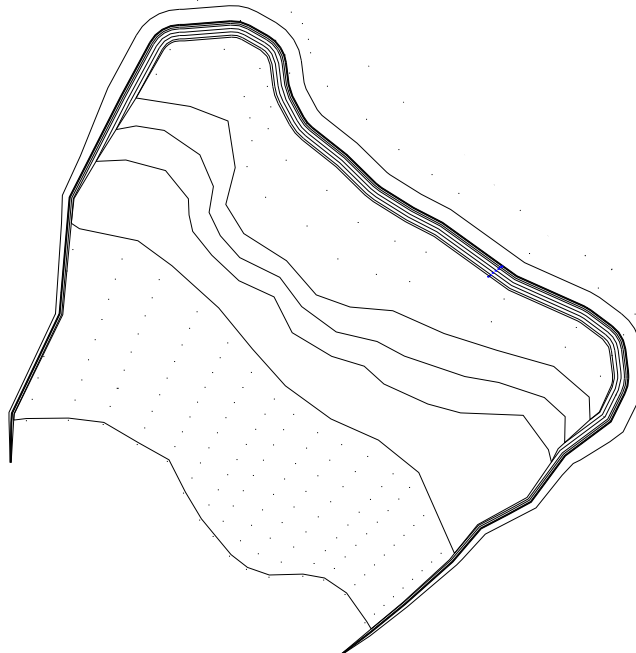
**Bordo El Mimbres**



**Bordo Rafael Carreón**



**Bordo Colonia Esperanza**



**Bordo El Porvenir**

Las alturas de cada bordo se muestran en el cuadro siguiente:

Nombre del Bordo	Altura de la cortina (m)	Capacidad inicial (m <sup>3</sup> )
Juárez y Reforma (Bordo 1)	26.50	32,559,499
El mimbre (Bordo 2)	32.50	30,025,408
Rafael Carreón (Bordo 3)	26.50	6,806,390
Colonia Esperanza (Bordo 4)	32.50	23,982,417
El Porvenir (Bordo 5)	23.00	19,366,010
<b>Suma</b>		<b>112,739,723</b>

La cortina de los bordos fue considerada de núcleo de arcilla compactada con talud 1:1, con enrocamiento acomodado aguas arriba y enrocamiento al volteo aguas abajo, con talud 2:1. Esto originó la redefinición del trazo de las curvas de nivel internas de los bordos, por lo que se recalculó su capacidad, generando los siguientes resultados:

Nombre del Bordo	Capacidad final (m <sup>3</sup> )
Juárez y Reforma (Bordo 1)	29,925,077
El mimbre (Bordo 2)	27,482,168
Rafael Carreón (Bordo 3)	5,574,388
Colonia Esperanza (Bordo 4)	21,707,793
El Porvenir (Bordo 5)	19,108,566
<b>Suma</b>	<b>103,797,990</b>

El volumen total es ligeramente superior al volumen inicial menos la mitad del volumen de las cortinas (102, 500, 892.21 m<sup>3</sup>).

Para la determinación del volumen de arcilla compactada y del volumen de enrocamiento, se determinó el trazo longitudinal de la cortina de cada bordo y su ancho correspondiente considerando los taludes arriba mencionados. Luego, se calculó el volumen a nivel de tramo y se llegó al siguiente resultado:

Bordo	Volumen arcilla compactada (m <sup>3</sup> )	Volumen enrocamiento (m <sup>3</sup> )
Juárez y Reforma (Bordo 1)	2,225,537	1,974,873
El mimbre (Bordo 2)	2,979,184	2,675,695
Rafael Carreón (Bordo 3)	1,185,695	1,030,835
Colonia Esperanza (Bordo 4)	2,805,007	2,539,498
El Porvenir (Bordo 5)	1,634,784	1,426,552
<b>Suma</b>	<b>10,830,207</b>	<b>9,647,454</b>

Impermeabilización. La impermeabilización de un bordo es con el fin de eliminar las pérdidas de agua por infiltración que puede ocurrir en el fondo del bordo y para evitar la contaminación de las zonas de recarga de agua dulce, para esto se procede a colocar una geo-membrana de 3 mm de espesor de PVC.

Para la instalación de la geo-membrana se recomienda eliminar las piedras existentes para evitar que con sus aristas la rompan y halla fugas de agua. Como todo el lugar está prácticamente lleno de piedras es adecuado el nivelar el terreno (manteniendo su pendiente) para eliminar las cárcavas existentes y posteriormente colocar una pequeña capa de arena para sobre el colocar la geo-membrana. Sobre el talud para unir las rocas del enrocamiento se procede a colocar una capa de 5 cm de concreto no reforzado y sobre él, la geo-membrana.

Procedimiento:

- Limpieza de maleza.
- Nivelación.
- Capa de arena de 10 cm en el lecho del bordo.
- Colocación de capa de 5 cm de concreto no reforzado en el talud del enrocamiento.
- Colocación de Filtro Pavitex o equivalente.
- Instalación de la Geo-membrana.

La superficie de limpieza de la maleza es el área interior del bordo de almacenamiento.

La nivelación será en la misma superficie.

Se colocará una capa de arena sobre la misma superficie.

Sobre la superficie de enrocado acomodado se colocara la capa de concreto no reforzado para la unión de las juntas.

Los resultados son los siguientes:

Bordo	Limpia (m <sup>2</sup> )	Nivelación (m <sup>2</sup> )
Juárez y Reforma (Bordo 1)	2,410,104	2,410,104
El mimbre (Bordo 2)	1,862,770	1,862,770
Rafael Carreón (Bordo 3)	467,342	467,342
Colonia Esperanza (Bordo 4)	1,274,301	1,274,301
El Porvenir (Bordo 5)	1,854,011	1,854,011
<b>Suma</b>	<b>7,868,528</b>	<b>7,868,528</b>

Diseño. El diseño del Vertedor. El vertedor es construido como parte de la seguridad del bordo, en caso de que el equipo de bombeo se encuentre vertiendo agua al bordo una vez lleno, debe poder desalojarla sin problema en la operación del mismo. No habiendo otra entrada de agua, su diseño estará determinado por el gasto máximo de bombeo del equipo del cárcamo de bombeo.

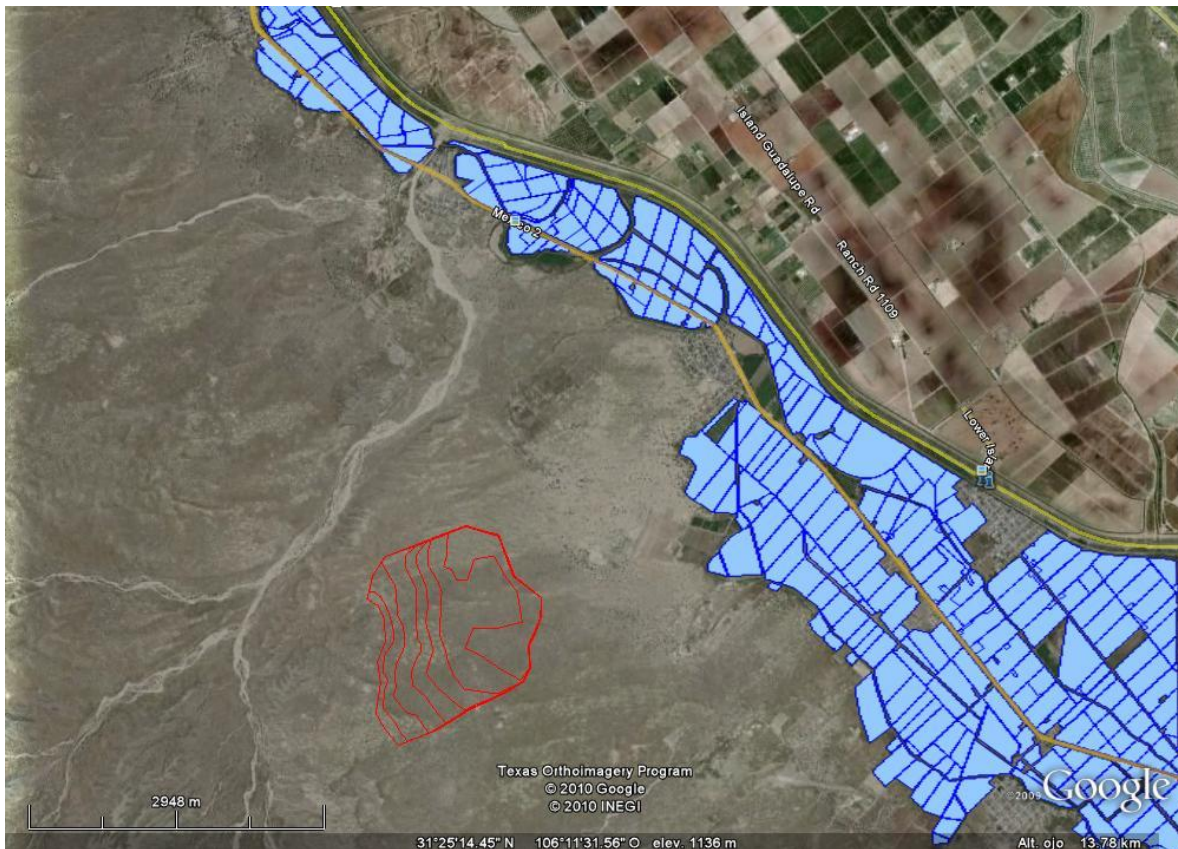
Obra de entrada de agua. Esta estructura consiste el tubo de acero de entrada de agua que atraviesa la cortina a un punto de altura indicado en el plano, en una obra de concreto con terminación en salto de sky para evitar la erosión de la geo-membrana y contará con enrocamiento especial para disminuir la energía cinética del flujo.

Obra de toma. La obra de toma consta de dos compuertas en serie una con el fin de manejar usualmente la apertura y otra de emergencia. La obra de toma incluye rejillas y compuerta de maniobra aguas arriba de la cortina, un tubo de acero embebido en concreto reforzado. El conducto de la obra de toma está dado por el gasto máximo del sistema de riego a baja presión al cual da servicio, al salir se ubicará en atraques, con válvulas de alivio, operación y emergencia, así como medidor de flujo y totalizador. El tubo de acero será bridado (con apoyo de una junta Gibault) y soldado al tubo de PVC de conducción de agua de riego. Todo aún embebido en concreto reforzado.

Estación de bombeo ya fue expuesta. El cárcamo de agua a un costado del canal conteniendo del equipo de bombeo hacia el bordo de almacenamiento debe de tener la capacidad de contener un volumen tal que opere de forma independiente durante un recorrido normal de un operador entre los diferentes bordos, es decir, debe tener una autonomía de 30 minutos. La profundidad del cárcamo será establecida de acuerdo a las necesidades hidráulicas dictadas por la pre-rotación del flujo respecto al nivel de la rasante del canal en el cadenamamiento de su localización.

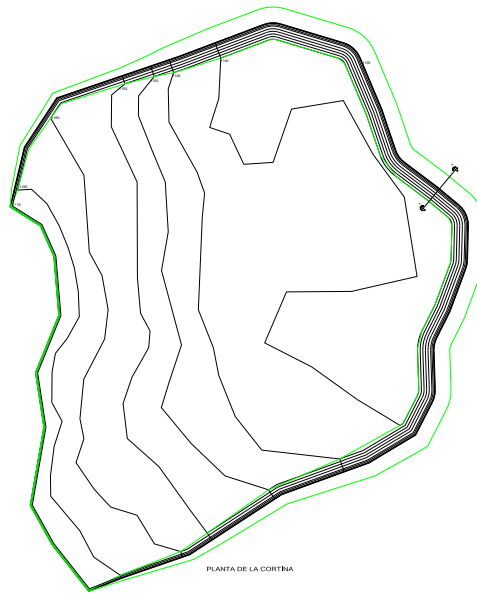
A continuación se detalla el diseño para un bordo.

El bordo Juárez y Reforma se localiza a un costado del afluente principal del Arroyo Navarrete, evitando la entrada de agua, en las coordenadas  $31^{\circ}25'14''$  N y  $106^{\circ}11'31''$  O.



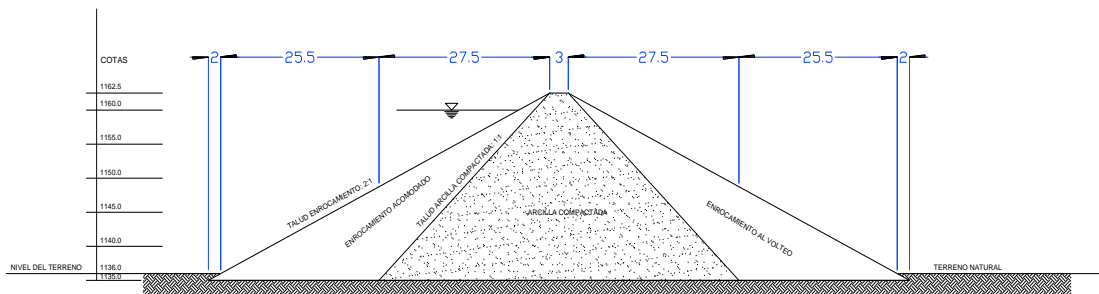
Cortina:

Se desplanta en la cota 1136 msnm, se considera una altura máxima de su cortina de 24 m, tiene una longitud de la cortina de 3939.91 m.



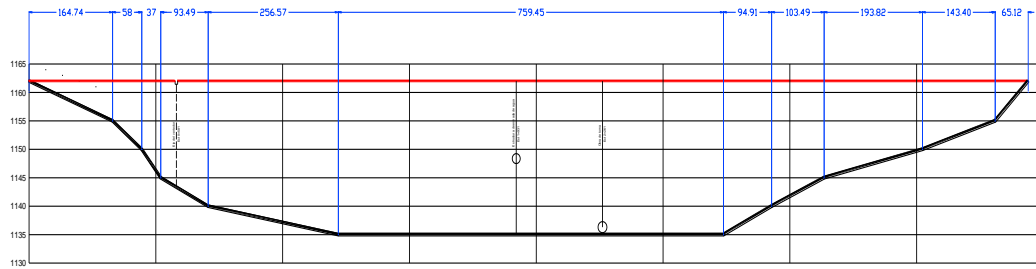
La cortina tiene un núcleo impermeable de arcilla compactada con talud 1:1, aguas arriba se coloca roca acomodada con talud 2:1 y aguas abajo roca al volteo con talud 2:1.

Se considera la existencia de roca firme o granulado compactado, 1 m es la profundidad de la cimentación. La impermeabilización se logra sobre la roca acomodada con lechada de concreto cubierta de una geo-membrana.



El perfil longitudinal de la cortina, trazado a partir de las curvas de nivel a cada 5 m y determinando su longitud a partir del trazo de la cortina en la planta del bordo, dando como resultado la figura siguiente:

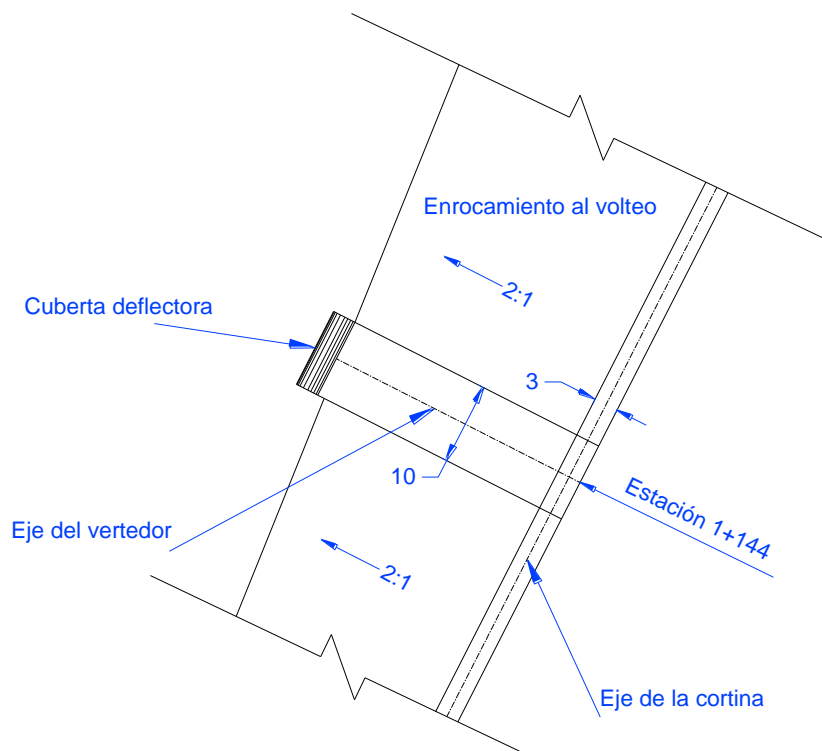




PERFIL LONGITUDINAL DE LA CORTINA

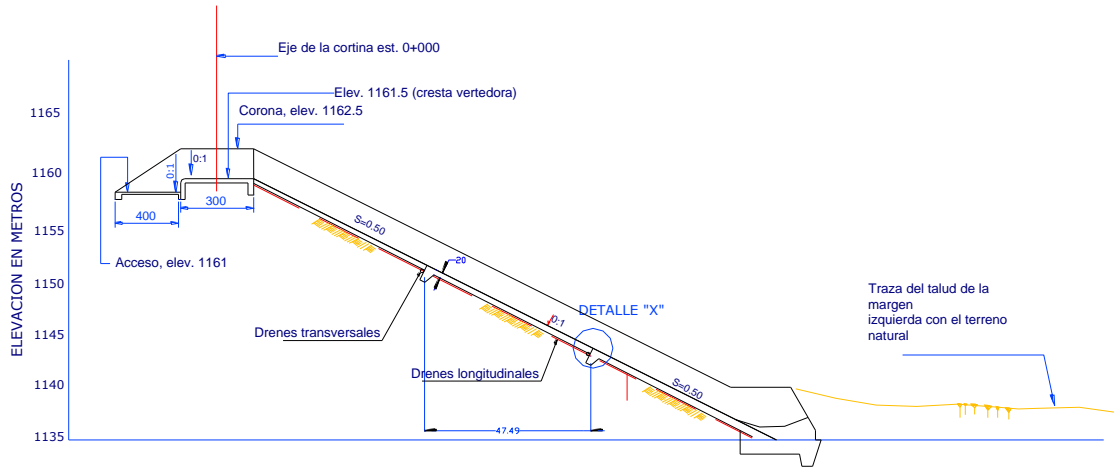
Donde se localizan la obra de toma, entrada y vertedor.

Diseño del vertedor. Se localizó el vertedor de forma tal que el agua vierta sobre el afluente del arroyo Navarrete (El Millón) el cual puede soportar el gasto del mismo. El vertedor sobre la cresta se ubica en el cadenamiento 0+581, como se muestra en la figura siguiente:



LOCALIZACIÓN DEL VERTEDEDOR

El perfil del vertedor finaliza con una cubeta deflectora para protección del talud del bordo



CORTE LONGITUDINAL POR EL EJE DEL VERTEDOR

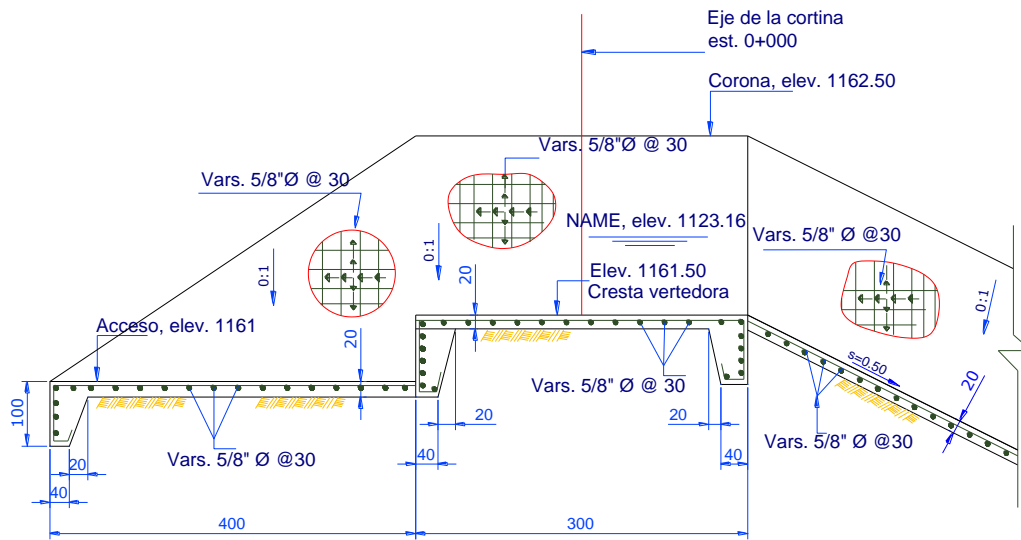
Para el diseño del vertedor se utilizó la ecuación de diseño para un vertedor rectangular de cresta ancha:

$$Q_{\text{máx}} = C L H^{3/2}$$

donde:

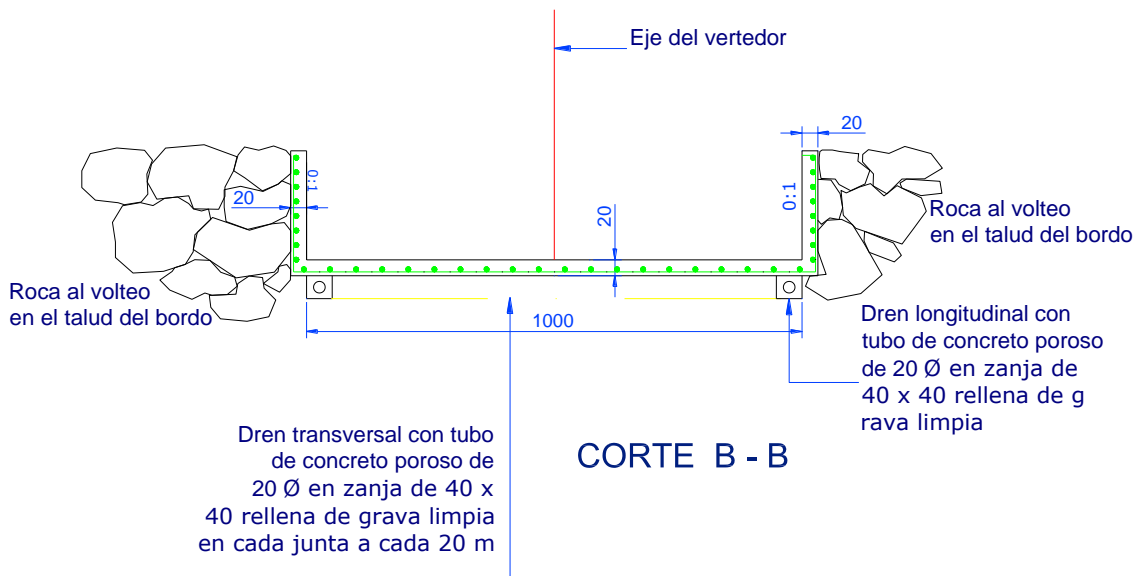
- $Q_{\text{máx}}$  = Gasto máximo (en  $\text{m}^3/\text{s}$ )
- C = Coeficiente
- L = Longitud del vertedor (en m)
- H = Carga sobre el vertedor (en m)

Considerando que el bordo no tiene entrada de agua natural, no tiene avenidas y el gasto que se presenta es el gasto máximo de la planta de bombeo que alimenta al bordo, es decir  $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ . El diseño deja un margen amplio de seguridad. Para manejar un tirante de 0.6 m se determina el ancho del mismo, lo que da como resultado  $L = 13 \text{ m}$ .



