



Sistema de alerta preventiva ante la ocurrencia de inundaciones causadas por desbordamiento de canales en zonas urbanas

Informe Final

Realizó por el IMTA

M. en I. Rodrigo Santos Ulises Tellez
M. en I. Oscar Jesús Llaguno Guilberto
M. en I. Indalecio Mendoza Uribe
M. en T Miguel Ángel Vázquez Zavaleta
M. en I. José Manuel Rodríguez Varela
Dr. Velitchko G. Tzachkov



Contenido

1.	Acta de constitución.....	7
1.1.	Justificación.....	7
1.2.	Objetivos del proyecto.....	7
1.3.	Metodología.....	8
1.4.	Estrategia del proyecto	8
1.5.	Estructura de gobernabilidad.....	8
1.6.	Gerencia de proyecto.....	9
1.7.	Control de cambios.....	10
2.	Estructura desglosada del trabajo.....	10
3.	Definición de la comunidad a servir	13
3.1.	Establecimiento de trabajo con el Gobierno del Estado de Morelos.....	13
3.2.	Establecimiento de trabajo con la comunidad.....	13
4.	Elaboración del modelo numérico bidimensional de inundaciones.....	15
4.1.	Integración de la información hidrológica de la cuenca del río Yautepec	15
4.1.1.	Clima.....	15
4.1.2.	Flora y fauna	15
4.1.3.	Orografía	15
4.1.4.	Hidrografía.....	16
4.1.5.	Actividades productivas.....	19
4.1.6.	Educación.....	19
4.1.7.	Riesgo peligros y/o vulnerabilidad ante fenómenos de origen hidrometeorológicos.	20
4.2.	Antecedentes	21
4.2.1.	Acontecimientos del 28 de septiembre de 1998.....	22
4.2.2.	Acontecimientos del 05 de julio de 2003.....	22
4.2.3.	Acontecimientos del 17 de agosto de 2010.....	23
4.2.4.	Acontecimientos del 25 de agosto de 2010.....	24
4.2.5.	Acontecimientos del 03 de octubre de 2014	27
4.2.6.	Acontecimientos del 10 de agosto de 2016.....	31
4.3.	Acontecimientos del 25 de agosto de 2019.....	32
4.4.	Hidrología.....	35



4.4.1.	Lluvia	35
4.4.2.	Cuenca.....	36
4.4.3.	Subcuencas.....	40
4.4.4.	Medición de la lluvia.....	41
4.4.5.	Lluvia media de la cuenca.....	43
4.4.6.	Registro de las lluvias máximas anuales.....	44
4.4.7.	Análisis de frecuencia	46
4.4.8.	Curvas I-D-Tr.....	47
4.4.9.	Forma de la lluvia	48
4.4.10.	Obtención del hietograma de precipitación a partir de la información pluviográfica... 49	
4.4.11.	Hietograma adimensional de la lluvia	52
4.4.12.	Curva de precipitación- duración- periodo de retorno	54
4.5.	Modelo matemático	61
4.5.1.	Información necesaria para la integración de un modelo de simulación en SWMM	61
4.5.2.	Componentes físicos (visual objects).....	63
4.5.3.	Modelo matemático de la ciudad de Yautepec	66
4.5.4.	Resultados	71
4.6.	Conclusiones	74
4.7.	Recomendaciones.....	75
5.	Instrumentación del cauce.....	77
5.1.	Instalación de dispositivos de medición	77
5.1.1.	Punto de medición 1 Oaxtepec.....	78
5.1.2.	Punto de medición 2 Yautepec.....	78
5.1.3.	Punto de medición 3 Ticuman	78
5.2.	Estaciones de medición de nivel	82
5.2.1.	Arreglo físico	82
5.2.2.	Programado de las estaciones	82
5.2.3.	Construcción del sistema	85
6.	Instrumentación de la cuenca.....	95
6.1.	Instalación de dispositivos de medición de lluvia.....	95
6.1.1.	Punto de medición de lluvia 1 Atlatlahucan	96
6.1.2.	Punto de medición de lluvia 2 Tlayacapan	96