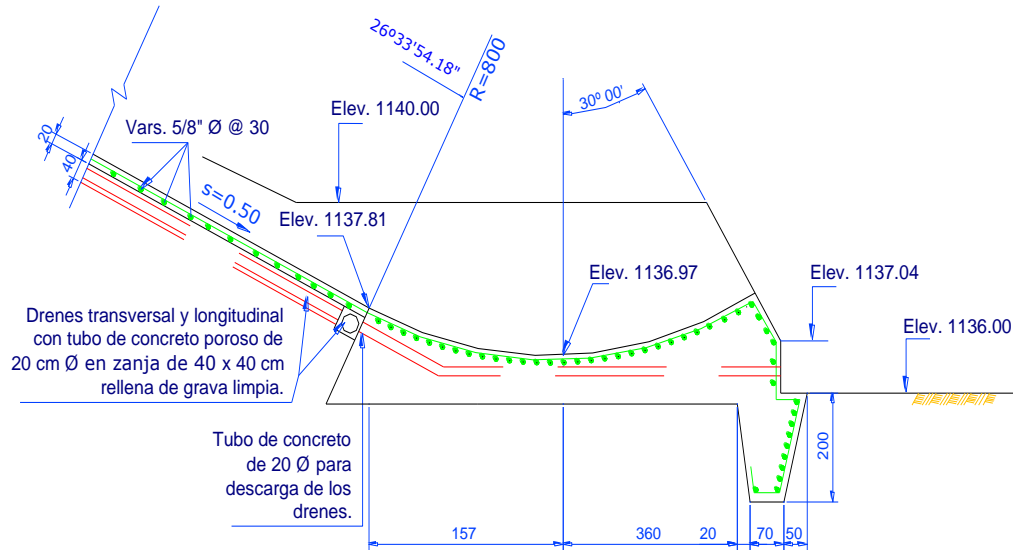
DETALLE DEL VERTEDEDOR.

Sección transversal del vertedor:



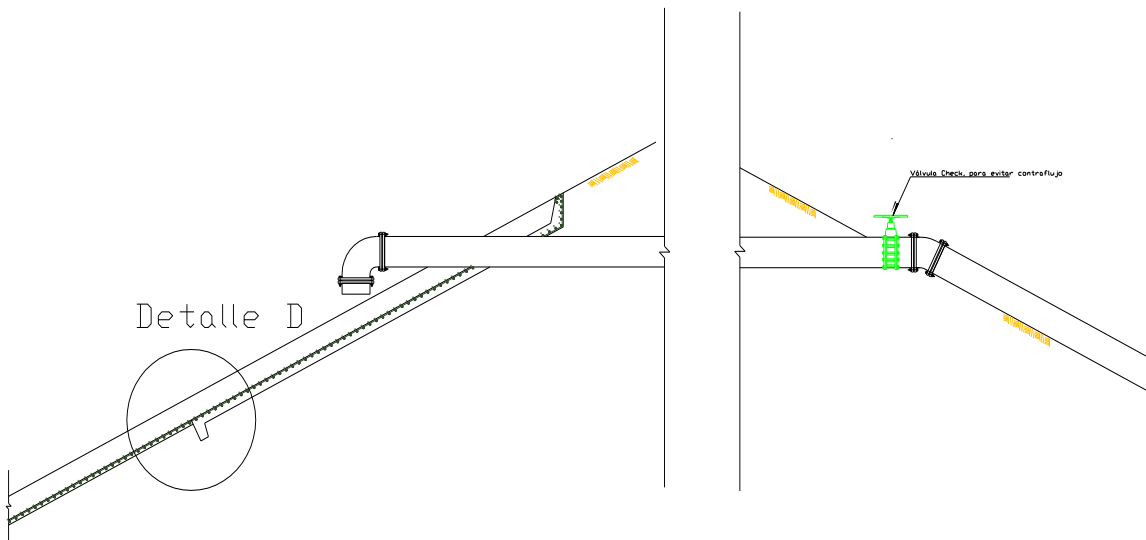
CORTE B - B

Detalle de la cubeta deflectora que finaliza con un atraque para protección, realizado con concreto reforzado.



### DETALLE DE LA CUBETA DEFLECTORA.

Estructura de entrada de agua. La entrada de agua, proveniente de un cárcamo de bombeo tiene la capacidad de  $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que permite alimentar al bordo. Se considera su ubicación a la mitad de la cortina, incorporando una válvula Check para evitar el contraflujo en caso de que el nivel del agua al interior del bordo exceda esa cota.

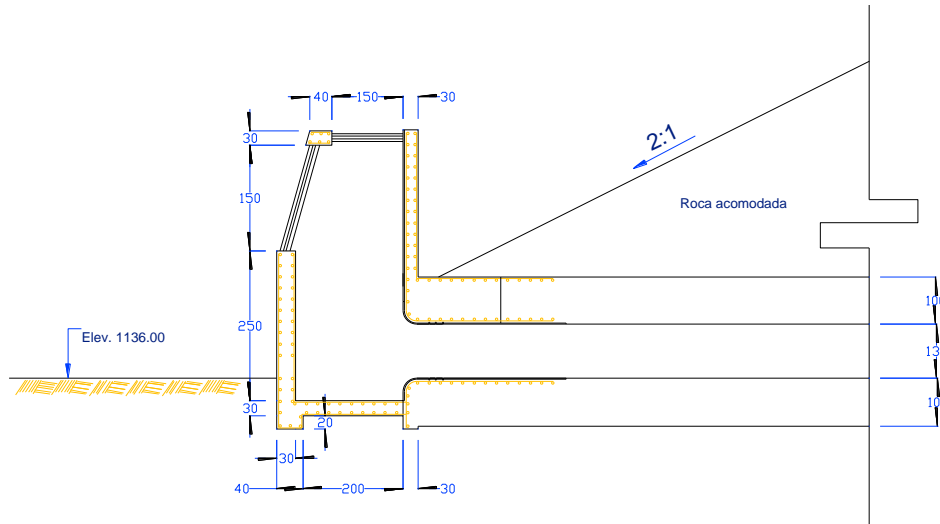


Para disminuir la velocidad de impacto en el fondo del bordo se consideró una cubeta deflectora que abre parabólicamente y deflecta en forma circular. Terminando con un perfil frontal en forma sinusoidal.

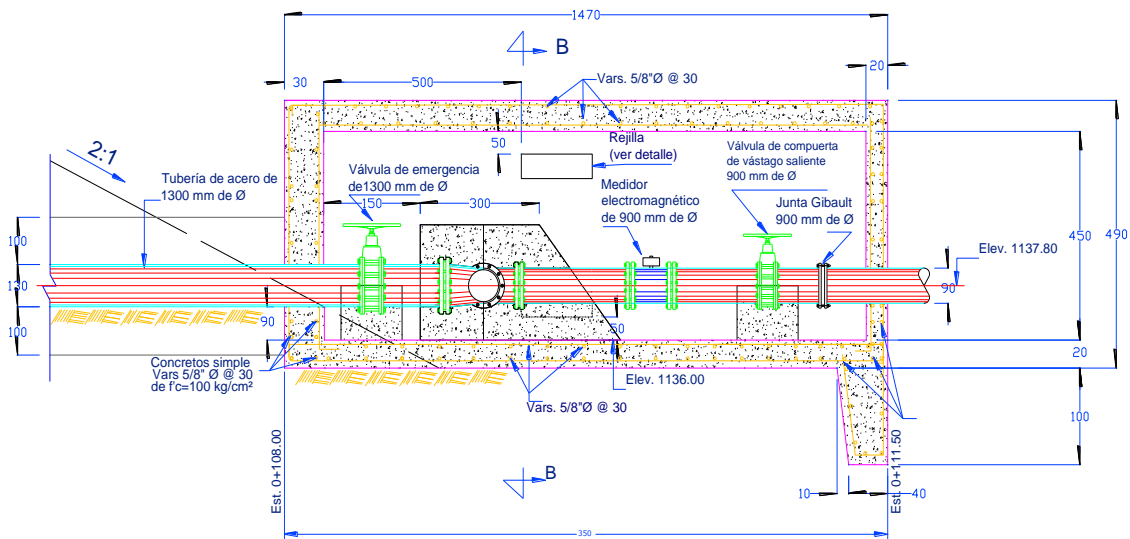


El colchón de roca absorberá el impacto mientras el nivel del agua se encuentre a un nivel inferior a la cota del deflector.

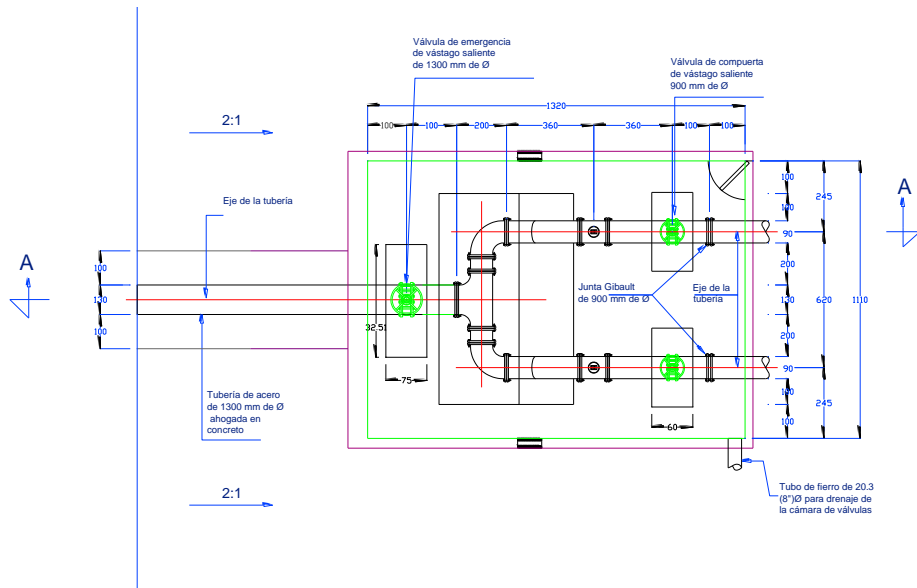
Obra de toma. La obra de toma en su parte aguas arriba consta de una entrada protegida por rejillas para evitar que basura pueda obstruir el tubo de salida del conducto. Se tienen 2.5 metros para azolve.



La tubería de 1500 mm de acero va protegida por concreto doblemente reforzado, terminando con una caseta operativa, donde se encuentran las válvulas de emergencia y operación, tal como se muestra a continuación:

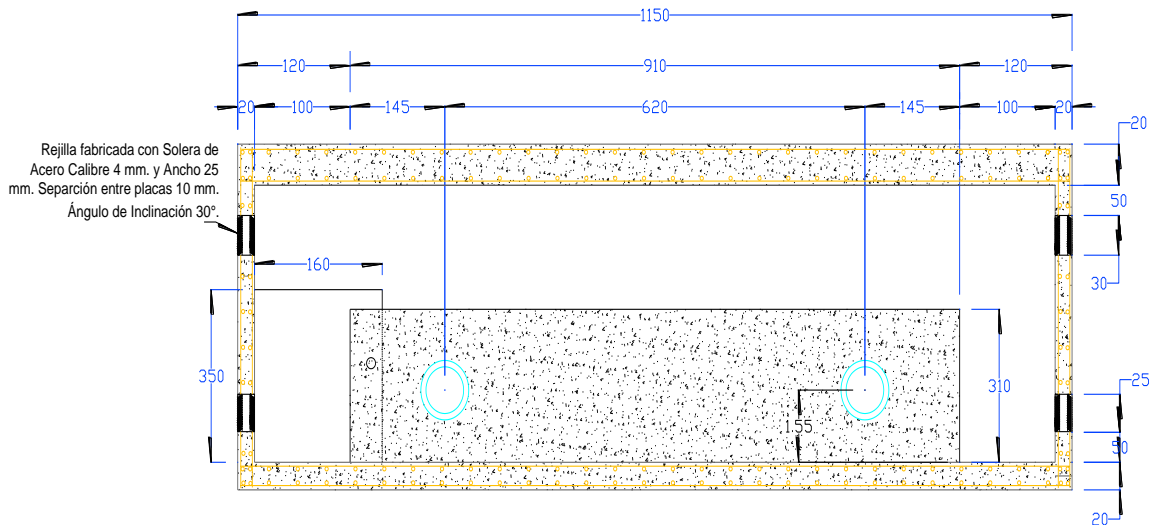


CORTE A-A



PLANTA

Se consideran dos conductos de salida de 900 mm mientras el de entrada es de 1300 mm. Se considera una válvula de emergencia protegida por atraques, de 1500 mm, los cambios de dirección se realizan utilizando un Tee de 90°



Los costos se muestran en el siguiente cuadro, no incluyen las estaciones de bombeo ya mostradas anteriormente.

	<b>Bordo</b>				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Vertedor	\$ 31,247,273.32	\$ 31,469,648.32	\$ 17,373,313.29	\$ 29,411,872.79	\$ 15,910,904.31
Obra de toma	\$ 154,043,102.06	\$ 166,651,061.42	\$ 93,629,066.51	\$ 154,713,655.10	\$ 100,074,370.70
Estructura de entrada	\$ 13,646,973.60	\$ 13,656,973.60	\$ 13,596,802.93	\$ 13,651,082.55	\$ 13,603,127.83
Cortina	\$ 447,679,160.40	\$ 447,679,160.40	\$ 447,679,160.40	\$ 447,679,160.40	\$ 447,679,160.40
<b>TOTAL</b>	\$ 646,616,509.37	\$ 659,456,843.74	\$ 572,278,343.12	\$ 645,455,770.84	\$ 577,267,563.23

Sumando un total del orden de \$ 3,101 Millones de pesos, realizando un costo promedio por bordo de 620 millones de pesos.

Como no se conoce estrictamente hablando el recorrido de las tuberías especiales de conducción a los bordos de almacenamiento, se realizó una estimación de costos de suministro e instalación de tuberías especiales e infraestructura de soporte, cuyo costo se duplica para independizar el ingreso de agua al bordo y la extracción potencial del agua a los cultivos.

Bordo	Longitudes estimadas (Km)	Diámetros (")	Precio suministro e instalación de tuberías especiales e infraestructura de soporte por metro lineal	Costo (\$ miles)
Juárez y Reforma	5	36	\$ 3,453	\$ 17,265
El Mimbre	5.25	42	\$ 4,703	\$ 24,691
Rafael Carreón	3	42	\$ 4,703	\$ 14,109
Colonia Esperanza	2.5	42	\$ 4,703	\$ 11,758
El Porvenir	1.4	36	\$ 3,453	\$ 4,834
Total	17.15			\$ 72,656

Por lo que el costo total asciende a 145.3 Millones de pesos

## Proyectos de tecnificación de la red de distribución menor, interparcelaria y sistemas de riego baja presión a nivel parcelario

Los elementos de diseño se presentan a continuación. El lector encontrará como característica de diseño agronómico un enfoque sobrevaluado de la evapotranspiración de referencia, situación que garantiza la satisfacción de las necesidades de los cultivos establecidos y solo obedecen a un mejor cumplimiento de la entrega del agua en operación. No obstante que, como fue mencionado, se requiere restricción en el manejo flexible del agua para beneficiar de una mejor operación tanto del agua disponible de los bordos como de las redes de distribución y la aplicación del agua a la parcela.

En esta sección se presenta el enfoque utilizado para determinar sobre los volúmenes de agua distribuidos y aplicados a la parcela.



De acuerdo con la división territorial en regiones hidrológicas, el Valle de Juárez se localiza dentro de la denominada Región Hidrológica No. 24 “ Río Bravo- Conchos” limitada al norte por el mismo Río Bravo, y al Oeste por la región hidrológica No. 34 “ Cuencas cerradas”.

La topografía el terreno es en general plana con ligera pendiente uniforme pero con micro topografía movida, complicada principalmente por los cauces abandonados del río que cruzan sus terrazas fluviales. Las vegas recientes, los bajíos y las terrazas originales han sufrido modificaciones en menor grado, por las labores agrícolas desarrolladas sobre ellos a través de los años.

El Valle de Juárez se presenta de forma alargada, orientado de Noroeste a Sureste, teniendo una longitud de 135 Km y una anchura media de 3 Km aproximadamente, su altura sobre el nivel del mar varía de 1, 131.68 m en la presa Derivadora Internacional al 1, 047.70 m a la altura de cajoncitos en el límite sureste.

La caracterización del suelo se tomo de la base de Estudio de Factibilidad Técnica, Financiera y Económica existente en el Distrito de Riego 009 Valle de Juárez, el cual se realizó en el año de 1970, mismo que marca en el Capítulo VI el Estudio Agrológico y en el punto 6.6.2 la Serie de suelos, la cual consta de 6 series, que a continuación se mencionan:

Serie No. 1.-	Cedillos	Serie No. 2.-	Juárez
Serie No. 3.-	Caseta	Serie No. 4.-	Porvenir
Serie No. 5.-	Guadalupe	Serie No. 6.-	Presidio

CLASIFICACIÓN DE TEXTURAS		
SERIE	TEXTURA	pH
Cedillos	Franco Arenoso	8.7
	Arena Francosa	7.0
	Franco Arenoso	7.3
	Arena	7.1
Juárez	Franco	7.1
	Arcilla	7.3
	Arcilla	7.5
	Arena Francosa	7.5
Caseta	Arcilla	8.0

	Arcilla	7.9
	Arcilla	8.0
	Arena	7.6
Porvenir	Franco	8.1
	Arena Francosa	8.2
	Franco Arcillosa	7.9
	Arcilla	7.9
	Franco Arenoso	8.2
Guadalupe	Franco Arenoso	8.5
	Franco	7.9
	Franco	7.8
	Franco Arenoso	8.0
Presidio	Franco con Grava	8.3
	Franco	8.2
	Conglomerado Calizo, Arena, Grava y Piedra	7.8
	Arena Grava y Piedra	8.2
	Arena Grava y Piedra	8.5

Se tomaron en cuenta las características de suelos de acuerdo a la clasificación de las series que se relacionan en el cuadro anterior, mismas que fueron clasificadas de acuerdo a los datos obtenidos por Ejido y por dominio de las estaciones de bombeo.

A continuación se presenta la relación de Ejidos y Series a la cual pertenecen dentro de la Segunda y parte de la Tercera Unidad:

EJIDO	SERIE
SAN ISIDRO	JUÁREZ
SAN AGUTÍN	JUÁREZ

JESÚS CARRANZA	JUÁREZ
TRES JACALES	JUÁREZ
JUÁREZ Y REFORMA	JUÁREZ
GUADALUPE	GUADALUPE
AHOGADERO	GUADALUPE
PRAXEDIS. G. GUERRERO	GUADALUPE
COL. ESPERANZA	GUADALUPE
TERCERA UNIDAD	GUADALUPE

Por la disponibilidad de información se optó por el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) mediante el método de Bladney-Criddle, que requiere de los promedios mensuales de las variables climatológicas: Temperatura mínima y máxima, horas luz (insolación). Dichos valores fueron adquiridos en la Estación Meteorológica Juárez, localizadas dentro de la zona del proyecto, y cuentan con datos desde el año 1957.

Las temperaturas medias en la zona son de 18.2 grados centígrados, teniendo como mínima promedio 7.5 y máxima promedio 28.4, en los meses de enero y julio respectivamente.

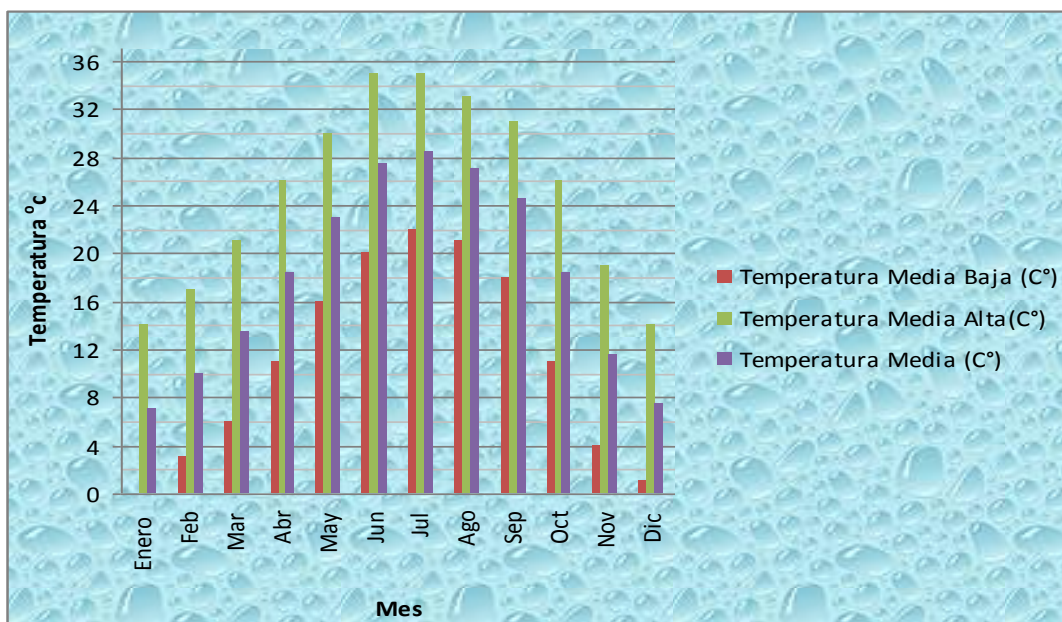
De acuerdo a la clasificación de climas realizada por Köppen y modificada por Enriqueta García (1964) para las condiciones de la República Mexicana, el clima de la región es muy seco o desértico y se clasifica por su humedad y temperatura como BW<sub>kx</sub>, (e), templado con verano cálido.

Según registros de la Estación Climatológica Juárez, como se mencionó la temperatura media es de 18.2 °C, correspondiendo a su zona, las temperaturas más bajas se presentan en los meses de Octubre a Marzo con la temperatura mínima promedio de 7.5 °C. Las temperaturas mayores se presentan de Abril a Septiembre con una temperatura máxima de 28.4.