6.1.3.	Punto de medición de lluvia 3 Tepoztlán.....	96
6.2.	Estaciones de medición de lluvia	98
6.2.1.	Arreglo físico	98
6.2.2.	Programado de las estaciones	98
6.2.3.	Construcción del sistema	102
7.	Desarrollo aplicación móvil FloodAlert	107
7.1.	Establecimiento de la estación de control y monitoreo.....	107
7.1.1.	Introducción	107
7.1.2.	Esquema de operación de la App FloodAlert	108
7.1.3.	Enfoque de desarrollo de la App.....	108
7.1.4.	Desarrollo para la plataforma Android	109
7.1.5.	Desarrollo para la plataforma IOS	112
7.1.6.	Servidor y cuenta de usuario.....	114
7.1.7.	Diseño de servicios Web.....	120
7.1.8.	Uso de los servicios Web	127
8.	Difusión y operación.....	133
8.1.	Operación del sistema de monitoreo de lluvia	133
8.1.1.	Pruebas iniciales.....	133
8.1.2.	Calibración de los pluviómetros	134
8.1.3.	Verificación del pluviómetro de la estación 3 para un volumen de 250 ml.....	135
8.1.4.	Autosuficiencia energética.....	137
8.1.5.	Transmisión de datos	137
8.1.6.	Operación de la Aplicación para dispositivos móviles	138
8.2.	Operación del sistema de monitoreo de nivel en cauce.....	139
8.2.1.	Pruebas iniciales.....	139
8.2.2.	Autosuficiencia energética.....	141
8.2.3.	Transmisión de datos	142
8.2.4.	Operación de la Aplicación para dispositivos móviles	143
8.3.	Promoción y difusión de la aplicación	144
8.4.	Visualización y alcances del proyecto.....	147
8.5.	Capacitación y transmisión de tecnología.....	149



8.5.1.	Curso taller de programación de sensores para la determinación de parámetros hidráulicos	149
8.5.2.	Formación de estudiantes.....	152
9.	Conclusiones	161
10.	Bibliografía	163
Anexo 1.	Curvas de Precipitación (hp mm)- Duración (d min)- Periodo de retorno (Tr años) para las diferentes estaciones climatológicas.....	167
Anexo 2.	Curvas de Intensidad (I mm/Hr)- Duración (d min)- Periodo de retorno (Tr años) para las diferentes estaciones climatológicas	177
Anexo 3.	Código fuente de la clase principal “MainActivity.java”	187
Anexo 4.	código fuente de la clase principal “VistaPrincipal”	201
Anexo 5.	Codificación de servicios Web	220
a.	Código fuente del servicio Web para insertar datos de lluvia.....	220
b.	Código fuente del servicio Web para insertar datos de nivel.....	222
c.	Código fuente del servicio Web para consultar datos de lluvia.....	225
d.	Código fuente del servicio Web para consultar datos de nivel.....	226
e.	Código fuente del servicio Web para consultar último registro de lluvia.....	227
f.	Código fuente del servicio Web para consultar último registro de nivel.....	228
Anexo 6.	Contenido del CD.....	231

1. Acta de constitución

Tabla 1.1 Constitución del proyecto

Proyecto	Sistema de alerta preventiva ante la ocurrencia de inundaciones causadas por desbordamiento de canales en zonas urbanas
Clave	HC1914.1
Fecha	01/04/2019

1.1. Justificación

Las inundaciones son de los eventos catastróficos que a diferencia de un sismo es posible anticiparlos (mas no evitarlos) con un tiempo relativamente largo, que puede ser de minutos hasta horas, dependiendo de las condiciones del sitio y las causas que lo generan. Actualmente, como parte de los sistemas de prevención se generan mapas de riesgo ante inundaciones como una herramienta de planeación y priorización de acciones preventivas que mitiguen las afectaciones por inundaciones. Sin embargo esta información comúnmente no está a disposición de la población en general y en algunos casos tampoco los cuerpos de emergencia cuentan con ellos.

Ante la inminencia o la ocurrencia del desbordamiento de un cauce (natural o artificial) los cuerpos de emergencia y la población en general necesitan estar preparados para actuar ante la inundación y con ello disminuir el riesgo a su vida y las afectaciones a su patrimonio.

El aprovechamiento de las tecnologías de medición, almacenamiento y transmisión de datos, así como el uso de sistemas móviles de comunicación, permiten que cualquier usuario de teléfono inteligente (SmartPhone) tenga acceso a diversa información en tiempo real, por tanto, es posible generar un sistema de monitoreo de niveles en cauces, ligado a la precipitación en la cuenca de aporte a dicho cauce y el pronóstico del comportamiento de la precipitación, tal que sea posible comunicar a las autoridades, cuerpos de emergencia y población en general el comportamiento del cauce y alertar ante un posible desbordamiento y su consecuente inundación, tal que por medio de avisos directos, la población pueda ponerse a salvo y los cuerpos de seguridad y emergencia efficienten sus labores antes, durante y después del evento.

1.2. Objetivos del proyecto

Generar un sistema de alerta preventiva ante la inminencia de un desbordamiento en cauces para zonas urbanas que, a través de una red de sensores de nivel instalados en puntos estratégicos del cauce, la medición de la precipitación en la cuenca de aporte y el pronóstico del comportamiento de la misma, permita a las autoridades, cuerpos de emergencia y población en general conocer en tiempo real, a través de una aplicación para Smartphone, el comportamiento del nivel en dicho cauce (o cauces) que pudieran causar afectaciones a la comunidad y poner en riesgo la vida de los habitantes.



1.3. Metodología

Para alcanzar los objetivos descritos se requiere ejecutar trabajos de campo y gabinete, utilizando para ello los métodos y técnicas más actualizadas con que se disponga, empleando las teorías y procedimientos comunes en la práctica, así como los software o modelos matemáticos, debiendo para estos casos indicar la bibliografía y/o condiciones bajo las cuales operan los mismos, y que deberán ser puestos a consideración de la Supervisión para su aprobación.

En los siguientes apartados se describe la metodología y alcance de los trabajos que se realizarán en cada una de las etapas, para lo cual el IMTA deberá mantener una relación estrecha, cordial y profesional con el personal de la Comisión Estatal de Agua, del Estado de Morelos, los gobiernos y dependencias locales que intervengan en el proceso.

Para la realización de los trabajos, el IMTA se apegará a las especificaciones que se detallan a continuación:

Se realizará un acercamiento al gobierno estatal, para que éste a su vez sirva como enlace con las comunidades potenciales para realizar el proyecto; una vez definido el sitio de aplicación se realizarán visitas de campo y reconocimiento al área en estudio, en las que recabará toda la información relacionada con la problemática existente y proyecto de solución, efectuándose además recorridos de campo para identificar posibles puntos de medición; con esta información se realizará el proyecto de solución con tres distintos enfoques:

1. Caracterización del área susceptible,
2. Instrumentación requerida y
3. Software para la integración de la información.

1.4. Estrategia del proyecto

El proyecto enfoca los objetivos mediante la ejecución de las acciones por parte de los tecnólogos del agua participantes con apoyo del personal de la Comisión Estatal del Agua, del Estado de Morelos, de las dependencias y gobiernos locales, dentro del cronograma, presupuesto y apegándose a las normas de calidad.

El proyecto ha identificado el componente de comunicación como la estrategia para lograr la aceptación y apoyo al proyecto por parte del personal de la comunidad.

1.5. Estructura de gobernabilidad

La Dirección del Proyecto (DP) estará a cargo del jefe de proyecto; el Representante de la CEAGUA Morelos (RCM) un Representante local (RL) y El Subcoordinador de hidráulica urbana del IMTA (SHU), serán la supervisión del proyecto.

1.6. Gerencia de proyecto

Derivado de la normativa y la manera de trabajo del IMTA, la Ilustración 1.1 presenta la estructura gerencial. La Dirección del Proyecto (DP) estará a cargo del jefe de proyecto; el Representante del Gobierno del Estado de Morelos (RCM) será el encargado de la comunicación entre el IMTA y las localidades; el Ayuntamiento de servicio asignará un Representante local (RL) que fungirá como enlace y facilitador por parte de la comunidad; El Subcoordinador de hidráulica urbana del IMTA (SHU) fungirá como asesor y enlace con la Dirección General del IMTA. Estos tres participantes a su vez, serán la supervisión del proyecto.

El manejo de los recursos disponibles, así como de los procesos técnicos internos para el desarrollo del proyecto, serán en común acuerdo del Subcoordinador de Hidráulica Urbana y el Jefe de proyecto, con la asesoría del equipo de trabajo del IMTA.