A continuación se presentan los datos climatológicos y evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) usados en el cálculo de los requerimientos del Distrito de Riego 009 Valle de Juárez, Estado de Chihuahua. Datos utilizados para el cálculo de los requerimientos de riego diarios (RR<sub>d</sub>)

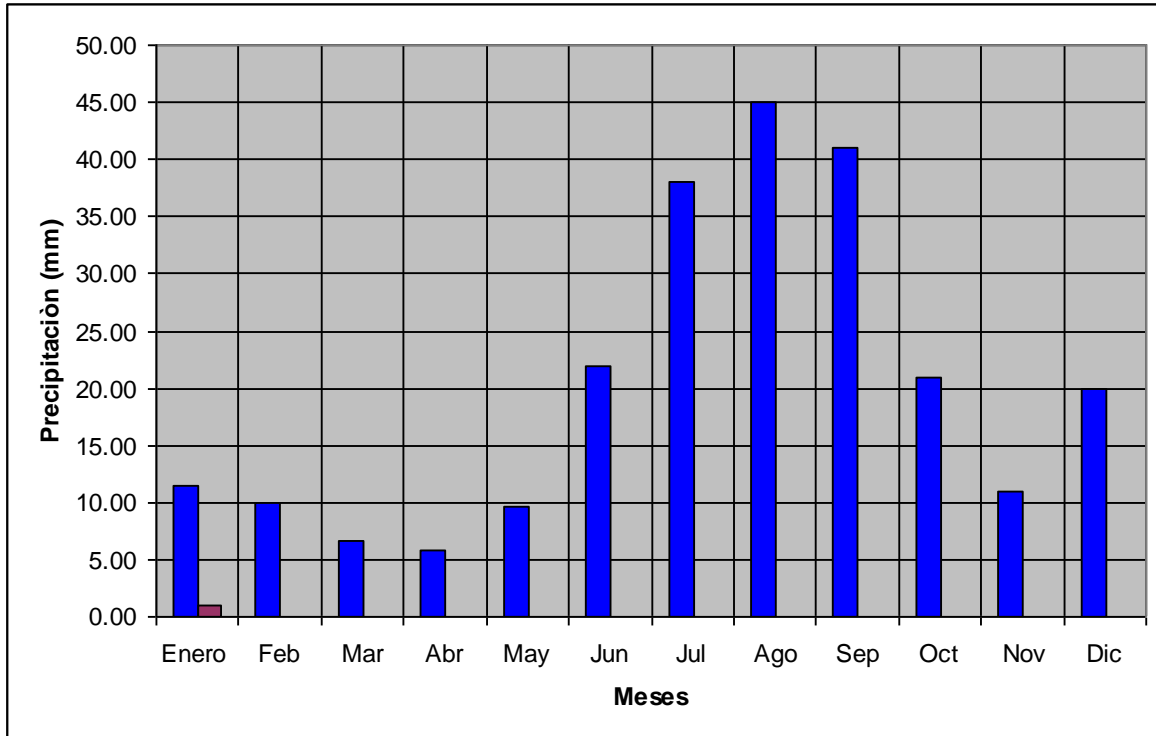
PARAMETROS	M E S												
	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV.	DIC.	ANUAL
Porcentaje Horas sol (p)	0.24	0.25	0.27	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	11.10
Temperatura Media Baja (C°)	0.00	3.00	6.00	11.00	16.00	20.00	22.00	21.00	18.00	11.00	4.00	1.00	25.10
Temperatura Media Alta(C°)	14.00	17.00	21.00	26.00	30.00	35.00	35.00	33.00	31.00	26.00	19.00	14.00	18.10
Temperatura Media (C°)	7.00	10.00	13.50	18.50	23.00	27.50	28.50	27.00	24.50	18.50	11.50	7.50	239.60
Precipitación (mm)	11.4	9.90	6.60	5.80	9.70	22.0	38.0	45.0	41.0	21.00	11.00	20.00	11.10

Grafica de Temperaturas. Media Mínima, Media Máxima y temperatura promedio



Grafica de Precipitación

Media Mensual



La humedad relativa promedio mensual es sumamente baja, características de los climas desérticos, en los meses de Abril y Mayo es del orden del 27 al 30%.

Los vientos son dominantes en invierno provienen del Noroeste, en el verano vienen del Sureste. Son frecuentes en los meses de Marzo y Abril originando tolvaneras muy densas. Cuando la temporada de vientos primaverales se prolonga, llega a causar serios trastornos a las plantas de cultivo.

El historial de precipitaciones registradas desde el año de 1957, muestran ciclos con precipitaciones significativas, arriba el promedio cada 9 o 10 años, mas sin embargo debido a las condiciones climatológicas descritas anteriormente, las precipitaciones promedio anual es de 265.3 mm, los cuales se acumulan en los meses de Julio a Septiembre, cuando es la temporada alta de precipitaciones.

La evapotranspiración de referencia total anual es de 1, 431 mm, presentándose los valores mayores en el mes de abril con 5.07 mm/día, y la evapotranspiración más baja en el mes de diciembre con 3 mm/día.

**REQUERIMIENTOS DE RIEGO Y CAPACIDAD DEL SISTEMA.** Para calcular el requerimiento de riego de los cultivos que se desarrollan en este Distrito, se utilizó como base la ecuación de Bladney-Criddle utilizada por la FAO, se tiene que el uso consuntivo (Etc) está dado por la siguiente ecuación:

$$Etc = Etr * Kc$$

Siendo  $K_c$  el factor de cultivo y  $E_{tr}$  la evapotranspiración de referencia que se calcula mediante  $E_{tr}=p(0.46t+8.13)$  Donde  $p$  es el porcentaje de radiación dólara diaria respecto a la anual, y  $t$  es la temperatura media diaria.

Los valores de los coeficientes de cultivo  $K_c$  se tomaron de los datos publicados por la FAO (1998). Información sobre la duración del ciclo de cada cultivo, así como las fechas de siembra y cultivo considerados de acuerdo al Plan de Riegos del Distrito de Riego 009 Valle de Juárez.

Considerando que regularmente los cultivos en las zonas desérticas de México se manejan en condiciones de estrés hídrico, deben ser inferiores pero considerando datos para diseño se toman valores elevados de coeficiente de cultivo, lo que da como resultado una propuesta de sistemas de tecnificación flexibles desde el punto de vista operativo en la entrega del agua a los cultivos.

Para cada uno de los cultivos considerados, en la siguiente tabla se muestran los valores mensuales de los coeficientes de cultivos para cada uno de ellos.

Factores de cultivo para el Distrito de Riego 009 "Valle de Juárez"

Kc de Cultivo \ M E S	M E S											
	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV.	DIC.
Alfalfa	0.65	0.65	0.65	0.70	0.80	0.90	1.10	1.00	0.85	0.80	0.70	0.70
Algodón			0.75	0.75	0.75	0.75	1.15	1.15	0.75			
Sorgo					0.35	0.75	1.10	0.65				
Trigo	0.75	1.10	1.10	0.65								0.35
Avena	0.80	0.80	1.15									0.80
Maíz				0.35	0.75	0.75	1.10	0.65				
Otros forrajes	0.75	1.10	1.10	0.65								0.35
Frutales	0.65	0.65	0.75	0.95	0.95	0.95	1.10	1.10	0.95	0.95	0.65	0.65

Para calcular los requerimientos de riego diarios de los cultivos previamente se calculó la evapotranspiración de referencia ( $E_{tr}$ ), estas se calcularon en base a los valores promedio mensuales de temperatura y de la radiación solar, los cálculos de requerimiento de riego se realizaron por día y mes y año para el patrón promedio de cultivos del Distrito.

Evapotranspiración de referencia ( $E_{tr}$ ) en mm/día

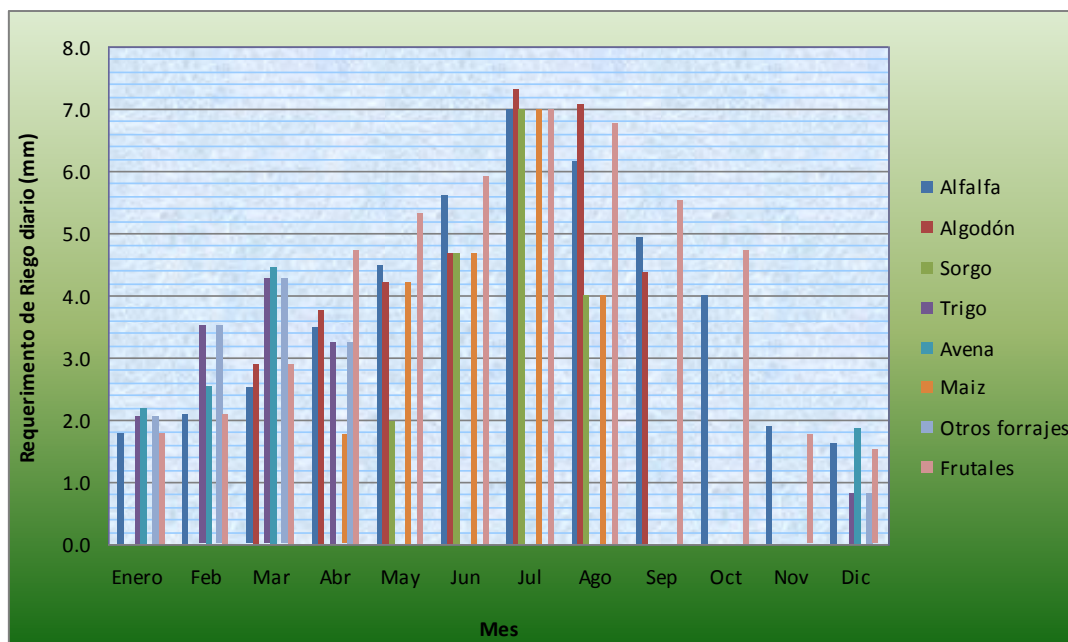
M E S	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV.	DIC.
$E_{tr}$	2.72	3.18	3.87	4.99	5.61	6.23	6.37	6.17	5.82	4.99	2.68	2.32

A continuación se muestra tabla con cálculo de requerimiento diario del patrón de Cultivos.

Cálculo del uso consuntivo ( Etc) para cada cultivo de la zona mm/día

Cultivo	M E S											
	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV.	DIC.
Alfalfa	1.77	2.07	2.52	3.49	4.49	5.61	7.01	6.17	4.95	3.99	1.88	1.62
Algodón	0.00	0.00	2.90	3.74	4.21	4.68	7.33	7.09	4.37	0.00	0.00	0.00
Sorgo	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96	4.68	7.01	4.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Trigo	2.04	3.50	4.26	3.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81
Avena	2.18	2.55	4.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85
Maíz	0.00	0.00	0.00	1.75	4.21	4.68	7.01	4.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Otros forrajes	2.04	3.50	4.26	3.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81
Frutales	1.77	2.07	2.90	4.74	5.33	5.92	7.01	6.78	5.53	4.74	1.74	1.51

A continuación se muestra gráfica con mayor requerimiento de riego diario del Patrón de cultivos.



Cálculo del uso consuntivo (ETc ) anual para cada cultivo de la zona mm

M E S	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV.	DIC.	ANUAL (mm)
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
CULTI VO													
Alfalfa	54.8 9	57.9 2	78.02	104.8 3	139. 20	168 .32	217. 29	191. 12	148. 41	123.8 0	56.3 6	50.26	1390. 41
Algodón	0.00	0.00	90.02	112.3 2	130. 50	140 .27	227. 16	219. 78	130. 95	0.00	0.00	0.00	1051. 00
Sorgo	0.00	0.00	0.00	0.00	60.9 0	140 .27	217. 29	124. 22	0.00	0.00	0.00	0.00	542.6 8
Trigo	63. 33	98.0 2	132. 03	97.3 4	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	25.1 3	415.8 5
Avena	67. 56	71.2 9	138. 03	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	57.4 4	334.3 1
Maíz	0.0	0.00	0.00	52.4 2	130. 50	140 .27	217 .29	124. 22	0.0	0.00	0.00	0.00	664.6 9
Otros forrajes	63. 33	98.0 2	132. 03	97.3 4	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	25.1 3	415.8 5
Frutales	54. 89	57.9 2	90.0 2	142. 27	165. 30	177 .67	217 .29	210. 23	165 .87	147. 01	52.3 4	46.6 7	1527. 47

Volumen Necesario para el Distrito de Riego en base al Padrón de Cultivos y Superficie Sembrada (2da. Unidad y parte de la Tercera)

Para el Cálculo de los volúmenes necesarios del Distrito se tomo en cuenta los requerimientos de riego diarios de cada cultivo. Para la obtención de de dichos requerimientos se realizó 1) el cálculo para cada de los Ejidos de San Isidro, San Agustín, Jesús Carranza, Tres Jacales, Juárez y Reforma, Guadalupe, Ahogadero, Praxedis G. Guerrero y Col. Esperanza, esto con la finalidad de obtener un mejor manejo y así evitar posibles problemas de índole social y 2) en un segundo tiempo se realizó para el dominio agrícola de cada estación de bombeo.



Por tal motivo a continuación se muestran cuadros con volúmenes mensuales y anuales a utilizar en la zona de riego, cabe hacer mención que éstos volúmenes no incluyen eficiencias y las mismas ya fueron expuestas en otra sección.

Por el momento esta información sirve para determinar la capacidad del sistema de riego en base al uso consuntivo, situación que de ahí en adelante se afecta por las eficiencias globales. Las mismas son muy similares a las consideradas en la sección del estudio hidroagrícola y reconversión de cultivos, evidentemente afectadas por el desempeño esperado de la tecnificación.

El presente modelo expuesto de obtención de uso consuntivo de los cultivos se hace en base a la caracterización media de cultivos establecidos y son muestra de los procedimientos que se utilizan para determinar la capacidad de las redes de distribución y sistemas de riego objetos de la tecnificación.

VOLUMEN REQUERIDO PARA EL EJIDO SAN ISIDRO

CULTIVO	MES	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Alfalfa</b>	284	155,883.62	164,497.06	221,567.63	297,722.88	395,334.82	478,023.12	617,089.97	542,766.60	421,484.40	351,596.54	160,073.76	142,730.45
<b>Algodón</b>	15	-	-	13,503.00	16,848.00	19,575.00	21,040.50	34,074.00	32,967.00	19,642.50	-	-	-
<b>Sorgo</b>	256	-	-	-	-	155,906.69	359,078.40	556,250.11	318,015.36	-	-	-	-
<b>Trigo</b>	296	187,465.68	290,142.16	390,804.00	288,138.24	-	-	-	-	-	-	-	74,380.66
<b>Avena</b>	17	11,484.38	12,118.96	23,465.04	-	-	-	-	-	-	-	-	9,764.26
<b>Maíz</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Otros forrajes</b>	43	27,233.19	42,149.03	56,772.20	41,857.92	-	-	-	-	-	-	-	10,805.30
<b>Frutales</b>	18	11,399.94	17,643.78	16,203.48	25,608.96	29,754.51	31,980.42	39,111.34	37,840.77	29,856.60	26,462.59	9,420.84	8,400.13
<b>Subtotal</b>	<b>929</b>	<b>393,466.82</b>	<b>526,550.99</b>	<b>722,315.36</b>	<b>670,176.00</b>	<b>600,571.02</b>	<b>890,122.44</b>	<b>1,246,525.42</b>	<b>931,589.73</b>	<b>470,983.50</b>	<b>378,059.14</b>	<b>169,494.60</b>	<b>246,080.79</b>
<b>Total</b>													<b>7,245,935.80</b>

### VOLUMEN REQUERIDO PARA EL EJIDO SAN AGUSTIN

CULTIVO	MES	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Alfalfa</b>	230	126,243.78	133,219.45	179,438.57	241,113.60	320,165.52	387,131.40	499,755.96	439,564.50	341,343.0	284,743.68	129,637.20	115,591.56
<b>Algodón</b>	45	-	-	40,509.00	50,544.00	58,725.00	63,121.50	102,222.00	98,901.00	58,927.5	-	-	-
<b>Sorgo</b>	91	-	-	-	-	55,419.96	127,641.15	197,729.53	113,044.52	-	-	-	-
<b>Trigo</b>	143	90,566.19	140,170.03	188,800.58	139,201.92	-	-	-	-	-	-	-	35,933.90
<b>Avena</b>	16	10,808.83	11,406.08	22,084.75	-	-	-	-	-	-	-	-	9,189.89
<b>Maíz</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Otros forrajes</b>	29	18,366.57	28,426.09	38,288.23	28,229.76	-	-	-	-	-	-	-	7,287.29
<b>Frutales</b>	9	4,939.97	5,212.94	8,101.74	12,804.48	14,877.26	15,990.21	19,555.67	18,920.39	-	13,231.30	4,710.42	4,200.07
<b>Subtotal</b>	<b>563</b>	<b>250,925.35</b>	<b>318,434.59</b>	<b>477,222.87</b>	<b>471,893.76</b>	<b>449,187.73</b>	<b>593,884.26</b>	<b>819,263.16</b>	<b>670,430.41</b>	<b>400,270.5</b>	<b>297,974.98</b>	<b>134,347.62</b>	<b>172,202.71</b>
<b>Total</b>													<b>5,056,037.93</b>

### VOLUMEN REQUERIDO PARA EL EJIDO JESÚS CARRANZA

CULTIVO	MES	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Alfalfa</b>	111	60,926.35	64,292.86	86,598.61	116,363.52	154,514.66	186,832.98	241,186.57	212,137.65	164,735.10	137,419.78	62,564.04	55,785.49
<b>Algodón</b>	9	-	-	8,101.80	10,108.80	11,745.00	12,624.30	20,444.40	19,780.20	11,785.50	-	-	-
<b>Sorgo</b>	99	-	-	-	-	60,292.04	138,862.35	215,112.35	122,982.50	-	-	-	-
<b>Trigo</b>	151	95,632.83	148,011.71	199,362.85	146,989.44	-	-	-	-	-	-	-	37,944.19
<b>Avena</b>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Maíz</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Otros forrajes</b>	47	29,766.51	46,069.87	62,053.34	45,751.68	-	-	-	-	-	-	-	11,810.44
<b>Frutales</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>	<b>417</b>	<b>186,325.69</b>	<b>258,374.45</b>	<b>356,116.61</b>	<b>319,213.44</b>	<b>226,551.70</b>	<b>338,319.63</b>	<b>476,743.32</b>	<b>354,900.35</b>	<b>176,520.60</b>	<b>137,419.78</b>	<b>62,564.04</b>	<b>105,540.12</b>
<b>Total</b>												<b>2,998,589.72</b>	

### VOLUMEN REQUERIDO PARA EL EJIDO TRES JACALES

CULTIVO	MES	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Alfalfa</b>	71	38,970.91	41,124.27	74,430.72	74,430.72	98,833.70	119,505.78	154,272.49	135,691.65	105,371.10	87,899.14	40,018.44	35,682.61
<b>Algodón</b>	29	-	-	32,572.80	32,572.80	37,845.00	40,678.30	65,876.40	63,736.20	37,975.50	-	-	-
<b>Sorgo</b>	106	-	-	-	-	64,555.11	148,680.90	230,322.31	131,678.24	-	-	-	-
<b>Trigo</b>	113	71,566.29	110,763.73	109,998.72	109,998.72	-	-	-	-	-	-	-	28,395.32
<b>Avena</b>	1	675.55	712.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	574.37
<b>Maíz</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Otros forrajes</b>	7	4,433.31	6,861.47	6,814.08	6,814.08	-	-	-	-	-	-	-	1,759.00
<b>Frutales</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>	<b>327</b>	<b>115,646.06</b>	<b>159,462.35</b>	<b>223,816.32</b>	<b>223,816.32</b>	<b>201,233.82</b>	<b>308,864.98</b>	<b>450,471.20</b>	<b>331,106.09</b>	<b>143,346.60</b>	<b>87,899.14</b>	<b>40,018.44</b>	<b>66,411.30</b>
<b>Total</b>												<b>2,352,092.61</b>	

### VOLUMEN REQUERIDO PARA EL EJIDO JUÁREZ Y REFORMA

CULTIVO	MES	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Alfalfa</b>	290	159,176.94	167,972.35	226,248.63	304,012.80	403,686.96	488,122.20	630,127.08	554,233.50	430,389.0	359,024.64	163,455.60	145,745.88
<b>Algodón</b>	446	-	-	401,489.20	500,947.20	582,030.00	625,604.20	1,013,133.60	980,218.80	584,037.0	-	-	-
<b>Sorgo</b>	366	-	-	-	-	222,897.84	513,369.90	795,263.83	454,662.59	-	-	-	-
<b>Trigo</b>	424	268,531.92	415,609.04	559,800.33	412,738.56	-	-	-	-	-	-	-	106,545.26
<b>Avena</b>	18	12,159.94	12,831.84	24,845.34	-	-	-	-	-	-	-	-	10,338.62
<b>Maíz</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Otros forrajes</b>	18	11,399.94	17,643.78	23,765.11	17,521.92	-	-	-	-	-	-	-	4,523.15
<b>Frutales</b>	3	1,646.66	1,737.65	2,700.58	4,268.16	4,959.09	5,330.07	6,518.56	6,306.80	4,976.1	4,410.43	1,570.14	1,400.02
<b>Subtotal</b>	1,565.00	452,915.39	615,794.66	1,238,849.19	1,239,488.64	1,213,573.89	1,632,426.37	2,445,043.07	1,995,421.68	1,019,402.1	363,435.07	165,025.74	268,552.94
<b>Total</b>													12,651,493.74

**VOLUMEN REQUERIDO PARA EL EJIDO GUADALUPE**

<b>CULTIVO</b>	<b>MES</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MZO</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEPT</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>Alfalfa</b>	280	153,688.08	162,180.20	218,446.96	293,529.60	389,766.72	471,290.40	608,398.56	535,122.00	415,548.00	346,644.48	157,819.20	140,720.16
<b>Algodón</b>	280	-	-	252,056.00	314,496.00	365,400.00	392,756.00	636,048.00	615,384.00	366,660.00	-	-	-
<b>Sorgo</b>	160	-	-	-	-	97,441.68	224,424.00	347,656.32	198,759.60	-	-	-	-
<b>Trigo</b>	339	214,698.87	332,291.19	447,576.21	329,996.16	-	-	-	-	-	-	-	85,185.95
<b>Avena</b>	5	3,377.76	3,564.40	6,901.48	-	-	-	-	-	-	-	-	2,871.84
<b>Maíz</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Otros forrajes</b>	53	33,566.49	51,951.13	69,975.04	51,592.32	-	-	-	-	-	-	-	13,318.16
<b>Frutales</b>	1	548.89	980.21	900.19	1,422.72	1,653.03	1,776.69	2,172.85	2,102.30	1,658.70	1,470.14	523.38	466.67
<b>Subtotal</b>	<b>1,118.00</b>	<b>405,880.09</b>	<b>550,967.13</b>	<b>995,855.88</b>	<b>991,036.80</b>	<b>854,261.43</b>	<b>1,090,247.09</b>	<b>1,594,275.73</b>	<b>1,351,367.90</b>	<b>783,866.70</b>	<b>348,114.62</b>	<b>158,342.58</b>	<b>242,562.79</b>
<b>Total</b>													<b>9,366,778.70</b>

**VOLUMEN REQUERIDO PARA EL EJIDO PEQUEÑA PROPIEDAD GUADALUPE**

CULTIVO	MES	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Alfalfa</b>	409	224,494.37	236,898.94	319,088.59	428,762.88	569,337.82	688,420.62	888,696.47	781,660.35	606,996.90	506,348.54	230,528.76	205,551.95
<b>Algodón</b>	403	-	-	362,780.60	452,649.60	525,915.00	565,288.10	915,454.80	885,713.40	527,728.50	-	-	-
<b>Sorgo</b>	264	-	-	-	-	160,778.77	370,299.60	573,632.93	327,953.34	-	-	-	-
<b>Trigo</b>	661	418,631.13	647,918.81	872,707.59	643,443.84	-	-	-	-	-	-	-	166,100.05
<b>Avena</b>	48	32,426.50	34,218.24	66,254.24	-	-	-	-	-	-	-	-	27,569.66
<b>Maíz</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Otros forrajes</b>	63	39,899.79	61,753.23	83,177.88	61,326.72	-	-	-	-	-	-	-	15,831.02
<b>Frutales</b>	65	35,677.59	37,648.98	58,512.58	92,476.80	107,446.85	115,484.85	141,235.38	136,647.23	107,815.50	95,559.36	34,019.70	30,333.81
<b>Subtotal</b>	<b>1,913.00</b>	<b>751,129.38</b>	<b>1,018,438.19</b>	<b>1,762,521.48</b>	<b>1,678,659.84</b>	<b>1,363,478.44</b>	<b>1,739,493.17</b>	<b>2,519,019.58</b>	<b>2,131,974.32</b>	<b>1,242,540.90</b>	<b>601,907.90</b>	<b>264,548.46</b>	<b>445,386.49</b>
<b>Total</b>													15,519,098.14



### VOLUMEN REQUERIDO PARA EL EJIDO AHOGADERO

CULTIVO	MES	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Alfalfa</b>	33	18,113.24	19,114.10	25,745.53	34,594.56	45,936.79	45,936.79	71,704.12	63,067.95	48,975.30	40,854.53	18,600.12	16,584.9
<b>Algodón</b>	12	-	-	10,802.40	13,478.40	15,660.00	15,660.00	27,259.20	26,373.60	15,714.00	-	-	-
<b>Sorgo</b>	26	-	-	-	-	15,834.27	15,834.27	56,494.15	32,298.44	-	-	-	-
<b>Trigo</b>	57	36,099.81	55,871.97	75,256.18	55,486.08	-	-	-	-	-	-	-	14,323.3
<b>Avena</b>	4	2,702.21	2,851.52	5,521.19	-	-	-	-	-	-	-	-	2,297.5
<b>Maíz</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Otros forrajes</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Frutales</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>	132	56,915.26	77,837.59	117,325.30	103,559.04	77,431.07	77,431.07	155,457.47	121,739.99	64,689.30	40,854.53	18,600.12	33,205.7
<b>Total</b>													945,046.36

**VOLUMEN REQUERIDO PARA EL EJIDO PRAXEDIS G. GRO.**

CULTIVO	MES	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Alfalfa</b>	90	49,399.74	52,129.35	70,215.09	94,348.80	125,282.16	151,486.20	195,556.68	172,003.5	133,569.0	111,421.44	50,727.60	45,231.48
<b>Algodón</b>	365	-	-	328,573.00	409,968.00	476,325.00	511,985.50	829,134.00	802,197.0	477,967.5	-	-	-
<b>Sorgo</b>	129	-	-	-	-	78,562.35	180,941.85	280,297.91	160,249.9	-	-	-	-
<b>Trigo</b>	200	126,666.00	196,042.00	264,056.76	194,688.00	-	-	-	-	-	-	-	50,257.20
<b>Avena</b>	11	7,431.07	7,841.68	15,183.26	-	-	-	-	-	-	-	-	6,318.05
<b>Maíz</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Otros forrajes</b>	15	9,499.95	14,703.15	19,804.26	14,601.60	-	-	-	-	-	-	-	3,769.29
<b>Frutales</b>	16	8,782.18	9,267.44	14,403.10	22,763.52	26,448.46	28,427.04	34,765.63	33,636.2	26,539.2	23,522.30	8,374.08	7,466.78
<b>Subtotal</b>	<b>826</b>	<b>201,778.94</b>	<b>279,983.62</b>	<b>712,235.47</b>	<b>736,369.92</b>	<b>706,617.97</b>	<b>872,840.59</b>	<b>1,339,754.22</b>	<b>1,168,086.7</b>	<b>638,075.7</b>	<b>134,943.74</b>	<b>59,101.68</b>	<b>113,042.80</b>
<b>Total</b>													<b>6,962,831.32</b>

**VOLUMEN REQUERIDO PARA EL EJIDO P. PROPIEDAD DE PRAXEDIS G. GRO.**

CULTIVO	MES	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Alfalfa</b>	454	249,194.24	262,963.61	354,196.14	475,937.28	631,978.90	764,163.72	986,474.81	867,662.10	673,781.40	562,059.26	255,892.56	228,167.69
<b>Algodón</b>	452	-	-	406,890.40	507,686.40	589,860.00	634,020.40	1,026,763.20	993,405.60	591,894.00	-	-	-
<b>Sorgo</b>	337	-	-	-	-	205,236.54	472,693.05	732,251.12	418,637.41	-	-	-	-
<b>Trigo</b>	491	310,965.03	481,283.11	648,259.35	477,959.04	-	-	-	-	-	-	-	123,381.43
<b>Avena</b>	6	4,053.31	4,277.28	8,281.78	-	-	-	-	-	-	-	-	3,446.21
<b>Maíz</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Otros forrajes</b>	16	10,133.28	15,683.36	21,124.54	15,575.04	-	-	-	-	-	-	-	4,020.58
<b>Frutales</b>	77	42,264.22	44,599.56	69,314.90	109,549.44	127,283.19	136,805.13	167,309.60	161,874.41	127,719.90	113,201.09	-	35,933.90
<b>Subtotal</b>	<b>1,833.00</b>	<b>616,610.09</b>	<b>808,806.92</b>	<b>1,508,067.10</b>	<b>1,586,707.20</b>	<b>1,554,358.63</b>	<b>2,007,682.30</b>	<b>2,912,798.74</b>	<b>2,441,579.51</b>	<b>1,393,395.30</b>	<b>675,260.35</b>	<b>255,892.56</b>	<b>394,949.80</b>
<b>Total</b>													<b>16,156,108.49</b>

### VOLUMEN REQUERIDO PARA EL EJIDO COL. ESPERANZA

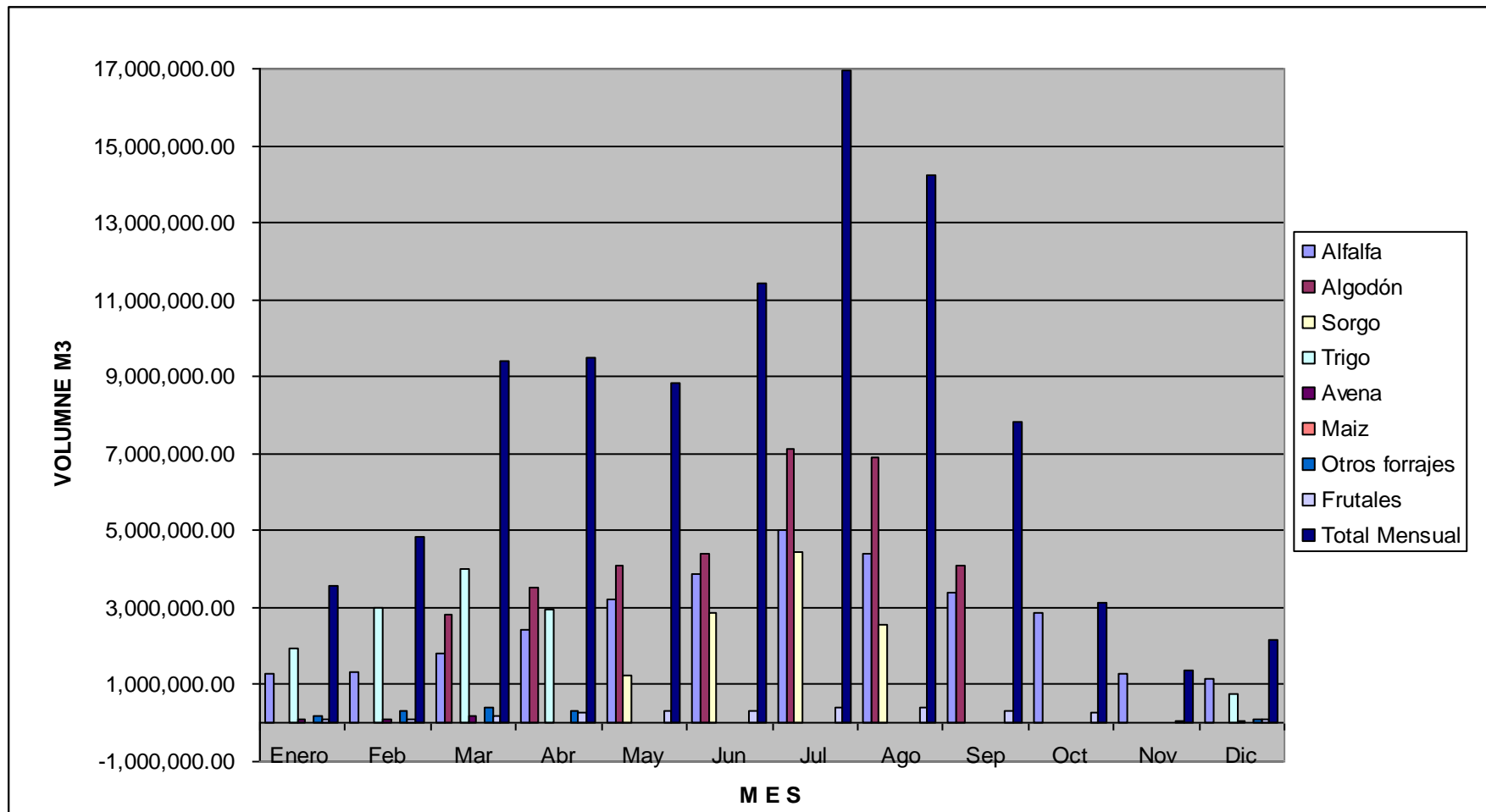
CULTIVO	MES	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Alfalfa</b>	46	25,248.76	26,643.89	35,887.71	48,222.72	64,033.10	77,426.28	99,951.19	87,912.9	68,268.60	56,948.74	25,927.44	23,118.31
<b>Algodón</b>	1081	-	-	973,116.20	1,214,179.20	1,410,705.00	1,516,318.70	2,455,599.60	2,375,821.8	1,415,569.50	-	-	-
<b>Sorgo</b>	208	-	-	-	-	126,674.18	291,751.20	451,953.22	258,387.5	-	-	-	-
<b>Trigo</b>	174	110,199.42	170,556.54	229,729.38	169,378.56	-	-	-	-	-	-	-	43,723.76
<b>Avena</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Maíz</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Otros forrajes</b>	31	19,633.23	30,386.51	40,928.80	30,176.64	-	-	-	-	-	-	-	7,789.87
<b>Frutales</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>	1,540.00	155,081.41	227,586.94	1,279,662.09	1,461,957.12	1,601,412.29	1,885,496.18	3,007,504.01	2,722,122.2	1,483,838.10	56,948.74	25,927.44	74,631.94
<b>Total</b>													13,982,168.43

En la siguiente tabla se puede observar que los cultivos que mas volumen de agua requieren son la Alfalfa y Algodón, así mismo muestra que los meses de mayor demanda son Junio, Julio y Agosto, de la misma manera se puede observar el volumen total para la superficie considerada de proyecto.

### VOLUMEN TOTAL REQUERIDO PARA EL DISTRITO DE RIEGO MENSUAL Y ANUAL POR CULTIVO

CULTIVO	MES	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Alfalfa</b>	2298	1,261,340.03	1,331,036.07	1,811,864.19	2,409,039.36	3,198,871.15	3,858,339.49	4,993,213.90	4,391,822.70	3,410,461.80	2,844,960.77	1,295,244.72	1,154,910.46
<b>Algodón</b>	3137	-	-	2,830,394.40	3,523,478.40	4,093,785.00	4,399,097.50	7,126,009.20	6,894,498.60	4,107,901.50	-	-	-
<b>Sorgo</b>	2042	-	-	-	-	1,243,599.44	2,843,576.67	4,436,963.78	2,536,669.40	-	-	-	-
<b>Trigo</b>	3049	1,931,023.17	2,988,660.29	3,986,351.96	2,968,018.56	-	-	-	-	-	-	-	766,171.01
<b>Avena</b>	126	85,119.55	89,822.88	172,537.09	-	-	-	-	-	-	-	-	72,370.37
<b>Maíz</b>	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Otros forrajes</b>	322	203,932.26	315,627.62	422,703.48	313,447.68	-	-	-	-	-	-	-	80,914.09
<b>Frutales</b>	189	105,259.45	117,090.54	170,136.57	268,894.08	312,422.39	335,794.41	410,669.03	397,328.09	298,566.00	277,857.22	58,618.56	88,201.39
<b>Subtotal</b>	<b>11,163.00</b>	<b>3,586,674.46</b>	<b>4,842,237.40</b>	<b>9,393,987.68</b>	<b>9,482,878.08</b>	<b>8,848,677.98</b>	<b>11,436,808.08</b>	<b>16,966,855.91</b>	<b>14,220,318.78</b>	<b>7,816,929.30</b>	<b>3,122,817.98</b>	<b>1,353,863.28</b>	<b>2,162,567.32</b>
<b>Volumen Total (M<sup>3</sup>)</b>													<b>93,234,616.24</b>

En la siguiente grafica se observa que los meses de Junio, Julio y Agosto es cuando se tiene la mayor demanda de agua, así mismo se puede observar que durante los meses de Octubre a Enero se presenta la menor demanda.



La capacidad del sistema de riego. De acuerdo con la evapotranspiración de referencia, el requerimiento de riego máximo obtenido es de 7.33 mm/día, sin embargo cabe mencionar que en este método no se toman en cuenta las variables de cultivo ni de precipitación.

Por lo que es conveniente considerar un requerimiento menor, el cual se considero de 6.0 mm/día, ya que si se tomara en cuenta el valor máximo obtenido se tendrían gastos mayores del sistema (Qs), esto sin que se vea afectado y sin estresar al cultivo.

Así mismo, de los valores esperados de desempeño por tecnificación, se considera una eficiencia de aplicación del 65 %, de conducción del 98 %, considerando la aplicación del riego durante las 24 horas del día y todos los días del ciclo del cultivo.

Con la información antes citada se determinaron las capacidades necesarias para cada uno de los sistemas (Gastos) de riego requeridos para el Distrito, para una superficie de riego de 11,107 ha, superficie media establecida de los últimos años.

Para la tecnificación del Distrito, el área considerada fue dividida por Ejidos mediante bombes directos y áreas dominadas por bordos de almacenamiento como se indica a continuación:

Bombes	Superficie a Tecnificar (AT) (ha)		
Bombeo San Isidro	728.0,	Bombeo San Agustín	482.0
Bombeo Jesús Carranza,	350.0,	Bombeo Tres Jacales	220.0
Bordo Juárez y Reforma	1,160.0,	Bombeo Guadalupe, D. B.	1,280.0
Bordo el Mimbres	2,077.0,	Bordo Rafael Carreón	1,050.0
Bordo Colonia Esperanza	2,260.0,	Bordo El porvenir	1,500.0

La superficie de la Unidad 1 se considera con mayor descarga para flexibilizar aun más el riego en esa zona.

Para determinar las capacidades para cada uno de los sistemas antes citados, se realizó el siguiente cálculo que se muestra como ejemplo, el caso de Bombeo San Isidro.

$$AT = 728 \text{ ha, } E_a = 65 \%, E_c = 98 \%, E_g = 63.7 \%$$

$$RR_d = 6.0 \text{ mm/día, } HPD = 24 \text{ horas, } k = 277.8$$

$$Q_s = 277.8 \frac{6 * 728}{63.7 * 24} = 793.7 \text{ l/s}$$

De la misma manera se procedió al cálculo de las capacidades del sistema (Qs) para cada uno de los bombeos y Bordos de almacenamiento, considerando los parámetros de cálculo.

A continuación se presenta la capacidad del sistema para cada uno de los bombeos y bordos de almacenamiento.

LUGAR	ÁREA DOMINADA (Has)	GASTO DEL SISTEMA (lps)
Bombeo Zona Compacta Unidad 1	356	400
Bombeo San Isidro	728	794
Bombeo San Agustín	482	526
Bombeo Jesús Carranza,	350	382
Bombeo Tres Jacales	220	240
Bordo Juárez y Reforma	1,160	1,265
Bombeo Guadalupe, D. B.	1,280	1,396
Bordo el Mimbres	2,077	2,265
Bordo Rafael Carreón	1,050	1,145
Bordo Colonia Esperanza	2,260	2,464
Bordo El porvenir	1,500	1,526

Ya se mencionó que la zona compacta de la Unidad 1, tiene su diseño específico y se presentará en su (ante) proyecto ejecutivo.

El gasto obtenido es suficiente para cumplir con los requerimientos de riego máximos que se presenten durante la temporada de máxima demanda y así poder satisfacer las necesidades hídricas para cada uno de los cultivos.

Para lograr la eficiencia propuesta del 65% se recomienda la nivelación parcelaria y capacitación a los usuarios en el manejo del agua a nivel parcelario, esto con el fin de lograr que la mayoría de los productores consigan la eficiencia propuesta en proyecto, como consecuencia se tendrá una eficiencia global más alta.



Los parámetros del suelo utilizados para la obtención de la lámina neta se obtuvieron tomando en consideración el promedio de texturas, el área del proyecto fue dividida en dos clases de texturas, mismas que a continuación se mencionan sus propiedades volumétricas:

Franco Arcillosa:  $\theta_{cc} : 0.28 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ,  $\theta_{pmp} : 0.17 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , Franco :  $\theta_{cc} : 0.25 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ,  $\theta_{pmp} : 0.13 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

En la Tercera Unidad, Ejido San Isidro hasta Juárez y Reforma se utilizaron los mismos parámetros de suelo (Franco Arcillosa), de Guadalupe, D.B., a Colonia Esperanza (Franco). Con los parámetros anteriores se procedió al cálculo de la lámina de riego neta para los dos tipos de texturas, estas fueron obtenidas con la ecuación siguiente, utilizando los parámetros de almacenamiento y de retención de humedad del suelo, considerando que es el riego de germinación para una profundidad de mojado de 80 cm. Franco :  $L_n = Pr (\theta_{cc} - \theta_{pmp})$ ,  $L_n = 80 \text{ cm} (0.33-0.19)$ ,  $L_n = 11.2 \text{ cm}$ . La lámina bruta ( $L_b$ ) para una eficiencia global ( $E_g$ ) del 63.7 % es igual a:  $L_b = L_n/E_g = 8.8 \text{ cm} / 0.637 = 17.58 \text{ cm}$ .

El intervalo de riego crítico (IRc) se obtiene para la lámina de riego fácilmente aprovechable ( $11.20 \text{ cm} * 0.76 = 8.51 \text{ cm}$ ), para  $f = 0.76$ . Se obtiene un IRc de 14.18 días, para un requerimiento de riego diario máximo de 6.0 mm/día.

Franco Arenosa:  $L_n = Pr (\theta_{cc} - \theta_{pmp})$ ,  $L_n = 80 \text{ cm} (0.25-0.13)$ ,  $L_n = 9.6 \text{ cm}$ . La lámina bruta ( $L_b$ ) para una eficiencia global ( $E_g$ ) del 63.7 % es igual a  $L_b = L_n/E_g = 9.6 \text{ cm} / 0.637 = 15.0 \text{ cm}$ . El intervalo de riego crítico (IRc) se obtiene para la lámina de riego fácilmente aprovechable ( $9.6 \text{ cm} * 0.76 = 7.30 \text{ cm}$ ), para  $f = 0.76$ . Se obtiene un IRc de 12.16 días, para un requerimiento de riego diario máximo de 6.0 mm/día.

El Factor de abatimiento ( $f$ ) que se está considerando es un promedio para el padrón de cultivos que se tiene en el distrito.

Bombeo San Isidro. Utilizando los parámetros del suelo se tienen los siguientes resultados para este ejido. Eficiencia global de 63.7% para sistemas a baja presión se tiene que para aplicar una lamina neta de 11.2 cm se requiere una lamina bruta de 17.58 cm. El bombeo San Isidro tiene 728 has, considerando un gasto de 794 lps, se requiere de un tiempo de operación de 14.56 días, regando las 24 horas del día. Se garantiza con esto cubrir el 97 % de la superficie total dentro del intervalo de riego crítico, ya que es muy poco probable que toda el área considerada se encuentre sembrada al 100 % al mismo tiempo, por lo que se garantiza que los cultivos no tengan problemas de estrés hídrico. Con un gasto modular de 60 lps el tiempo total requerido para regar 1 ha con una lámina bruta de 17.58 cm, es de 5.76 horas.

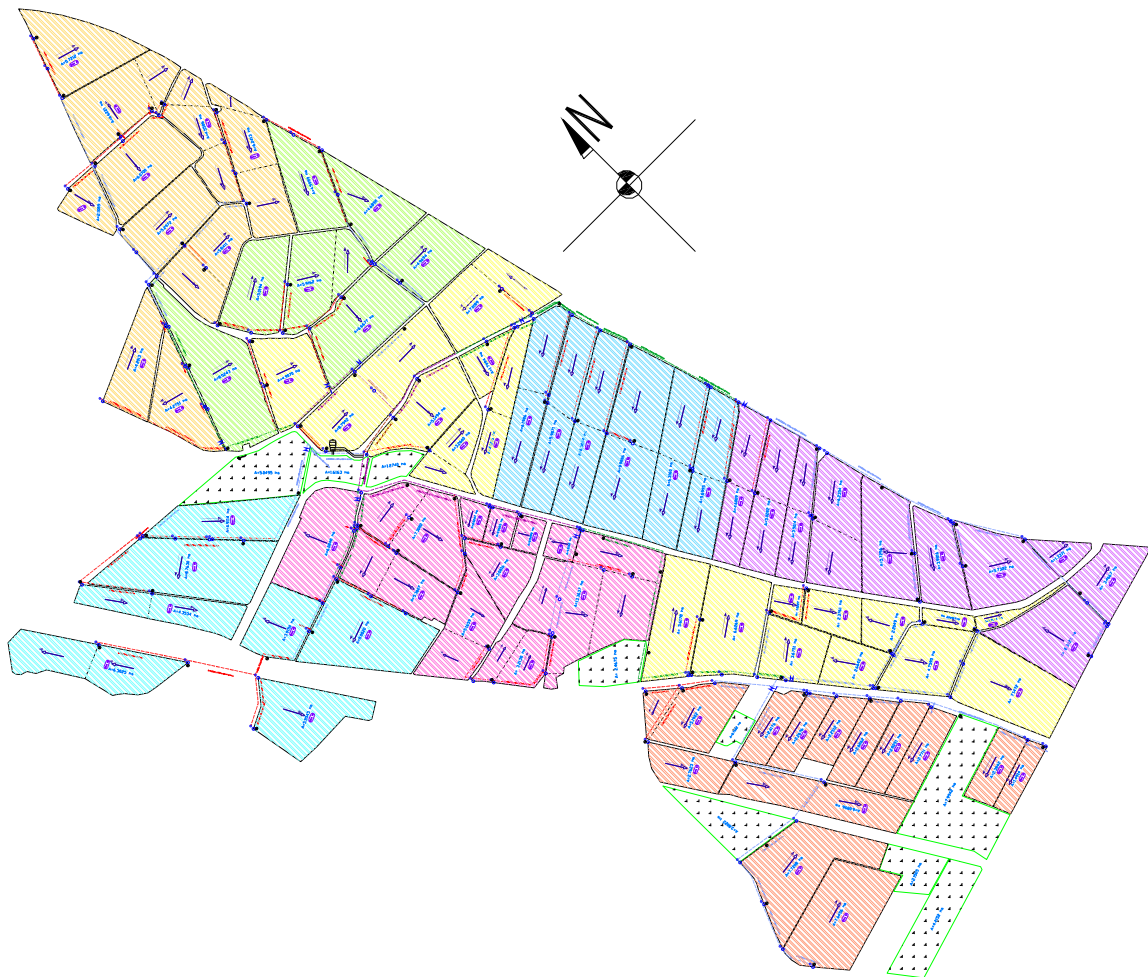
Los cálculos de todos los resultados anteriores se realizaron para cada uno de los bombeos de los ejidos así como para cada uno de los bordos de almacenamiento, enseguida se presenta un resumen de los resultados que se obtuvieron para cada uno de ellos.

**Diseño agronómico** .Ubicación de los hidrantes. La ubicación de los hidrantes en cada una de las parcelas se realizó considerando los puntos más altos de las mismas, dejando al menos un hidrante por parcela, aumentando el número de hidrantes en función de la superficie de la parcela y en función de la longitud de surcos y melgas para indicar la movilidad de las tuberías multicompuertas y así garantizar el trazo del riego por gravedad óptimo. La dirección de riego ya está definida para la mayoría de las parcelas, información obtenida directamente de campo. En el plano general se indica la dirección del riego.