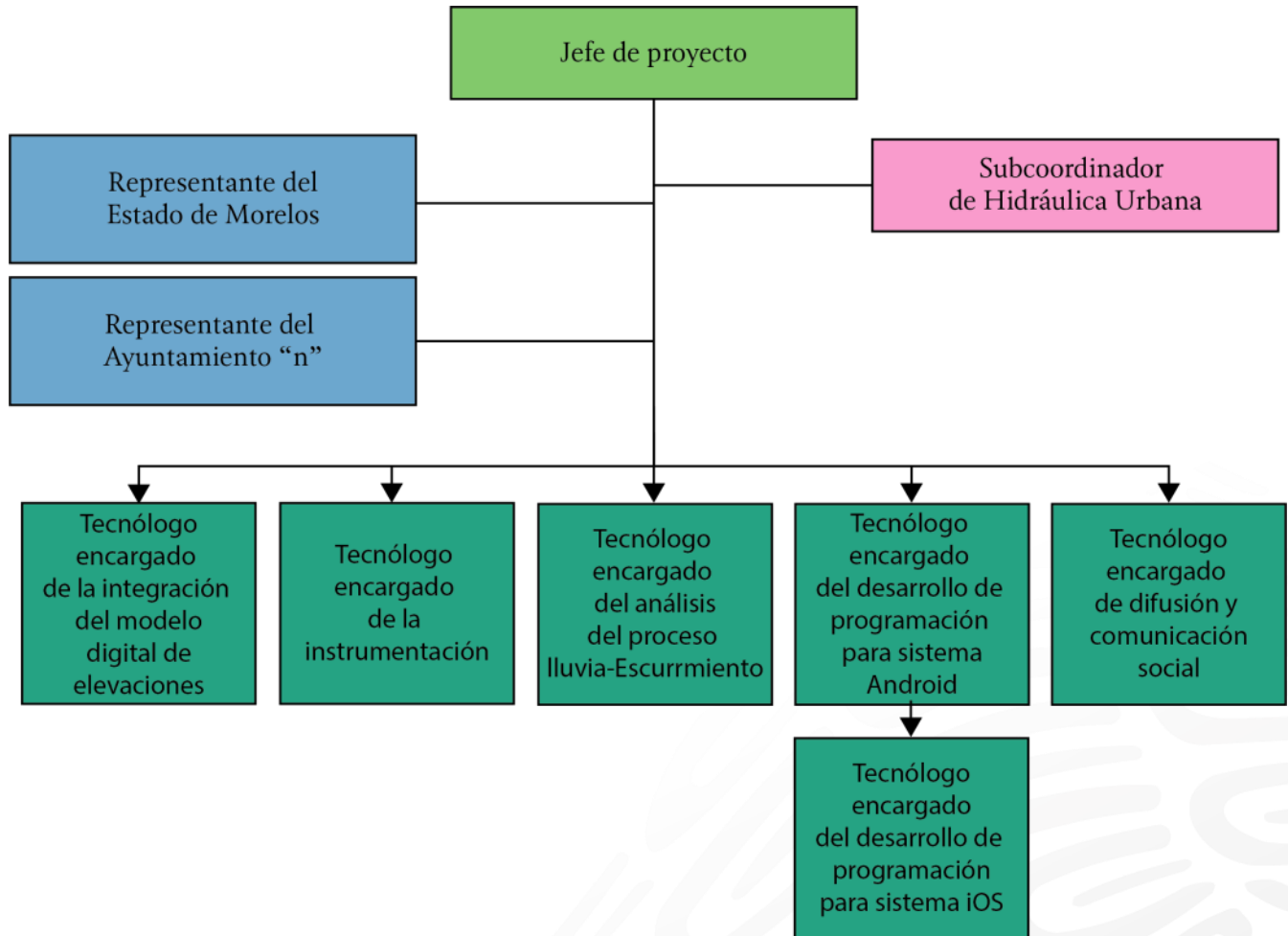


Ilustración 1.1 Estructura de la gerencia del proyecto

1.7. Control de cambios

Todas las solicitudes de cambios al programa deberán ser presentadas para su aprobación al Jefe de proyecto, quien junto con la supervisión evaluarán el impacto tanto en el área técnica como en el área programática, las ventajas del proyecto en relación con los costos y tiempos que el cambio requerirá. Una vez aprobada la solicitud, el jefe del proyecto procederá a realizar los cambios en los planes y programas.

2. Estructura desglosada del trabajo

Para el cumplimiento de los objetivos generales del proyecto se presenta la estructura desglosada del proyecto en sus cuatro metas.

Tabla 2.1 EDT, Primera meta

Meta	1	Definición de la comunidad a servir			
Componentes	1.1	Establecimiento de trabajo con el Gobierno del Estado de Morelos	1.2	Establecimiento de trabajo con la comunidad	
Paquetes de trabajo	1.1.1	Envío de oficio para reunión	1.2.1	Visita a sitio potencial de aplicación 1	
	1.1.2	Visita a oficinas del Gobierno del Estado de Morelos para presentación de propuesta	1.2.2	Visita a sitio potencial de aplicación 2	
			1.2.3	Presentación del proyecto y establecimiento de responsabilidades	