En los planos se distingue la información como se muestra a continuación para un bombeo en línea y para un bordo de almacenamiento.

## Ejemplos de sistemas tecnificados

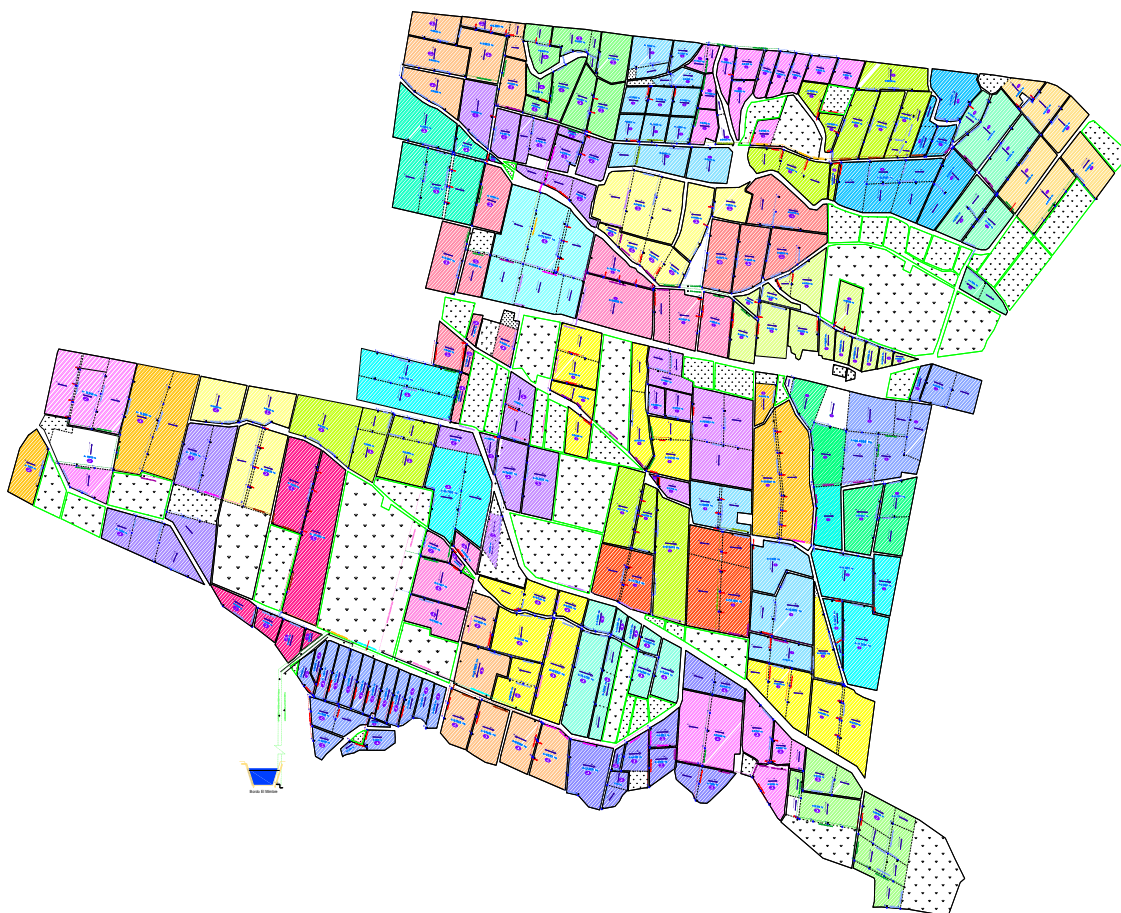
**BOMBEO SAN AGUSTIN.** En el plano general del bombeo San Agustín se pueden apreciar las secciones de riego en que fue dividido. Las mismas se diferencian por los diferentes colores que se aprecian en el plano, en base al gasto total necesario para el sistema.



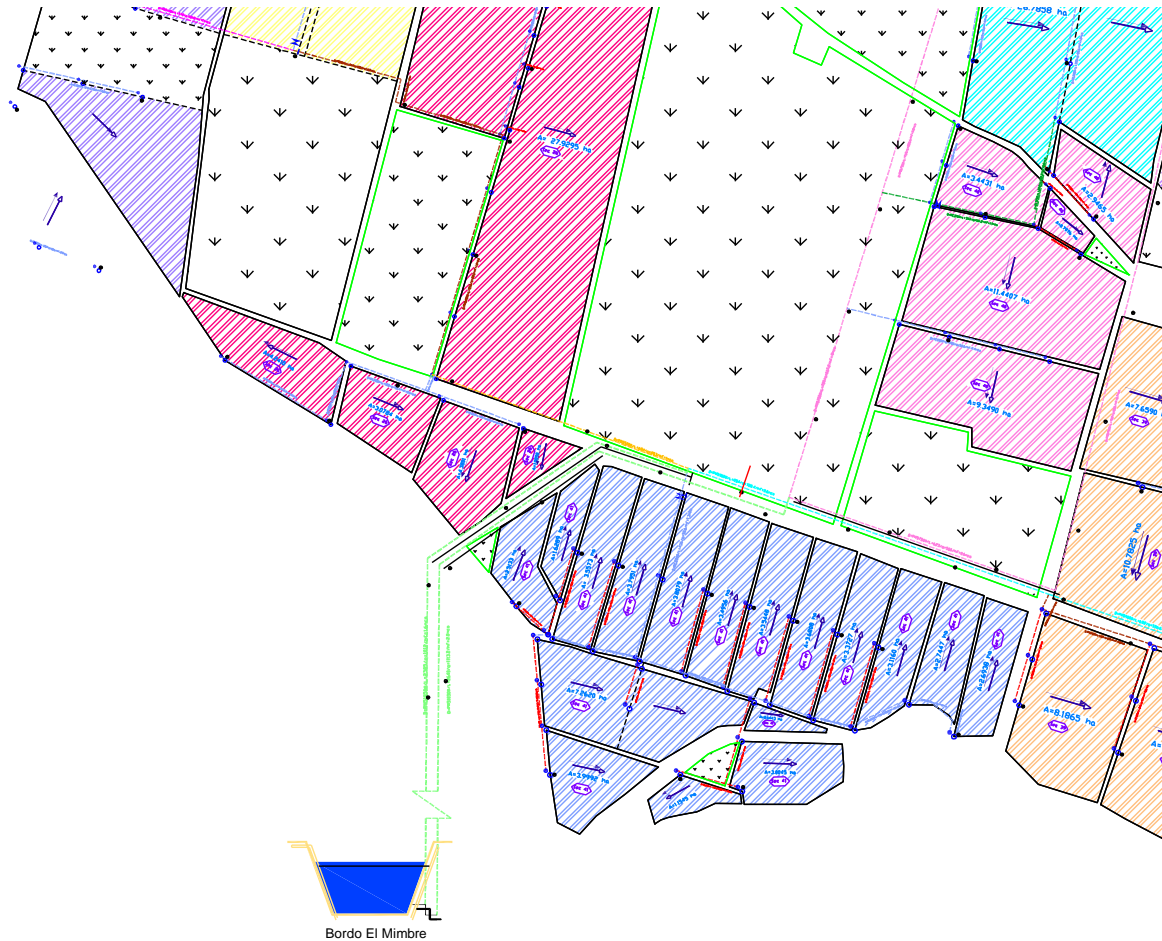
Se observa el sentido del riego para cada sección y de igual forma se pueden determinar las partes que se encuentran ociosas. En el plano se presenta la localización del equipo de bombeo, la localización de los hidrantes en las partes más altas de las parcelas y por último se aprecian las líneas de conducción principales y laterales las cuales se diferencian por los diferentes colores con los que se presentan para cada uno de los diámetros para una superficie total de 482 ha.

BORDO EL MIMBRE. En el plano general del Bordo el mimbre se observan las secciones en las que fue dividido el sistema (superficie de proyecto), las cuales son de 50 ha aproximadamente. Las direcciones de riego como se pueden observar son en sentido con pendiente a favor, los hidrantes se localizan en las partes más altas y además se presentan las válvulas de aire cada 250 metros de separación para garantizar las salidas y entradas de aire a las tuberías, las cuales se presentan de diferente color para cada uno de los diámetros.

El total de secciones para el bordo el mimbre es de 42 para sumar una superficie de 2077 ha, las cuales serán irrigadas en su totalidad con dicho bordo. En los Bordos no se están considerando las zonas que se encuentran ociosas.



Y a mayor detalle.



En futuros trabajos parcelarios de nivelación de tierras es importante que la misma dirección del riego se conserve, con la finalidad de facilitar la aplicación del riego con la ubicación de los hidrantes que se está proponiendo, ya que si se decidiera cambiar el sentido del riego aumentarían los costos de nivelación.

## Costos totales y por hectárea

En la siguiente tabla se presentan los costos totales y referidos a hectárea, estos incluyen evidentemente los costos de la red de distribución en tubería PVC hasta llegar al bordo de almacenamiento o a la estación de bombeo en línea.

El costo total es del orden de 402 Millones de pesos teniendo un costo promedio por hectárea de 30.8 mil pesos en orden de magnitud, para un total de 11502 hectáreas.

Por las necesidades particulares de topografía de cada parcela, la nivelación se planteo únicamente a nivel de términos de referencia, además de ser un costo relativamente bajo por ser un valle plano (se consideró en promedio \$ 8,000/ha bajo consulta con las asociaciones de

usuarios). Toda superficie tecnicada debe ser nivelada. El costo total es del orden de 99 Millones de pesos.

LUGAR	ÁREA DOMINADA (Has)	GASTO DEL SISTEMA (Ips)	Costo Total	Costo/Ha
Zona compacta U-1	355	400	\$ 7,265,962.11	\$ 20,467.50
Unidad 2 y 3				
Bombeo San Isidro	728	794	\$ 20,795,221.19	\$ 28,564.86
Bombeo San Agustín	482	526	\$ 10,622,828.15	\$ 22,039.06
Bombeo Jesús Carranza,	350	382	\$ 8,221,031.74	\$ 23,488.66
Bombeo Tres Jacales	220	240	\$ 4,921,479.08	\$ 22,370.36
Bordo Juárez y Reforma	1,160	1,265	\$ 57,039,855.55	\$ 49,172.29
Bombeo Guadalupe, D. B.	1,280	1,396	\$ 27,556,270.98	\$ 21,528.34
Bordo el Mimbres	2,077	2,265	\$ 74,687,626.65	\$ 35,959.38
Bordo Rafael Carreón	1,050	1,145	\$ 41,436,499.24	\$ 39,463.33
Bordo Colonia Esperanza	2,300	2,464	\$ 104,136,616.82	\$ 45,276.79
Bordo El porvenir	1,500	1,526	\$ 45,453,355.21	\$ 30,302.24
Total	11502.0	12403.0	\$402,136,746.71	\$ 338,632.81
promedio	1045.6	1127.5	\$ 36,557,886.06	\$ 30,784.80

Nivelación	Unidad
Resto Unidad 1	908
Total Baja Presión	11502.0
Total	12410.0
costo/Ha	\$ 8,000.00
Costo total	\$ 99,280,000.00

Incluyendo toda la superficie a nivelar de la Unidad 1, se tienen 12,410 ha. La tecnicación en su conjunto da un total de \$ 501.4 Millones de pesos.

Los ante-proyectos ejecutivos se presentan en carpetas con componente de generalidades, términos de referencia para su licitación, planos generales, planos constructivos y en su caso de detalles y planos unifilares.

## Conclusiones parciales

Se cuenta con 11 proyectos de estaciones de bombeo con un costo del orden de 111.2 Millones de pesos, los mismos se identificaron como bombeos en línea si llevan al agua del canal a la parcela y como bombeos de bordos de almacenamiento si bombean el agua a dicho almacenamiento.

Para el diseño de bordos de almacenamiento se contó con el apoyo de MDE, y su proyecto se considera durable (cortina de corazón de arcilla y enrocamiento), impermeable (tendido de geomembrana), con obra de entrada de agua, obra de toma y vertedero de demasías, con un costo de 3, 101 Millones de pesos.

La conducción de entrega y salida de agua a los bordos de almacenamiento constituyó un costo de 145.3 Millones de pesos.

Se cuenta con carpetas de proyectos de baja presión y distribución del agua para una superficie de 11,147 has en la segunda y tercera unidades, con 356 ha compactas en la unidad 1. Se propuso, en términos de referencia, la nivelación de de 12, 410 ha. El costo asciende a un orden de 501.4 Millones de pesos. Todos los proyectos se presentan en carpetas. En todos los casos se organizan, incluyendo documentos de diseño, términos de referencia con fines de licitación y planos constructivos y de detalles.

El costo total de la tecnificación del DR 009 es del orden de \$ 3859.2 Millones de pesos.

## Desalación del agua del acuífero somero con energía solar y agricultura intensiva

La agricultura intensiva con plasticultura se realiza con base en tecnología de macrotunel, casa-sombra e invernadero. Estos últimos se clasifican para su uso en clima tropical, templado o cualquier clima (clima con extremos de mucho calor en verano y mucho frío en invierno).



Las aplicaciones de tecnología resuelven el problema de calor excesivo mediante incremento de la protección a la radiación solar, de aumento de volumen del invernadero e instalación de tecnología en refrigeración y ventilación, mientras que al problema del frío excesivo se destinan esfuerzos en ingeniería de calefacción y ventilación, disminución de volumen e incremento de mayor protección para evitar el escape del calor pero facilitando la entrada de radiación.

Toda tecnología en plasticultura permite en diferentes grados de avance el trazo y sistema de riego con base en uso de acolchado e hidroponía, regularmente contienen mallas antiáfidos en cubiertas y perímetro, sistemas de tutoreo para la ventilación y erguimiento de la planta y sostén en el aire del fruto, sistemas de ferti-riego, pantalla de sombreo, sistema de nebulización, sistemas de refrigeración-calefacción (muros húmedos) y ventilación (diversos tipos de ventanas) manuales o automáticos.

Si la calidad del agua es buena se asocia a cultivos como fresa, zarzamora, frambuesa, arándano, flores, nopales y plantas de ornato, tomates, pepinos, pimiento, berenjena, melones, chiles, lechugas, flores, plantas de follaje y ornato.

Para disminuir los altos costos de operación en términos de refrigeración en verano y calefacción en invierno, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua propuso modificar la altura común del invernadero cenital para agregar una pantalla térmica (doble) y disminuir ligeramente el volumen sobre la vertical del invernadero en invierno y agregar calefacción mediante intercambio de calor con el agua salobre (20 °C en proveniente de pozo y subsuelo) con aire invernal. En el verano extremo seguir realizando dicho intercambio de calor entre el agua y el aire y eliminar la doble pantalla térmica agrandando el volumen en la vertical del invernadero.

La escasa disponibilidad de agua (de buena calidad para el riego presurizado) impulso la idea de desalar el agua del subsuelo agrícola del valle de Juárez, en el sentido de “no hay agua más cara que la que no se tiene”. El agua del acuífero superficial es salobre y tiene altas restricciones para su uso directo en la agricultura, situación que a su vez la hace poco explotada y produce un problema de drenaje y agrava la salinidad de suelos agrícolas. La propuesta de desalación permite entonces dar utilidad al agua salobre con la que cuenta el DR 009.

El suministro de energía solar tiene una inversión inicial fuerte, sin embargo, la operación es económica para el usuario y se da sustentabilidad al desarrollo de la plásticultura en el valle de Juárez. La energía solar es requerida para realizar la desalación mediante el proceso de ósmosis inversa.

La ósmosis inversa consiste en separar un componente de otro en una solución, mediante fuerzas ejercidas sobre una membrana semi-permeable. El solvente pasa espontáneamente de una solución menos concentrada a otra más concentrada, a través de la membrana.



Entre ambas soluciones existe una diferencia de energía, originada en la diferencia de concentraciones. El solvente pasará en el sentido indicado hasta alcanzar el equilibrio. Si se agrega a la solución más concentrada, energía en forma de presión, el flujo de solvente se detendrá cuando la presión aplicada sea igual a la presión osmótica aparente entre las dos soluciones.

Esta presión es una medida de la diferencia de energía potencial entre ambas soluciones. Si se aplica una presión mayor a la solución más concentrada, el solvente comenzará a fluir en el sentido inverso, por ello se denomina ósmosis inversa. El flujo de solvente es una función de la presión aplicada, de la presión osmótica aparente y del área de la membrana presurizada.

Los componentes básicos de una instalación típica de osmosis inversa consisten en un tubo de presión conteniendo la membrana, aunque normalmente se utilizan varios de estos tubos, ordenados en serie o paralelo.

Una bomba suministra en forma continua el fluido a tratar a los tubos de presión, y, además, es la encargada en la práctica de suministrar la presión necesaria para producir el proceso. Una válvula reguladora en la corriente de concentrado, es la encargada de controlar la misma dentro de los elementos.

Existen 3 configuraciones posibles de la membrana: la de elemento tubular, la de elemento espiral y la de elemento de fibras huecas. Más del 60% de los sistemas instalados en el mundo trabajan con elementos en espiral debido a 2 ventajas apreciables 1) buena relación área de membrana/volumen del elemento y 2) diseño que le permite ser usado sin dificultades de operación en la mayoría de las aplicaciones, ya que admite un fluido con una turbiedad más de 3 veces mayor que los elementos de fibra hueca.



En la actualidad estos elementos se fabrican con membranas de acetato de celulosa o poliamidas y con distinto grados de rechazo y producción. La disposición y cantidad de membranas se asocia a la eficiencia de transformación de agua salobre a agua dulce y salmuera, que varían del orden de 50% al 85% en aplicaciones de uso doméstico, industrial y agrícola.

A la vez dichos sistema permiten remover la mayoría de los sólidos (inorgánicos u orgánicos) disueltos en el agua (hasta el 99%). Se remueven los materiales suspendidos y microorganismos. Se realiza el proceso de purificación en una sola etapa y en forma continua. Se constituye en una tecnología extremadamente simple, que no requiere de mucho mantenimiento y puede operarse con personal no especializado. El proceso se realiza sin cambio de fase, con el consiguiente ahorro de energía.

Es modular y necesita poco espacio, lo que le confiere una versatilidad excepcional en cuanto al tamaño de las plantas: desde 1 m<sup>3</sup>/día, a 1.000.000 m<sup>3</sup>/día.

La osmosis inversa puede aplicarse en un campo muy vasto y entre sus diversos usos podemos mencionar: a) abastecimiento de aguas para usos industriales y consumo de poblaciones, b) tratamiento de efluentes municipales e industriales para el control de la contaminación y/o recuperación de compuestos valiosos reutilizables, c) en la industria de la alimentación, para la concentración de alimentos (jugo de frutas, tomate, leche, etc.), d) en la industria farmacéutica, para la separación de proteínas, eliminación de virus, etc, además se han efectuado numerosas experiencias para concentrar y purificar líquidos y gases.

Las aplicaciones más difundidas son las que se tratan a continuación.

## Rechazo de Membranas

Inorgánicos

Cationes			Aniones		
Nombre	Símbolo	%Rechazo	Nombre	Símbolo	%Rechazo
Sodio	Na+	94-96	Cloruro	Cl-	94-95
Calcio	Ca++	96-98	Bicarbonato	HCO <sub>3</sub> -	95-96
Magnesio	Mg++	96-98	Sulfato	SO <sub>4</sub> -	99+
Potasio	K+	94-96	Nitrato	NO <sub>3</sub> -	93-96
Hierro	Fe++	98-99	Fluoruro	F-	94-96
Manganeso	Mn++	98-99	Silicato	SiO <sub>2</sub> -	95-97
Aluminio	Al+++	99+	Fosfato	PO <sub>4</sub> -	99+

Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	88-95	Bromuro	Br <sup>-</sup>	94-96
Cobre	Cu <sup>++</sup>	96-99	Borato	B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> <sup>-</sup>	35-70**
Níquel	Ni <sup>++</sup>	97-99	Cromato	CrO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	90-98
Estroncio	Sr <sup>++</sup>	96-99	Cianuro	CN <sup>-</sup>	90-95**
Cadmio	Cd <sup>++</sup>	95-98	Sulfito	SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	98-99
Plata	Ag <sup>+</sup>	94-96	Tiosulfato	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	99+
Arsénico	As <sup>+++</sup>	90-95	Ferrocianuro	Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>-</sup>	99+

Para aplicaciones agrícolas es importante eliminar todos los aniones y cationes pero en particular los cloruros, sulfatos, carbonatos, nitratos, sílice y ferrocianuros por el taponamiento de las membranas (evitarlos).

#### Orgánicos

Nombre	Peso Molecular	%Rechazo
Sucrosa	342	100
Lactosa	360	100
Proteínas	Mayor 10.000	100
Glucosa	198	99,9
Fenol	94	93-99**
Acido Acético	60	65-70
Tinturas	400 a 900	100
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	-----	90-99
Demanda química de oxígeno (COD)	-----	80-95
Urea	60	40-60
Bacterias y Virus	5.000-100.000	100
Pirógenos	1.000 - 5.000	100

\*\* Depende del pH.

Para aplicaciones agrícolas es importante eliminar todos los compuestos orgánicos, pero en particular bacterias y virus, es natural que se pueda evitar la presencia en el agua de grasas y aceites ya que van a taponar las membranas.

Las ventajas de la ósmosis inversa es que en términos generales es un procedimiento simple. Los costos de instalación son bajos. Las plantas de producción que emplean ósmosis inversa generalmente tienen una alta eficiencia. El uso de energía para procesar agua salobre es del rango de 2 a 2.8 Kwh/m<sup>3</sup> de agua producida, por lo que es a la vez accesible a la instalación de sistemas con energía solar. Este proceso puede hacer uso de prácticamente cualquier tipo de agua sin importar su origen. Permite remover con cierta sencillez contaminantes orgánicos e inorgánicos. El impacto ambiental de este proceso es menor, es fácil de operar y lo puede realizar personal sin alta especialización.

Respecto a oportunidades de mejora es determinar alternativas para mejorar los materiales de las membranas que hagan más eficiente su propia limpieza pues el proceso es muy dependiente de ellas, a la vez generar dispositivos con procedimientos de auto limpieza de membranas para preservarlas mayor tiempo.

El único factor complicado es encontrar o producir un suministro limpio que minimice la limpieza frecuente de la membrana. El agua empleada usualmente necesita ser pre-tratada para remover inicialmente las partículas contaminantes y prolongar la vida de la membrana. Las plantas que requieran procesar el agua con este método deben garantizar la calidad de sus servicios, maquinaria y materiales mediante procesos de certificación.

Las debilidades de esta tecnología son el tratamiento del deshecho de la salmuera ya que su mal manejo puede impactar nocivamente el ambiente, se corre un riesgo de contaminación bacteriana en las membranas mismas y pueden introducir olores y sabores desagradables en el producto final. No obstante, al tomar en cuenta estas precauciones, la ósmosis inversa es de los métodos más aplicados en la desalación de aguas salobres.

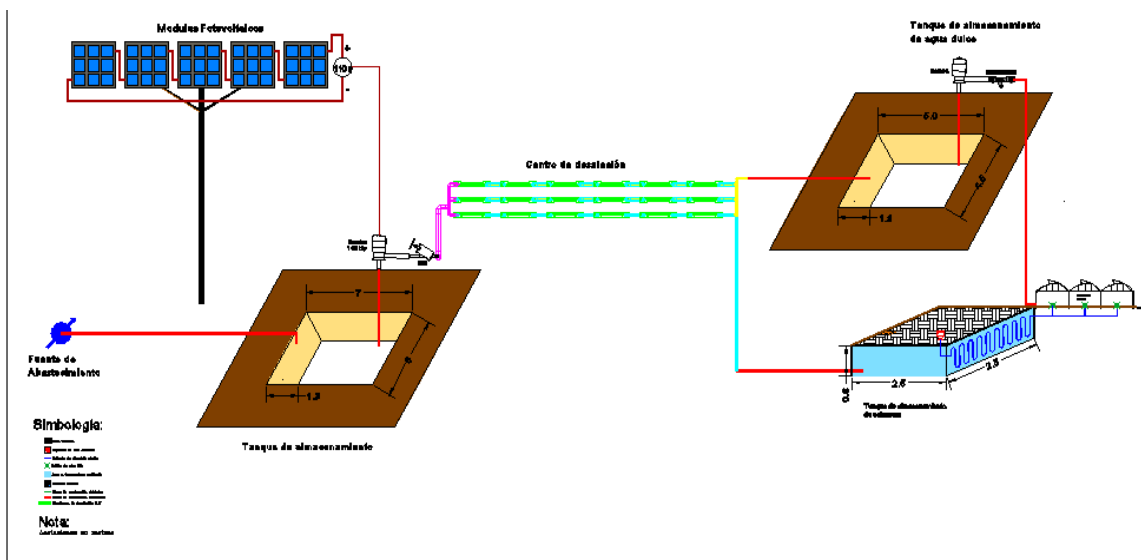
Una vez que la aplicación de ósmosis inversa presenta como ventajas una fácil operación y requerimientos de personal no necesariamente altamente capacitado, se optó por la energía solar debido a dos razones, a saber, i) la zona presenta una insolación de orden de 6.4 horas en los días más cortos y ii) aunque la inversión inicial es cara por la adquisición de los paneles solares, la operación de los mismos y la electricidad generada para operar la ósmosis inversa es relativamente baja lo que la hace sustentable desde el punto de vista del usuario agrícola y al ser una electricidad limpia se propicia el uso sustentable de la energía en el valle de Juárez.

El presente documento realiza una propuesta de instauración de superficies de agricultura intensiva para módulos de 500 m<sup>2</sup>, 1000 m<sup>2</sup>, 3000 m<sup>2</sup>, ½ ha y 1 ha con suministro de energía solar y manejo de agua salobre a través de ósmosis inversa para producir agua para riego, con eficiencias

que van del 50 al 80%, altamente tecnificado y presurizado orientadas a producir cultivos altamente rentables.

## Descripción de la propuesta tecnológica

La descripción de la adaptación de la tecnología se fundamenta a continuación. La energía solar a través de los paneles genera la electricidad (corriente y voltaje) requerida. La presión requerida por la bomba para garantizar el trabajo del sistema de ósmosis inversa (filtro de pre-tratamiento, pérdidas de conducción, presión requerida en las membranas y pérdidas de conducción a los tanques de almacenamiento de agua dulce y salmuera) determinan la potencia de la bomba y la cantidad de paneles solares necesarios para el suministro de energía, a la vez al menos 5 baterías son requeridas para el almacenamiento temporal de energía solar.



El sistema trabaja de la siguiente manera, a través del pozo del DR 009 ingresa el agua salobre a un depósito (de mayor almacenamiento que el volumen diario requerido por el invernadero), los paneles suministran a la bomba la energía necesaria para operar en la potencia requerida de suerte que el agua pasa por el filtro donde se eliminan impurezas que pueden afectar el desempeño de las membranas, luego de acuerdo con la eficiencia requerida (transformación de agua dulce sobre agua salobre que entró al sistema) así como el gasto diario a entregar, el agua circula a través de un sistema de membranas dispuestas en bloques en serie o paralelo según requerimiento.

El agua dulce que atraviesa las membranas, que de preferencia deben estar bajo la protección de una caseta suficientemente ventilada en los veranos de extremo calor, sale con una presión muy baja mientras que el agua salmuera preserva la presión relativamente alta. Por esta razón el agua en el almacenamiento de salmuera debe tener (sinequanon) al menos un metro de tirante de la misma para amortiguar la presión de salida de la tubería.

El almacenamiento de agua dulce debe tener una capacidad mayor al volumen requerido diario máximo por los cultivos del invernadero para proteger la disponibilidad en tiempos de

mantenimiento. El almacenamiento de agua salmuera sirve, como se muestra en la figura, para intercambiar el calor del aire con el del agua del pozo, que al provenir del subsuelo regularmente presenta una temperatura del orden de 20 °C. Esta temperatura y el proceso de intercambio de calor con un tubo de aluminio en desarrollo sinfín (ya que el cobre es fácilmente corrosible por el agua) permiten tanto en invierno (temperaturas inferiores a 12 °C) como en verano (temperaturas superiores a 33 °C) contribuir a la estabilidad de la temperatura ideal de producción de los cultivos, asociada con 22 °C para la gran mayoría de los mismos. Así para evitar el intercambio de temperaturas extremas con el agua salmuera, el almacenamiento debe estar bajo tierra y tener una losa proclive al aislamiento térmico.

El diseño eléctrico-solar permite a la vez dar alimentación a la bomba de intercambio de aire y a la asociada con el sistema de riego de alta presión ya que se dejaron en términos de carga, y potencia de bomba, la disponibilidad de 30 mca.

Esta propuesta de tecnificación del agua salobre es una respuesta a la frase “no hay agua más cara que la que no se tiene”, contribuye a una agricultura intensiva orientada a mercado, sustentable desde el punto de vista operativo por lo tanto desde el punto de vista del usuario, con mejoras en uso de energía, sistema de refrigeración y calefacción provenientes del medio materia, sobrada en términos de suministro energético para utilizarse en los sistemas de ventilación, riego y ferti-riego, a la vez que operación automática de dichos sistemas.

El usuario en función de la respuesta del sistema debe seguramente mejorar, los sistemas de filtración y la eliminación de grasas y aceites, evitar la presencia de compuestos con silicatos y férricos que taponan las membranas, incrementar la longitud del sinfín de aluminio para maximizar el intercambio de calor así como adaptas cortinas de aire y plantación de árboles, quitar o poner más barreras térmicas o más barreras de sombreado y maximizar el rendimiento de sus cultivos así como asegurar la venta de sus cosechas.

## Costos

Los costos se establecen en el siguiente cuadro.

<b>Superficie</b>	<b>Invernadero</b>	<b>Desaladora</b>	<b>Bombeo</b>	<b>Almacenamientos</b>	<b>Subtotal</b>	<b>Total (IVA)</b>
m <sup>2</sup>	\$ miles	\$ miles	\$ miles	\$ miles	\$ miles	\$ miles
500	275	133	107	95	610	708
1,000	550	209	182	102	1,043	1,210
3,000	1,650	229	424	131	2,434	2,823
5,000	2,750	216	582	146	3,694	4,284
10,000	5,500	288	943	192	6,923	8,030

En los documentos entregables se cuenta con una descripción general de la metodología utilizada, términos de referencia, con catálogo de conceptos y costos, y planos, plano general (ósmosis inversa incluida), plano de almacenamientos y plano del invernadero.

En una primera etapa de tecnificación en plasticultura se propone realizar una superficie del orden de 10 ha., que una vez dominada la tecnología debe crecer a 100 ha, y es recomendable que el costo de adquisición en desalación e invernadero sean concursables en el formato de fondo perdido, dejando al usuario su propia formación en el manejo y la operación del sistema desalación-invernadero (refrigeración-calefacción) mediante la metodología aquí propuesta. Dando una misma proporción de proyectos se tienen un costo total de:

Total de proyecto	Superficie	Superficie acumulada	costo total
Numero de proyectos	Tipo Ha	Ha	\$ Miles
6	500.00	3000	\$4,246.30
7	1,000.00	7000	\$8,469.16
5	3,000.00	15000	\$14,116.62
5	5,000.00	25000	\$21,422.30
5	10,000.00	50000	\$40,151.66
Total			\$88,406.04

## Conclusiones parciales

Se cuentan con ante-proyectos ejecutivos para realizar agricultura intensiva con agua desalada y energía solar. Los proyectos se presentan en carpetas con términos de referencia y planos con fines de licitación.

Las propuestas de tecnología incrementan su costo en función de la superficie a regar y van, en orden de magnitud, de 0.7 a 8 Millones de pesos actuales.

No obstante el costo, esta metodología es útil en situaciones similares a la presencia de agua con calidad físico-química del valle de Juárez, como puede ser el caso de Valle de Mexicali, Diferentes zonas de las Bajas, zona de Hermosillo-Guaymas, zona de Reynosa-Matamoros, Torreón-Gómez-Lerdo, norte de Zacatecas, Valles centrales de Coahuila, Valle de Juárez, Valle de Aldama en Chihuahua, Altiplano de San Luis Potosí-Guanajuato-Querétaro-Aguascalientes, Valle amplio de Ríoverde, S.L.P., entre muchos otros lugares desérticos y con agua salobre en general.

En particular con alguna presencia fuerte de algún elemento nocivo al desarrollo de cultivos de alta rentabilidad, como es el caso de la gran mayoría de acuíferos sobreexplotados, incluido el suministro de agua potable en caudales medios.

El costo de tecnología de desalación-invernadero es de 88.406 Millones de pesos por 10 hectáreas, por lo que para 100 ha es del orden de 884.06 Millones de pesos.

La suma total de la propuesta con la tecnología en desalación-invernadero en 10 ha es de 3947.60 Millones de pesos y al incluir las restantes 90 ha se obtendrá un costo total de \$ 4743.2 Millones de pesos.

# Estudio de acuíferos

Se determinaron los volúmenes históricos extraídos y se contó con información de características del acuífero (Bolsón del Hueco). Se obtuvo información de la política de operación e información de niveles freáticos de calibración del modelo hidrodinámico y se formuló el balance de agua subterránea. Se incorporó un análisis de las políticas de operación y de costos de bombeo y costos de sobre-explotación del acuífero.

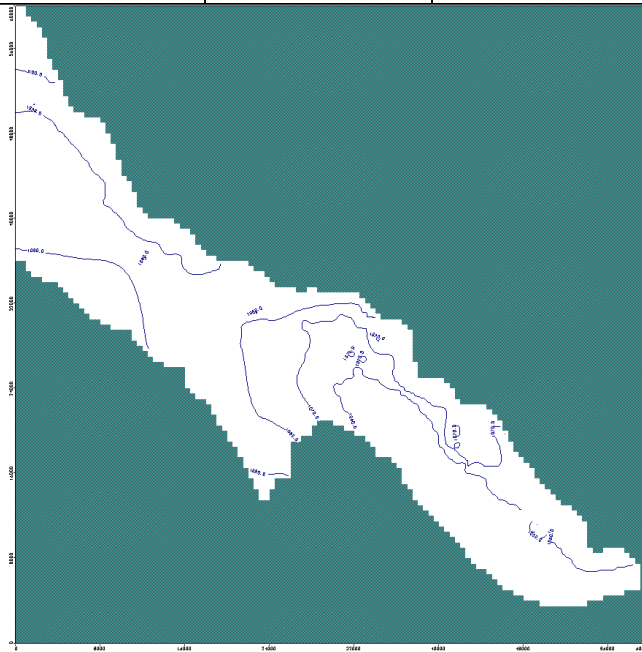
## Modelación de escenarios

Fue necesario realizar una caracterización del acuífero en base a información proporcionada con el organismo operador de agua potable (JMAS). Al realizar un análisis se obtienen las tendencias de consumo de agua en lt-día por habitante para fundamentar los escenarios de políticas de operación y de explotación de los acuíferos, principalmente del Bolsón del Hueco.

Se formularon dos escenarios para observar el impacto de la propuesta de tecnificación integral del DR 009.

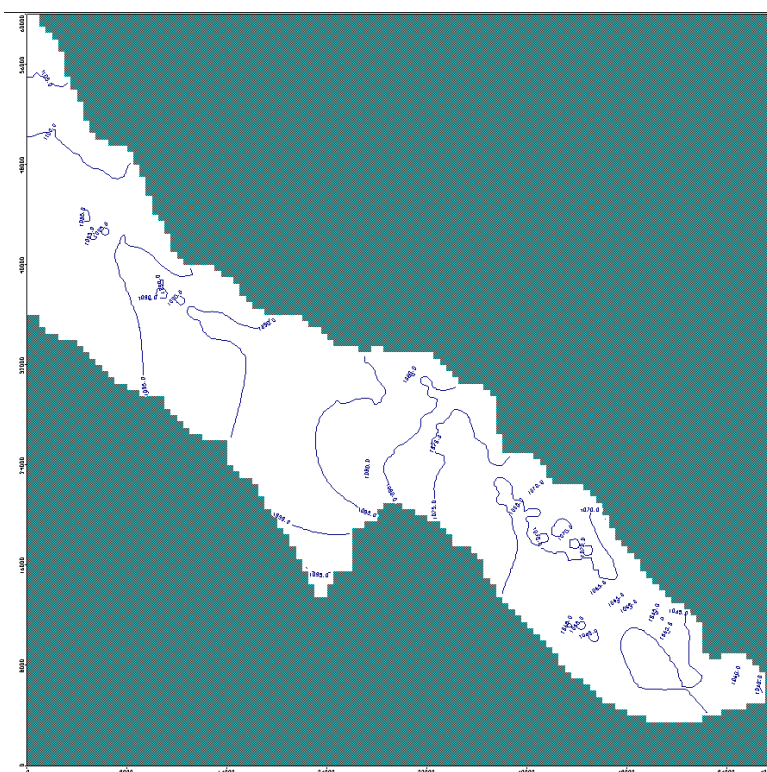
El primero fue denominado inercial que esencialmente modela una política de explotación del acuífero BH y repercute directamente en disminución del volumen de almacenamiento de 48 M m<sup>3</sup>, a la vez, se determina el balance de volumen referido al concesionario resultado un orden de 88 M m<sup>3</sup>, ambos resultado implican una sobreexplotación del mencionado acuífero.

Recarga Natural	Entradas Horizontales	Recarga Inducida	Salidas	Cambio de Almacenamiento
7.74	60.31	58.47	174.47	-47.94



En la gráfica se muestran los conos de abatimiento hacia la Ciudad y el potencial generado de los mismos en la disposición de la iso-líneas de nivel freático o isohipsas con gradiente tendiente hacia la ciudad, no obstante que el significado es sobreexplotación del acuífero.

En seguida se modeló el escenario denominado manejo integrado de acuíferos fundamentalmente para mostrar que esta es una política adecuada de operación que involucra acciones, respecto a la condición actual, de disminución de consumo de agua diario por habitante, aporte del agua de otros acuíferos cercanos a ciudad Juárez e incorporación del agua del tratado al consumo humano a cambio de tecnificar integralmente la zona agrícola para dar como resultado una recuperación pronta de las condiciones de estabilidad del BH.

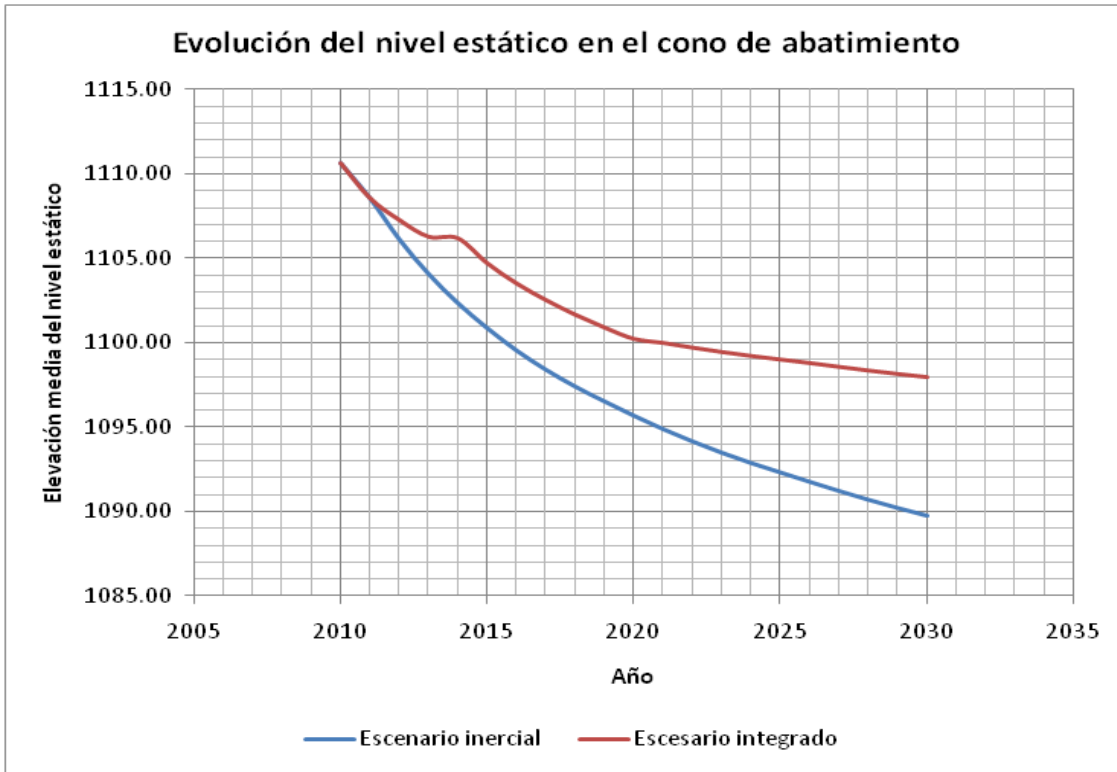


La gráfica muestra como el agua fluirá a través del BH en la misma dirección del drenaje natural, el propio Río Bravo, permitiendo mejorar la calidad físico-química de las aguas explotables para uso tanto agrícola como humano.

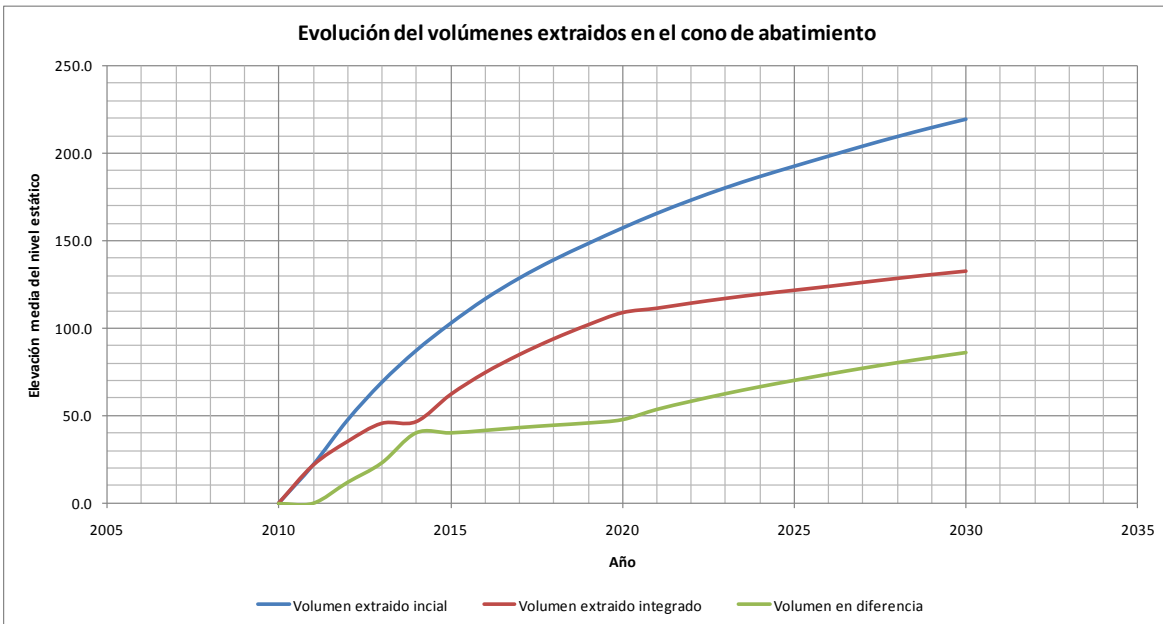
En la gráfica siguiente de muestra la evolución temporal del nivel estático, resultado de la modelación de los escenarios inercial y de manejo integrado, exclusivamente en el área del cono de abatimiento. A su vez, se estimó la superficie ocupada por el área del cono dando una magnitud entre los 9 -12 km<sup>2</sup>, la cual utilizaremos como valor medio de 10.5 km<sup>2</sup>, localizado al centro-sur de la Ciudad.

A partir de esta área estimada del cono de abatimiento se realiza una breve interpretación en términos de volumen. Se realiza el cálculo de volumen en el cono de abatimiento en términos los niveles estáticos y se observa como este se va extrayendo.





Al inicio del año donde se deja de bombear  $54 \text{ M m}^3$  y del volumen restante del manejo integrado de acuíferos, es claro el efecto se espera posterior en el tiempo debió a que el flujo en el medio poroso es lento. El volumen en diferencia aportaría rápidamente un volumen del orden de  $40 \text{ M m}^3$  al año 2014.



Luego, como se observa y de acuerdo con la política de extracción aporta más volumen en la recuperación del cono de abatimiento, aproximándose a los 90 M m<sup>3</sup>, hacia el año 2030.

Este comportamiento pone en evidencia que una política integrada de fuentes de abastecimiento provoca una rápida recuperación del acuífero BH.

## Costos de extracción y sobre explotación

El análisis de costos se enfoca a los costos de extracción en función del deducido nivel dinámico (medio) obtenido mediante modelación a lo largo de los años 2010-2030. El costo total de extracción solo por dejar de extraer el agua del tratado en la distribución propuesta es de \$ 3,585 Millones de pesos muy cercanos del costo total de la propuesta de tecnificación integral.

Año	Costo total en Millones de pesos
2012-14	484.38
2015-19	864.00
2020-24	920.70
2025-29	1086.00
2030	229.80
Total	3584.88

No obstante que el costo por sobreexplotación del acuífero BH rebasa los \$ 10,000.0 Millones de pesos en el mismo periodo, dando en conjunto un total de \$ 14,705 Millones de pesos. El documento relativo al estudio de acuíferos expone el procedimiento de cálculo de costos de sobreexplotación en términos de volumen.

## Conclusiones parciales

Los balances desarrollados para la zona de estudio indican que existe sobreexplotación en el acuífero del Valle de Juárez.

Se han modelado escenarios de explotación de los recursos de agua subterránea con alternancia en fuentes de almacenamiento, enfocando el análisis al impacto del intercambio de agua del tratado de 1906 para uso urbano a cambio de tecnificación.

El control de la extracción simulada para 20 años permitió observar que se tendría un impacto positivo en el control de los abatimientos del nivel estático y en la preservación del flujo del agua subterránea.

Los volúmenes aportados por los acuíferos de Conejos-Médanos y La Mesilla son de primordial importancia para abastecer la zona de Ciudad Juárez, ya que esto coadyuvaría hacia el equilibrio del Valle de Juárez (Bolsón del Hueco) y genera una política de recuperación rápida del acuífero BH. En la medida que se intensifique el reuso y la demanda de agua, mayor será la magnitud de las acciones de contingencia contra sequías y mayor será el impacto en su caso del volumen de

intercambio de uso. La política de operación del acuífero no debe ser función de la recarga esperada para el año en curso, sino del almacenamiento y la calidad del agua.

El escenario inercial no ofrece condiciones para un desarrollo sustentable, por lo tanto, la propuesta de tecnificación debe ser llevada a cabo.

El costo total que aporta, en términos de extracción y sobreexplotación, el intercambio del agua del tratado por tecnificación es del orden de \$ 14,705 Millones de pesos, que de extracción representan en el periodo 2012-2030, la cifra de \$ 3,584.88 Millones de pesos, es decir, equiparable al costo de la tecnificación.

El costo total de la propuesta de tecnificación (caso 10 ha) representa el 26.85%, caso 100 ha (32.26), del costo ahorrado por el aporte del agua del tratado en términos de extracción y sobre explotación del acuífero. Sin contar con el propio beneficio de la tecnificación.

El abatimiento que causa la sobreexplotación, es un fenómeno irreversible de no llevar a cabo acciones para la preservación del acuífero.

Se recomienda llevar a cabo las acciones propuestas en este estudio, de tal manera que se busque un equilibrio del acuífero a mediano y largo plazo, ya que si tomamos en cuenta el valor de la escasez del agua está muy por encima de costo de las acciones que protejan el recurso hídrico.

Se recomienda llevar a cabo programas de monitoreo del acuífero, tanto en niveles piezométricos como en calidad del agua. Se recomienda establecer programas de reducción de consumo del agua para el uso público urbano.

De estudios isotópicos (Eastoe et al, 2007) desarrollados en la zona de estudio se llegó a estimar que hasta un 30% del agua potable de las Ciudades de El Paso y Juárez se infiltran al acuífero. Por lo que se espera algo similar para el retorno de riego que tiene un agua de calidad físico-química muy pobre, lo que por un lado significa recarga por otro lado significa contaminación del acuífero con aguas residuales. Por lo que se recomienda llevar a cabo una simulación de transporte de solutos para evaluar las acciones concretas de calidad del agua.



## Recomendaciones sobre el uso de agua residual

El agua de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales presenta limitantes de ligeras a moderadas para riego agrícola principalmente por a) conductividad eléctrica (CE) que se encontró en un rango de 1300 a 1910 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), y salinidad de 768 ppm Y 896 ppm, lo que puede afectar el rendimiento cultivos sensibles a la salinidad, b) presenta limitantes por contenido de grasas y aceites, donde el efluente de la planta norte registró en promedio 21.37 mg/L., mientras que la planta sur registró un promedio de 30.32 mg/L, no logrando cumplir con los límites que establece la NOM-001-SEMARNAT-96 que es de 15 mg/L para el promedio mensual y 25 mg/L para el promedio diario, aplicable para embalses naturales o artificiales con uso en riego y para suelos agrícolas.

Es conveniente que se inste a la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Juárez a revisar y supervisar el funcionamiento de las trampas de grasas y aceites en la ciudad (en establecimientos cuyo giro sea la elaboración de alimentos, talleres automotrices, industria maquiladora, etc.) y en su caso se mejore su eficiencia, a la par de establecer y/o adecuar las trampas de grasas y aceites en las plantas de tratamiento a fin de poder cumplir con los límites que establece la normatividad vigente.

La actividad más degradante de esta componente se refleja en el evidente daño que se provoca a los mecanismos de las compuertas en los canales, dificultad del mantenimiento del dren interceptor y de los canales de llamada de reuso del agua residual, así como el daño a la permeabilidad de los suelos agrícolas. Las capas de grasa y materia orgánica sobre los cultivos a edad temprana dificultan su crecimiento y concentran el efecto nocivo de la radiación y la propia grasa (“brea”) pudiendo llegar a quemar los cultivos emprendidos, además de alterar considerablemente la permeabilidad de los suelos agrícolas, disminuyendo con ello el intercambio de oxígeno y nutrientes en las plantas, causando a su vez problemas de drenaje subsuperficial.

En cuanto a coliformes fecales, los efluentes de las plantas de tratamiento Norte y Sur, rebasaron en casi cuatro órdenes de magnitud los límites establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-96 que establece  $1 \times 10^3$  para el promedio mensual por lo que se considera el principal limitante para el re-uso de éstas agua en agricultura ya que representan un alto riesgo para la salud humana y para la propia agricultura. La fungosis y bacteriosis producto de la contaminación provocan marchitez, pudrición de raíces y frutos, entre otros, afectando el rendimiento de los cultivos establecidos.

Existe un alto riesgo de salud pública y agronómica que implica la utilización de aguas negras sin tratamiento (rebasada la capacidad de la planta sur) y aguas residuales tratadas provenientes de un sistema de tratamiento primario (plantas Norte y Sur) de tal manera que es recomendable para la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Juárez completar el tratamiento primario para todo el caudal residual y pasar en el futuro inmediato a un tratamiento secundario avanzado, que garantice una mejor calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua residual en su uso para riego.

En virtud de la baja calidad bacteriológica del agua se considera necesario que se promuevan programas de salud entre jornaleros y regadores, ganaderos, que la alimentación del ganado pase por manejo de corte previo y oreado al sol para reducir problemas sanitarios en el ganado.

Documentos mencionan que la principal ruta de exposición y transmisión de enfermedades gastrointestinales relacionadas con el riego de aguas residuales, son los lodos provenientes del desazolve de la red principal que al secarse y pulverizarse son arrastrados por los vientos hacia la población rural que se asienta dentro del distrito de riego. A este punto, es recomendable establecer un convenio de colaboración

entre la JMAS, el Organismo Operador y la Comisión Nacional del Agua para sentar las bases de apoyo financiero tripartita para los trabajos de desazolve del canal principal, y el confinamiento de los lodos en un sitio específico a la par de establecer un convenio de colaboración con los municipios de la zona para poder contar con el sitio de confinamiento de estos lodos, e implementar un proyecto de estabilización de los mismos, con siembra de pastos, estabilización de dunas de arena, etc.

Se recomienda concientizar a la población sobre el aprovechamiento de las aguas residuales en el Valle de Juárez por el riesgo de salud que encierra, es importante generar en el corto plazo un programa de difusión sobre ventajas y desventajas por lo menos a dos niveles, con el fin de minimizar los riesgos sanitarios:

-Primer Nivel.- En las Asociaciones de Usuarios de Riego con sus representantes y con la participación de jornaleros agrícolas (principalmente regadores).

-Segundo Nivel.- En los núcleos de población rural asentados dentro del distrito de riego, con grupos de mujeres que tengan hijos en edad preescolar y menores.

La cercanía con poblaciones vecinas estadounidenses de las plantas de tratamiento (Norte) genera un agresivo tratamiento químico para contener y cambiar el olor generado por el proceso de depuración. El empleo de sales de hierro en particular el sulfato ferroso, confiere el color oscuro al efluente final, en el suelo se transforma rápidamente en férrico que no es asimilable por las plantas, precipitándose como óxidos de hierro, que son acumulables en el suelo y favorecen la acidificación de los mismos. Se recomienda a la JMAS y al Organismo operador que revisen las dosis utilizadas del actual coagulante utilizado y sus tiempos de procesos de coagulación, floculación y clarifloculación así como los tiempos de sedimentación y/o probar con algún otro tipo componente químico.

Los resultados del estudio indicaron que la principal limitante del agua de los pozos en el Valle de Juárez es la salinidad, la cual presenta un gradiente que se va incrementando conforme se avanza de la primera a la tercera unidad, encontrándose en promedio 3006  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el Municipio de Juárez, incrementándose a 5,121  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el Municipio de Guadalupe y de casi 7000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el Municipio de Praxedis, y de salinidad de 1,923 a 4,466 ppm.

Agronómicamente esta agua presenta una restricción de moderada a severa para su uso, pero puede ser utilizada en dilución. Se recomienda continuar el actual sistema de mezclado por dilución, ya que esa es su principal ventaja práctica. El mezclado de aguas residuales con el agua de los pozos agrícolas muestreados durante el estudio permitió observar que se mejora notablemente la calidad del agua, al reducir la Conductividad Eléctrica original del agua de pozo y los Sólidos Suspendidos Totales en promedio de un 30 a 35 %, lo que permite a los agricultores del Distrito de Riego 009 aprovechar el agua de los pozos aún cuando ésta sea salobre, para complementar el volumen requerido por los cultivos establecidos. En general, los resultados del estudio indicaron que en el Valle de Juárez existe baja calidad del agua de riego desde el punto de vista de conductividad eléctrica, salinidad y sólidos suspendidos totales.

En el distrito de Riego se observó que predomina un sistema de riego por gravedad llegando en muchos casos a la inundación con terrenos no nivelados adecuadamente, con baja eficiencia de aplicación, situación que en conjunto con la baja calidad del agua utilizada crea las condiciones para el desarrollo de enfermedades que afectan el rendimiento de los cultivos.

Debido a la baja calidad fisicoquímica de las aguas residuales producto de un tratamiento primario que actualmente tienen las plantas Norte y Sur y de la baja calidad fisicoquímica del agua de la mayoría de los

pozos agrícolas del Valle de Juárez, con el fin de dar sustentabilidad a la operación del Distrito de Riego 009, es necesario que continúe el mezclado de agua (agua pluvial, aguas residuales municipales tratadas y de los pozos) en su uso de agua de riego.

## Recomendaciones de drenaje agrícola

La conservación y mantenimiento de la red drenaje es uno de los aspectos más importantes en una zona agrícola donde se tienen problemas de salinidad. En el DR 009 Valle de Juárez el mantenimiento de los drenes a cielo abierto no se realiza eficientemente, pues no permite el libre flujo de las aguas de drenaje, debido a que éstos están azolvados, contienen verdaderos basureros de desperdicios automotores (llantas, carrocerías, asientos, etc.), vegetación y plantas acuáticas que se desarrollan en la plantilla y talud del dren, así como depósitos de arena por erosión hídrica y eólica. Estos afectan toda la red de drenaje e, inclusive en el propio Río Bravo.

Una deficiente operación de las redes de distribución y su aplicación a la parcelas repercuten directamente en los sistemas de drenaje.

La operación de los drenes no solo considera la vigilancia e inspección de derrumbes, erosiones, repesos y obstrucción del flujo por la maleza, sino también requiere de un seguimiento adecuado de la dinámica de los estudios freaticos y análisis de los balances hídrico y salino, manejo de los terrenos (riego y sobre riegos) y el registro de las principales variables climáticas. Para la operación de los drenes es necesario evaluar la cantidad, calidad y destino de las aguas drenadas, la forma y causas del abatimiento o elevación del nivel freático.

## Problemática de la red de Drenaje del DR 009

En el Distrito de Riego, por sus características topográficas y por lo somero de los niveles freáticos, se requiere que la red de drenaje sea suficiente y funcione eficientemente.

La red de drenaje está compuesta por un total de 361 km, de los cuales 275 km, son Principales y 82 km, Secundarios; su capacidad hidráulica en el caso de los principales es de 4.0-7.0 m<sup>3</sup>/s. En la parte alta del Distrito correspondiente a los Módulos 6 y 7 y la Primera Unidad y de 7.0 hasta 40 m<sup>3</sup>/s., en la parte baja del Distrito como es el caso del Módulo Tres y 3a. Unidad que es donde se ubica el 80% de la Red; su sección es de tipo transversal muy irregular producto del azolve y a la falta de conservación en el caso de los Drenes Secundarios estos también por falta de conservación y su capacidad oscila entre 2-6 m<sup>3</sup>/s, en general la Red de Drenaje presenta condiciones físicas buena, regulares y malas de tal manera que el 10% de su longitud buena, un 15% de la longitud está regular y un 75% está en condiciones malas hay casos que esta parte de Drenes presentan con una conservación diferida.

Los taludes y los bordos presentan en general todo tipo de maleza terrestre como el mezquite, olmo, huizache, chamizo, jara y jarilla, pinos salados o pinabetes, carrizo y vara prieta entre otros diversos tipos de pastos, lo que ocasiona que se reduzca la sección hidráulica de los canales. El chamizo espinoso o rodadora y la koquia, son las especies más nocivas. Estas malezas, también se encuentra frecuentemente en los bordos de los caminos y dificulta el tránsito de los vehículos y la maquinaria.

Los principales problemas detectados en el Valle de Juárez relacionados con el estado y conservación de la red de drenaje son:

- Mala calidad del agua de riego (niveles altos de contaminación y contenido de sales).
- Baja eficiencia global de riego y mucho desperdicio de agua.
- Falta de personal del área operativa y de conservación.
- Falta de revestimiento de la red interparcelaria.



- Falta de conservación y mantenimiento a la red de drenaje.
- Regulares condiciones en la red de pozos tanto oficiales como particulares.
- Azolvamiento parcial así como condiciones inoperativas de diques.
- Prácticas inadecuadas de riego.
- Falta de asistencia técnica y capacitación en el manejo del agua a nivel parcelario.
- Desbordamientos de drenes y arroyos ocasionando fuertes pérdidas económicas por el daño a poblados, cultivos y a la infraestructura hidroagrícola, así como depósitos de arena que obstruyen o cambian de dirección al flujo.
- Baja capacidad financiera de los usuarios lo que ocasiona cuotas de riego insuficientes y en consecuencia no se realiza adecuadamente los programas de conservación.
- Escasa participación de los usuarios en los programas de apoyo implementados por el Gobierno Federal que les permita rehabilitar y modernizar la Infraestructura Hidroagrícola.
- Baja productividad debido a la salinidad.
- Falta de un programa de medición y seguimiento de los volúmenes de agua.

## Recomendaciones generales para resolver o atenuar la problemática

- Realizar una mezcla óptima de agua de las fuentes de abastecimiento.
- Rehabilitar las estructuras hidráulicas tanto en red mayor como en red menor para disminuir pérdidas.
- Construir e instalar estructuras de control y medición del agua.
- Establecer sistemas de riego de baja presión así como el revestimiento de canales hacia canales pequeños e inter-parcelarios.
- Adquirir equipo de nivelación para el mejoramiento territorial de suelos con topografía irregular.
- Adquirir maquinaria para la conservación de la infraestructura hidroagrícola.
- Rehabilitar y reponer equipos de pozos a fin de promover drenaje vertical y rescatar y aprovechar volúmenes de agua.
- Construir y/o rehabilitar diques de regulación y almacenamiento.
- Implementar programas de capacitación para productores y personal operativo de los Módulos y del Distrito encaminados a conocer las técnicas de riego moderno, las necesidades de agua de los cultivos y su aplicación en función de su disponibilidad.
- Instaurar un sistema de pronóstico del riego en tiempo real.
- Implementar una demanda de servicio de riego que permita una mejor operación del Distrito y que el agua de riego sea distribuida en base al programa de producción agrícola.
- Realizar acciones de promoción y concientización para la definición, aplicación y establecimiento de las cuotas del servicio de riego adecuadas.
- Realizar una actualización del estado de conservación que se encuentra la red de drenaje e implementar un programa de conservación actualizado.
- Realizar un programa de monitoreo de freaticimetría y salinidad en pozos de observación y realizar estudios dinámico de niveles freáticos y salinos a nivel distrito.

## Recomendaciones para mejorar el funcionamiento de la red de drenaje

- Mantenerlos libres de maleza, troncos, basura y con la pendiente ideal para el flujo libre de los excesos de agua de los campos de cultivo.
- Retirar el azolve y mantener los caminos de acceso para paso de maquinaria en buen estado.
- No tirar basura ni desechos industriales
- Realizar el programa de conservación anual con oportunidad y suficiencia.
- Controlar en las primeras etapas del desarrollo especies como la rodadora o chamizo espinoso Salsola kal Rodadora o chamizo espinoso, la koquia Kochia scoparia .
- Realizar quemas controladas de la maleza en tiempo de estiaje y al final del invierno.
- No ser utilizados como depósitos de materiales indeseables como llantas ni plástico.
- No usar directamente el agua de los drenes para riego, al menos mezclarse con aguas residuales para bajar el contenido de sales y no ser reutilizada para riego en las partes más bajas del distrito donde la concentraciones de sales es muy alta.

## Limitante importante del proyecto

Que el agua almacenada en los bordos de almacenamiento no sea, de acuerdo con los términos propios de su lenguaje, pura “brea”, es decir que no contenga exclusivamente agua residual, por lo que es de interés y esta descrita en diferentes partes del documento, diluir, mezclar el agua residual con el agua salobre de pozos (hasta un 35%), agua pluvial urbano-microcuencas y agua residual invernal.

## Capacitación a usuarios

La capacitación se realizó en las oficinas del DR 009. En el curso que se impartió se dio a conocer la importancia que tiene el agua en la agricultura, así como las técnicas más comunes que se tienen para su aplicación todo esto para que el agricultor tenga una mayor conciencia de su vital importancia, para este caso después de realizar varios estudios de diferentes tipos se llegó a la conclusión que para la tecnificación del distrito 009 valle de Juárez esta se realizaría mediante el sistema de riego a baja presión (compuertas) de una buena tecnificación así como la relación que tiene. Se impartió tanto a personal del distrito como a usuarios en general.

Sobre el aspecto pronóstico del riego en tiempo real se informo sobre la información necesaria para llevarlo a cabo, en particular el manejo del G-SIPPAD. También se reflejo la importación de la captura de sus riegos, para un mejor control del agua asignada a las parcelas. Se dio a conocer el manejo del sistema y ventajas que se brindan al aplicarlo adecuadamente. Al igual que la importancia de los reportes salientes del sistema. Y el ahorro de tiempo para el canalero a la hora de presentar sus informes al distrito.

## 1. TECNIFICACIÓN DEL DISTRITO DE RIEGO

Se les dio a conocer un mejor sistema de riego para la zona a tratar. Se les impartió las ventajas que este tendría al distrito tanto en el manejo y conservación del agua como el impacto que tendría en la producción de sus cultivos. Para lo cual se realizaron estudios a la zona y así evaluar las necesidades de esta.

Se implemento un debate en el cual se di a conocer en la situación que estaban y como mejoraría con un buen sistema de tecnificación al distrito.

Documentos entregados:

- [Capacitación SR](#)
- [Cd. Juárez-material didáctico](#)
- [Elaboración de Manual](#)

## 2. G-SIPPAD

El instituto realizó la capacitación sobre sistema G-SIPPAD. Tanto a personal del distrito como a usuarios, El cual se llevó a cabo en las oficinas de CNA (comisión nacional del agua). Se implementaron pláticas, y se capacitó a personal del distrito para su manejo. En la capacitación se dieron sugerencias las cuales fueron implementadas al sistema como una actualización de este. Las presentaciones y manuales entregados se encuentran digitalmente en disco.

- [PRESENTACION G-SIPPAD.pptx](#)
- [MANUAL DE USUARIO G-SIPPAD.docx](#)
- [REPORTE FINA DR009 JUAREZ.docx](#)

## 3. ICAM-RIEGO

### 1.1. facturación

Se implemento una plática en lo cual se resalto la importancia del sistema como una herramienta más para el distrito. Se trataron los alcances y necesidades para su implementación.

Se dio a conocer el alcance que ha tenido en otros distritos y ventajas que se tiene como un sistema de facturación.

Se reflejaron los reportes que brinda el sistema para un mejor manejo del distrito y un mejor conocimiento de sus ingresos.

### 1.2. Dotación

En esta aplicación se dio a conocer la importación de una dotación al igual que las trasferencias de agua entre usuarios y distrito. Se reflejo el control que imparte el sistema en el control del agua.

También los reportes que brinda el sistema para aclaración y balances de un mejor control del agua entre usuarios y distrito.

### 1.3. Spriter

Se implementaron pláticas a usuarios y canaleros del distrito para dar a conocer los alcances de esta aplicación como una herramienta más para el distrito. Se mostro el control que imparte el sistema en su datos almacenados al igual que la implementación y alcances que a tenido en otros distritos.

Se reflejo la importación de la captura de sus riegos, para un mejor control del agua asignada a las parcelas. Se dio a conocer el manejo del sistema y ventajas que se brindan al aplicarlo adecuadamente.

Al igual que la importancia de los reportes salientes del sistema. Y el ahorro de tiempo para el canaleros a la hora de presentar sus informes al distrito.

### 1.4. MZ-SIG

En esta aplicación se dio a conocer la herramienta como un avance tecnológico para el distrito. Ya que brinda reporte basándose en imágenes satelitales. Al igual que el manejo del padrón de usuarios en imagen satelital y geo-referenciadamente y el cual es editable para correcciones futuras.

Se impartió la importancia de las herramientas del sistema. Ya brinda reporte tales como planos de ubicaciones de cultivos, ubicación parcelaria, ubicación de ejidos etc. y reportes gráficos con los resultados de sus riegos y volúmenes de agua impartidos a la parcela.

Documentos entregados:

- [ICAM en SJR.docx](#)
- [Presentación Distrito 009.pptx](#)
- [DOCUMENTOS DTO. 009 V. JUAREZ-2.docx](#)
- [ICAM-RIEGO.pdf](#)
- [ICAM-RIEGO VF JR sag.ppt](#)
- [MZ-SIG.pptx](#)

En la presentación final se incluye una visión de los sistemas desarrollados por el Instituto para coadyuvar en mejorar la operación de distritos de riego tecnificados.

## Conclusiones

Para realizar el estudio de superficie agrícola se aplicó el sistema MZ-SIG en su versión G-SIPPAD (el primer sistema de información geográfica hecho en México) para obtener el plano catastral actual del DR 009. El mismo se instaló y fue puesto en operación por personal del IMTA en las máquinas del DR. El sistema permite el manejo flexible de información de usuarios en base de datos e imagen de satélite, a su vez la información de la base de datos está ligada a las imágenes de satélite. El análisis de los resultados permite determinar sobre el avance de la mancha urbana en la zona agrícola, la cual refleja una composición fraccionada de la superficie de riego resultando, la aplicación del agua a la parcela, un ejercicio de baja eficiencia de conducción y aplicación.

El Estudio urbano permite inferir que el crecimiento primario de Ciudad Juárez fue concéntrico basado en el comercio y servicios en el centro histórico y cerca al cruce fronterizo. Debido a la cooperación Méxicoamericana para el desarrollo de polos industriales transfronterizos, el desarrollo de la ciudad pasó a ser multi-céntrico. El plan de desarrollo urbano se integró en 1979 y se ha actualizado 5 veces. La primera Unidad del DR 009 ha sido prácticamente absorbida por la mancha urbana y se prevé desaparezca en los años 2018-2020. Según el modelo SLEUTH, hay dos procesos principales de urbanización, el crecimiento hacia el sur y aumento de alta densidad de población en el área oeste, obtenidos en base a imágenes de satélite. El escenario sin restricciones (s) arroja una superficie urbana al 2030 de 90,000 ha con 1, 900, 170 habitantes y un avance de la mancha urbana sobre la zona agrícola a las riveras del río Bravo. Bajo el escenario (Z) ZOET, al 2030 se tendrán 60,000 ha con 1, 862, 760 habitantes y se restringe el crecimiento de la zona urbana sobre la superficie agrícola del valle de Juárez. Se obtuvo la población en diferentes años hasta el 2030, la cual es la base del cálculo del efluente residual de acuerdo con el uso urbano. Se vuelve a observar otro problema de planeación del crecimiento urbano con migración de la presión urbana a la zona agrícola de la unidad 2. Es evidente que al incrementar la población se incrementa el requerimiento de agua para uso doméstico y mayor sobreexplotación de acuíferos.

Respecto al agua residual, como fuente de abastecimiento primordial de la zona agrícola se obtuvo que el caudal actual disponible de aguas residuales municipales tratadas es de **2.4 m<sup>3</sup>/s** mas **1.394 m<sup>3</sup>/s** de aguas negras crudas para un gasto disponible total de **3.794 m<sup>3</sup>/s** promedio para el DR 009. Es necesario continuar con las inversiones en infraestructura de tratamiento que permita tratar el 100% del agua residual generada, con al menos un tratamiento secundario avanzado, que permita su reutilización en el distrito 009, con los menores riesgos posibles de contaminación y afectación a los suelos, cultivos y a la salud humana.

El análisis de resultados del efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en el periodo 2004-2009 registró que la planta norte apenas en los meses de abril a junio de 2009 logró cumplir con los límites máximos permisibles que marca la nom-001-semarnat-97, de DBO5 en su efluente, no así la planta sur que desde que inició operaciones no ha podido cumplir con los límites que establece la norma. La DBO5 actual de la descarga de la planta sur que casi duplica los límites que marca la norma, afecta drenes y canales del distrito, crea condiciones ideales para la

proliferación de malezas lo que incrementa los costos de mantenimiento y crea condiciones para la reproducción de organismos patógenos. La calidad de las aguas residuales tratadas presentaron una conductividad eléctrica y salinidad muy semejantes a las aguas del tratado, lo que las hace aceptables para riego agrícola con restricción ligera a moderada dependiendo de la sensibilidad de los cultivos. **Grasas y aceites** que rebasan los límites de la nom-001-semarnat-97, y ya muestran sus efectos adversos en canales y drenes al dificultar su conservación y aumentar su costo de mantenimiento además de la afectación a los mecanismos de las compuertas y también elevan el riesgo de problemas de infiltración en los suelos regados, y no son recomendables al riego de alta presión por sus costos operativos. **Coliformes fecales** que rebasan en cuatro órdenes de magnitud los límites establecidos por la norma elevando el riesgo de salud pública, agronómica y pecuaria en el área de influencia del distrito. **Sólidos suspendidos totales** del efluente de la planta sur que rebasan ligeramente los límites máximos permisibles y con ello se encuentran fuera de norma. El sulfato ferroso sulfato ferroso utilizado en las plantas se transforma rápidamente en férrico, precipitándose como óxidos de hierro que son acumulables en el suelo y favorecen la acidificación de los mismos. Además, existe un excedente de aguas residuales tratadas entre los meses de noviembre-diciembre y enero-febrero que son las fechas en que la demanda de riego baja. Dicho volumen debe ser almacenado y mezclado con agua de mejor calidad físico-química para darle uso agrícola, y la principal limitante del agua de los pozos en el valle de Juárez es la salinidad presentándose un gradiente que se va incrementando de la primera a la tercera unidad, encontrándose en promedio 3006  $\mu\text{s}/\text{cm}$  en el municipio de Juárez, incrementándose a 5,121  $\mu\text{s}/\text{cm}$  en el municipio de Guadalupe y de casi 7000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  en el municipio de Praxedis, y de salinidad de 1,923 ppm a 3,277 ppm 4, 466 ppm, lo que indica que desde el punto de vista agronómico esta agua presenta una restricción de moderada a severa para su uso, pero puede ser utilizada en dilución con agua de mejor calidad. Así, la principal ventaja de la práctica de mezclado de aguas residuales con el agua de los pozos muestreados, es que se mejora notablemente la calidad del riego, al permitir reducir la conductividad eléctrica original del pozo, la salinidad y los sólidos suspendidos totales en promedio de un 30 a 35 %, lo que permite a los agricultores del DR 009 aprovechar el agua de los pozos aún cuando éstos sean salinos.

Un estudio hidrológico de las principales microcuencas que descargan hacia el río Bravo fue realizado con el fin de estimar su volumen de escurrimiento medio con fines de almacenamiento, para luego ser utilizado en un análisis de volúmenes del efluente residual, y todas las fuentes de agua susceptibles de utilizarse en el riego del valle de Juárez. La utilización de modelos digitales de elevación permitió a partir de la problemática presente plantear alternativas de solución para la ubicación de arroyos y delimitación de cuencas, así como la determinación de los puntos más propicios para la construcción de diques de almacenamiento/filtración de agua. Los Sistemas de Información Geográfica usando un MDE son una herramienta para el procesamiento de las cuencas hidrológicas de la zona en estudio que entre mayor resolución espacial mejor es el resultado del análisis. Además, existe un volumen potencial de captación en las cuencas de los arroyos mayores del DR 009, del orden de 6.4 Millones de  $\text{m}^3$  anualmente utilizables para recarga del acuífero o para el riego de parcelas agrícolas. Este volumen se convierte en una superficie adicional de 4250 ha de cultivos irrigados con una lámina media de 1 metro y dejando un volumen

de conservación equivalente a un tercio del almacenamiento total y; de acuerdo con datos estimados por el Ingeniero en Jefe del Distrito de Riego 009, el escurrimiento generado por las lluvias en la ciudad permite captar unos 20-25 millones de m<sup>3</sup> anualmente, a lo cual se deben preparar la red de distribución y la operación para provocar el almacenamiento de agua de lluvia en los bordos de almacenamiento. No obstante que, se deben de construir las obras para conducir el agua sin problemas a la red de conducción. Este volumen debe ser utilizado en su totalidad para riego. Como esto depende de cómo se opere, podemos hablar de ingresar un ½ de dicho volumen permitiendo irrigar otras 10 mil ha con la lámina de un metro. En las condiciones actuales, si se suma la superficie por el producto de almacenar el agua residual invernal a las superficies recién obtenidas se llega a una superficie de riego de 19,650 ha adicionales al legado del agua residual en el ciclo Primavera-Verano. Definitivamente es necesario contar con dicha infraestructura.

De acuerdo con la estadística del DR 009 se observó una constante reducción de la superficie sembrada, no así en los volúmenes utilizados para riego. Existe superficie de baja productividad y problemas de salinidad. De acuerdo al análisis de información el promedio de los últimos 30 años, la superficie media establecida para primeros cultivos en los ciclos P-V y O-I es de 14,246 ha con una aplicación de 5 riegos en promedio y una lamina bruta de 122 cm y neta de 73 cm. Con una superficie siniestrada promedio de 70 ha. Los volúmenes brutos fueron de 172.15 M m<sup>3</sup> y los netos de 102.03 con una eficiencia global del 60%. Históricamente los cultivos más importantes han sido el algodón y sorgo forrajero en el ciclo P.V y avena forrajera en O-I, con alfalfa y nogal en los perennes. El algodón ha consumido el 45% del agua, el 25% la alfalfa y el restante 30% los otros. Los requerimientos de riego calculados para los cultivos son similares a los del DR 005 y otras zonas de riego, la mayor lámina (98.1 cm) correspondió a la alfalfa y la menor (23.5 cm) a la pradera sembrada en O-I. De los métodos utilizados para estimar la eficiencia de aplicación, el edáfico es mejor ya que considera la lámina de reposición, y para tener en cuenta el aspecto salino del agua debe estimarse la lámina de lavado. La lámina media de reposición por riego fue de 10.63 cm. La eficiencia reportada fue del 63% y la estimada del muestreo anda del mismo orden de magnitud. Las eficiencias de aplicación (orden de 60%) del muestreo en cultivos perennes son menores a las reportadas en el DR 009, 79%. La eficiencia reportada de conducción es de 60% y la global de 38%, en la red mayor la eficiencia reportada es de 83%, mientras que la del muestreo es de 87% y para la red menor de 73% y la del muestreo de 75%, que en términos prácticos son muy similares. La tecnificación permite regar con la misma agua 14,850 ha (2850 más a las actuales), evidentemente si se mejora el manejo de y se construye la infraestructura necesaria. El volumen de agua ahorrado es de un orden de 36 M m<sup>3</sup> para P-V para las condiciones asumidas de tecnificación (aumento de la eficiencia global de un 7 %) y si se manejan cultivos de menor demanda se puede ir hasta las 16,000 ha. El intercambio de agua residual por agua de primer uso y tecnificación es recomendable mediante la adecuación de la infraestructura. Con la infraestructura a construir y los volúmenes determinados la superficie regable puede abarcar la superficie (empadronada) del DR 009 regando una superficie importante con cultivos de baja demanda.

Se tuvo que realizar un estudio de proyección de volúmenes disponible para riego en los años a venir hasta el 2030. En la actualidad el volumen invernal calculado es del orden de 49 Millones de  $m^3$ . El DR 009 reporta datos del orden de 36  $M m^3$ . De acuerdo con la proyección al 2030, el volumen máximo de almacenamiento invernal es de 54.13 Millones de  $m^3$ . Este volumen mezclado equivale a 72.5  $M m^3$ , o sea, del orden del agua del tratado de 1904. El volumen mínimo de tecnificación es mayor que el actual mínimo utilizado para riego. Es evidente que el proceso de tecnificación resuelve el problema de presión hídrica en el Valle de Juárez. Se propuso una capacidad volumen de almacenamiento de los bordos del orden de 124  $M m^3$ .

La tecnificación propuesta para alcanzar a resolver el problema de presión hídrica de Ciudad Juárez constaron de 11 ante-proyectos ejecutivos de estaciones de bombeo con un costo del orden de 111 Millones de pesos, los mismos se identificaron como bombeos en línea si llevan el agua del canal a la parcela y como bombeos de bordos de almacenamiento si bombean el agua a dicho almacenamiento. Para el diseño de bordos de almacenamiento se contó con el apoyo de MDE, y su proyecto se considera durable (cortina de corazón de arcilla y enrocamiento), impermeable (tendido de geo-membrana), con obra de entrada de agua, obra de toma y vertedero de demasías, con un costo de 3, 101 Millones de pesos. Se integraron carpetas de ante-proyectos ejecutivos de baja presión y distribución del agua para una superficie de 11,147 ha en la segunda y tercera unidades, con 356 ha compactas en la unidad 1 y se propuso, en términos de referencia, la nivelación de de 12, 410 ha. El costo de estas acciones asciende a un orden de 501.4 Millones de pesos. Todos los proyectos se presentan en carpetas. En todos los casos se organizan, incluyendo documentos de diseño, términos de referencia con fines de licitación y planos constructivos y de detalles. El costo total de la tecnificación del DR 009 es del orden de \$ 3,859.2 Millones de pesos, .

Para darle utilidad a y debido a la calidad del agua de acuífero somero se integraron ante-proyectos ejecutivos para realizar agricultura intensiva con agua desalada y energía solar. Los proyectos se presentan en carpetas con términos de referencia y planos con fines de licitación. A tal efecto, cabe señalar que las propuestas de tecnología incrementan su costo en función de la superficie a regar y van, en orden de magnitud, de 0.7 a 8 Millones de pesos actuales. No obstante el costo, esta metodología es útil en situaciones similares a la presencia de agua con calidad físico-química del valle de Juárez, como puede ser el caso de Valle de Mexicali, diferentes zonas de las Bajas, zona de Hermosillo-Guaymas, zona de Reynosa-Matamoros, Torreón-Gómez-Lerdo, norte de Zacatecas, Valles centrales de Coahuila, Valle de Juárez, Valle de Aldama en Chihuahua, Altiplano de San Luis Potosí-Guanajuato-Querétaro-Aguascalientes, Valle amplio de Río Verde, S.L.P., entre muchos otros lugares desérticos y con agua salobre en general. En particular con alguna presencia fuerte de algún elemento nocivo al desarrollo de cultivos de alta rentabilidad, como es el caso de la gran mayoría de acuíferos sobreexplotados, incluido el suministro de agua potable en caudales medios. Si se agregan del orden de 10 ha de dicha tecnología el costo total de tecnificación se incrementa del orden de 88 Millones de pesos para dar un total de 3947.6 Millones de pesos. Y si se agregan las 90 ha restantes de desalación invernadero, el monto asciende a 4743.2 Millones de pesos. El estudio económico se realizó para este monto total. Las



acciones propuestas de tecnificación como la construcción de las estaciones de bombeo, los bordos de almacenamiento y los invernaderos deben realizarse a fondo perdido (una vez). En adelante el usuario debe colaborar monetariamente en su operación. El principal patrocinador de la tecnificación del valle, red de distribución y parcelaria, debe cargarse al organismo operador de agua potable, esto se sustenta en la recuperación de costos de bombeo y de sobre-explotación del acuífero el Bolsón del Hueco, además de la promoción del intercambio de agua residual tratada y tecnificación por agua de primer uso del tratado de 1904. Los acuerdos de intercambio se establecerán entre la JMAS y las asociaciones de usuarios representados por CONAGUA DR 009.

Estudio del acuífero. Los balances desarrollados para la zona de estudio indican que existe sobreexplotación en el acuífero del Valle de Juárez.

Se han modelado escenarios de explotación de los recursos de agua subterránea con alternancia en fuentes de almacenamiento, enfocando el análisis al impacto del intercambio de agua del tratado de 1906 para uso urbano a cambio de tecnificación.

El control de la extracción simulada para 20 años permitió observar que se tendría un impacto positivo en el control de los abatimientos del nivel estático y en la preservación del flujo del agua subterránea.

Los volúmenes aportados por los acuíferos de Conejos-Médanos y La Mesilla son de primordial importancia para abastecer la zona de Ciudad Juárez, ya que esto coadyuvaría hacia el equilibrio del Valle de Juárez (Bolsón del Hueco) y genera una política de recuperación rápida del acuífero BH. En la medida que se intensifique el reuso y la demanda de agua, mayor será la magnitud de las acciones de contingencia contra sequías y mayor será el impacto en su caso del volumen de intercambio de uso. La política de operación del acuífero no debe ser función de la recarga esperada para el año en curso, sino del almacenamiento y la calidad del agua.

El escenario inercial no ofrece condiciones para un desarrollo sustentable, por lo tanto, la propuesta de tecnificación debe ser llevada a cabo. El costo total que aporta, en términos de extracción y sobreexplotación, el intercambio del agua del tratado por tecnificación es del orden de \$ 14,705 Millones de pesos, que de extracción representan en el periodo 2012-2030, la cifra de \$ 3,584.88 Millones de pesos, es decir, equiparable al costo de la tecnificación.

El costo total de la propuesta de tecnificación representa el 26.85% (32.26% incluyendo las 100 ha de desalación-invernadero) del costo ahorrado por el aporte del agua del tratado en términos de extracción y sobre explotación del acuífero. Sin contar con el propio beneficio de la tecnificación. El abatimiento que causa la sobreexplotación, es un fenómeno irreversible de no llevar a cabo acciones para la preservación del acuífero.

El estudio se complementa mediante una recomendación a las autoridades y organismos operadores del agua residual y sobre drenaje agrícola y finalmente se expone la limitante del presente proceso de tecnificación que es “limitar el impacto nocivo de la brea” cuya solución debe leerse como “diluir las aguas residuales combinando las fuentes de abastecimiento de alta y baja

calidad físico-química de su respectiva agua para regar los cultivos establecidos en el DR 009, Valle de Juárez, Chihuahua”.

Es evidente que la propuesta de tecnificación integral es apenas el 26.85% o 32.26%, dependiendo del caso 10 o 100 ha de desalación-invernadero, del costo total de extracción y sobreexplotación por lo que el gobierno federal, estatal, instituciones de agua potable, gobierno municipal, asociaciones de usuarios, Ciudad Juárez y poblados agrícolas deben tomar acciones con prontitud para realizar la propuesta de tecnificación del presente estudio.

Finalmente este estudio determina la solución al problema de presión hídrica del Valle de Juárez, inmerso en él, la ciudad próspera, cosmopolita y emprendedora de Juárez, Chihuahua.

## Referencias

Cervera L.E, Monárrez F.J, Montero M.J, Brugués R.A, Rubio S.R, Coronado R,J L, Cruz P.R, y Cital Beltrán P. 2005. Diagnóstico Socioeconómico de Cd. Juárez y su Sociedad. Colegio de la Frontera Norte. Instituto Nacional de las Mujeres (Págs. 142-193).

CILA-2004. Estudio Binacional (México-Estados Unidos) sobre la presencia de sustancias tóxicas en la porción alta del Río Bravo. En : Informe final. Comisión Internacional de Límites y Aguas.

DOF, 1997. NOM-001-SEMARNAT-96 . Decreto por el que se publica la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-96 En Diario Oficial de la Federación de Fecha 06 de enero de 1997. México, D.F.

F.A.O. Serie Riego y Drenaje. N° 29. Roma, Italia. w AYERS, R. S; WESCOT, D. W. 1985. w FARBER, M. 1979 “Manual de Cátedra de Hidrología Agrícola”

Garza Almanza V. 2000. Reuso Agrícola de las aguas residuales de Cd. Juárez, Chihuahua, México. “El Valle de Juárez y su impacto en la salud Pública”. Centro de Estudios del Medio Ambiente, Universidad Autónoma de Cd. Juárez. En Revista de la Facultad de Salud Pública y Nutrición. Vol. 1. No. 3. Julio-Septiembre-2000.

Garza Almanza.V, Fernandez Salas I, Badii M., Flores Suárez A., Hauad M. L, y Villareal R.L. 2001. Evaluación de Riesgo a la Salud en la Comunidad de Loma Blanca (Distrito de Riego 009) Valle de Juárez, México, por exposición a aguas residuales no tratadas. En : Revista Salud Pública y Nutrición. Vol. 2. Julio – Septiembre, 2001.

JMAS-Juárez, (2004-2009) Reportes promedio mensuales del muestreo en las plantas tratadoras Norte y Sur y en el Dren Interceptor General. Dirección Técnica y de Saneamiento. Reportes entregados trimestralmente a la Comisión Nacional de Agua y Saneamiento.

Mara D. y S. Cairncross 1990. Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura, España, OPS/PNUMA.

OMS, 1996. Análisis de las Aguas Residuales para su uso en agricultura. En: Manual de Técnicas Parasitológicas y Bacteriológicas de Laboratorio. Publicación de la Organización Mundial de la Salud

Ortega, H. 1991. Problemas prioritarios de Salud en la Frontera México-Estados Unidos. En Revista de Salud Pública, Julio-Agosto, Vol. 33. No. 4. Págs. 356-359. Instituto Nacional de Salud Pública.

SSA., 2002. Diagnóstico de salud de la Jurisdicción Sanitaria II de los Servicios Coordinados de Salud Pública en el Estado de Chihuahua. Cd. Juárez: Secretaria de Salud del Estado de Chihuahua. Documento Interno.

Anderson, R. P., Lew, D. y Peterson, A. T. 2003. “Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models”, Ecological Modelling, 2003, 162, pp.211-232

Bazant Jan, 2009. Periferias Urbanas. Expansión urbana incontrolada de bajos ingresos y su impacto en el medio ambiente, Editorial Trillas, México, 2009

CONAPO, 2009. Estadísticas de población. En: La población de México al 2050. Consejo Nacional de Población, 2009.

Fuentes, Cesar (2001). "Los cambios en la estructura intraurbana de Ciudad Juárez, Chihuahua, de monocéntrica a multicéntrica". Frontera Norte vol. 13, no. 25, enero-junio, pp. 95-118

Gutiérrez, Casas L.E.1993. Ciudad Juárez en los sesentas "La estructura urbana en transición" En: Nóesis. Número 11. Año IV, UACJ, México. Julio-Diciembre, 1993.

K C Clarke, S Hoppen , L. Gaydos, 1997. A self modifying cellular automaton of historical urbanization in the san Francisco bay area", Vol 24, 1997, pp.247-261,

Márquez Lobato, B. Márquez (2008). Análisis y Simulación del crecimiento urbano utilizando sistemas de información geográficos: Ciudad Juárez, Chihuahua. Tesis de Maestro en Economía Aplicada. El Colegio de la Frontera Norte, A. C. México.

Mata García V, s/f. La planeación Urbana en Ciudad Juárez. En: [www2.uacj.mx/ICSA/Investiga/RNIU/pnencias%20Victor%20García.pdf](http://www2.uacj.mx/ICSA/Investiga/RNIU/pnencias%20Victor%20García.pdf).en línea. Consultado el 7/Dic/2009.

Peña Sergio y César, M, Fuentes, 2007. "Land Use Changes in Ciudad Juárez, Chihuahua: A Systems Dynamic Model", Revista de Ciencias Sociales y Humanidades, Mexicali, B.C, Nueva Época, Vol.8, Núm,16,Julio-Diciembre de 2007, pp.65-89

PDU, 2009. Plan de Desarrollo Urbano (Borrador) Ciudad Juárez, 2009. Ayuntamiento de Juárez, Instituto Municipal de Investigación y Planeación. IMIP, México. 504 pág.

Santiago, Guadalupe, 1998. Cambios y permanencias en la estructura de la propiedad de la tierra: Ciudad Juárez 1884-1935. Tesis para obtener el grado de Maestría en Historia Contemporánea. Instituto José María Luis Mora, México, 1998.

Estudios para la Rehabilitación del Distrito de Riego del Valle de Juárez, Chih. C.I.E.P.S., s.c., Ingenieros Consultores y Proyectistas. SRH. 1960.

En las Oficinas del DR 009 se encuentran "bloques de hojas" con información de salinidad por pozo de extracciones de agua del acuífero somero. Localización de Pozos con Análisis Químico Valle de Juárez, Chihuahua. Terminación de Pozos.

Estudio Hidrológico de los Arroyos que atraviesan al Valle de Juárez, Chihuahua, SRH, 1970.Valle de Juárez, Chihuahua.

Estudio Geofísico Informe No. 1713., GEOFIMEX, S.A, SRH, 1970.

Estudio Geohidrológico de la Zona de Terrazas del Valle de Juárez, SARH, 1980.

Reactivación de la red piezométrica en el acuífero Valle de Juárez, SARH, 1981.

Actualización del Estudio Geohidrológico del Valle de Juárez, SARH, 1985.

Monitoreo piezométrico de los acuíferos de Ascención, Palomas, Guadalupe, Victoria, Valle de Juárez, 2005.

Monitoreo Hidrogeoquímico y de la Calidad del Agua de los Acuíferos de Villa Ahumada y Valle de Juárez, Chih. para la definición, características constructivas y los costos de los pozos de explotación para abastecimiento de Cd. Juárez, 1998.

Determinación de la superficie bajo riego en la Zona Valle de Juárez, mediante percepción remota, SIGSA, CONAGUA, 2006.

Digital model for simulated effects of ground-water pumping in the Hueco Bolson, El Paso area, Texas, New Mexico and Mexico. U.S. Geological Survey. 1976.

Ground water development in the El Paso Region, Texas, with emphasis on the resources of the lower El Paso Valley. Texas Development of Water Resources. 1980.

Ground water flow model of Hueco Bolson. EPWU. Report 02-01. 2002.

Artículo. Chemical and microbiological impact of wastewater from drains and Canals on water quality of the Rio Grande River. Texas A&M. 2008.

A Gravimetric study of the Thickness of the unconsolidated materials in the Hueco Bolson Aquifer, Juarez. Area Chihuahua, 1993.

Transboundary Aquifers and Binational Ground-Water Data Base City of El Paso/Ciudad Juarez, January, 1998.

Modelo matemático del valle de Juárez (Zona conurbada de Cd. Juárez). JMAS. 1995.

Diagnóstico de explotación del acuífero de la zona urbana de Cd. Juárez, Chih. JMAS, 1995.

Modelo matemático de simulación hidrodinámica del acuífero de la zona urbana de Cd. Juárez. JMAS. 1998.

Estudio de prospección geofísica en la zona de Terrazas. JMAS. 2001.

Recorridos de piezometría en el Valle de Juárez. JMAS. 2001.

Entre muchos otros documentos de la UACJ, COCEF, Colegio de la Frontera, Universidad del Paso, IMIP y JMAS.

*“Estudio realizado en el año 2009-2010, patrocinado por el North American Development Bank y la subdirección general de Infraestructura Hidroagrícola de la Comisión Nacional del Agua-Oficinas Centrales, Gerencia de Distritos de Riego”*