Tabla 2.2 EDT, Segunda meta

Meta	2	Elaboración del modelo numérico bidimensional de inundaciones				
Componentes	2.1	Integración de la información hidrológica	2.2	Información física de la zona de estudio	2.3	Elaboración del Modelo de simulación matemático
Paquetes de trabajo	2.1.1	Obtención de información base	2.2.1	Recorrido inicial del cauce en estudio	2.3.1	Integración de MDE, Subcuencas, microcuencas y red de drenaje pluvial
	2.1.2	Generación de lluvias de proyecto Hp, Tr	2.2.2	Delimitación de la localidad en LIDAR	2.3.2	Caracterización geomorfológica de la cuenca
			2.2.3	Integración de plano catastral de la comunidad	2.3.3	Calibración del modelo
			2.2.4	Levantamiento de infraestructura pluvial de la comunidad	2.3.4	Creación de Mapas de peligro
			2.2.5	Delimitación preliminar de la zona potencial de afectación		
			2.2.6	Levantamiento topográfico y batimétrico de detalle de la zona potencial de afectación		
			2.2.7	Integración del MDE de la comunidad		



Tabla 2.3 EDT, Tercera meta

Meta	3	Instrumentación del cauce				
Componentes	3.1	Instalación de dispositivos de medición	3.2	Instalación de dispositivos de comunicación	3.3	Establecimiento de la estación de control y monitoreo
Paquetes de trabajo	3.1.1	Definición de sitios de medición de niveles en el cauce	3.2.1	Diseño de los arreglos para la comunicación de los datos del sitio al centro de monitoreo y control	3.3.1	Desarrollo del programa de cómputo para la recepción y almacenamiento de los datos medidos
	3.1.2	Definición de sitios de medición de precipitación	3.2.2	Construcción de los arreglos para la comunicación	3.3.2	Desarrollo del programa de cómputo para el monitoreo del cauce en la estación de control
	3.1.3	Diseño de los arreglos para la colocación de los instrumentos	3.2.3	Desarrollo del programa de cómputo para la obtención y transmisión de los datos medidos	3.3.3	Desarrollo de la aplicación para dispositivo móvil, para el monitoreo y comunicación con los usuarios
	3.1.4	Construcción de los arreglos para la medición			3.3.4	Realización pruebas generales de funcionamiento

Tabla 2.4 EDT, Cuarta meta

Meta	4	Difusión y operación			
Componentes	4.1	Promoción y difusión de la aplicación	4.2	Operación del sistema	
Paquetes de trabajo	4.1.1	Campaña de difusión de la aplicación en la comunidad	4.2.1	Monitoreo del funcionamiento del sistema	
	4.1.2	Cuantificación y zonificación de la instalación de la aplicación	4.2.2	Encuesta de satisfacción de los usuarios	
			4.2.3	Aplicación de observaciones y correcciones	
			4.2.4	Taller para uso y transferencia de tecnología a la comunidad	

3. Definición de la comunidad a servir

3.1. Establecimiento de trabajo con el Gobierno del Estado de Morelos

Se estableció contacto con el Gobierno del Estado Morelos para presentar el proyecto, los objetivos y necesidades para el desarrollo del proyecto. Se establecerá un equipo de trabajo interinstitucional para definir la comunidad más adecuada para el desarrollo de las actividades.

Se elaboró el oficio de invitación para el Secretario Ejecutivo de la Comisión Estatal del Agua (CEAGUA), para presentar el proyecto, sus alcances y necesidades, sin embargo debido a las modificaciones del programa de trabajo no se ha entregado. Se espera entregarlo la segunda semana de Mayo. Con esto podrá definirse la comunidad para el estudio.

3.2. Establecimiento de trabajo con la comunidad

En oficinas del Organismo de Cuenca Balsas (OCB), de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), se realizó una reunión con el subdirector técnico del OCB, el Coordinador Estatal de Protección Civil del Estado de Morelos, personal de la Comisión Estatal de Agua del Estado de Morelos (CEAGUA) y de la Conagua para presentar el proyecto, los alcances y las necesidades del mismo. En la misma reunión se establecieron responsabilidades y acciones inmediatas a realizar. La Ilustración 3.1 presenta la lista de asistentes.


 SEMARNAT CONAGUA ORGANISMO DE CUENCA BALSAS LISTA DE ASISTENCIA			
NOMBRE	DEPENDENCIA	TELEFONO	CORREO ELECTRÓNICO
Miguel Angel Carras Alonso	Coordinación Estatal de Protección Civil	777 141 8875	migel.conales@morelos.gob.mx
SEBASTIÁN GONZÁLEZ CARRAS	CEPCM.	777-10005-15	sgonzalez@deise.com.mx
Juan Maldonado S	IMTA	777 329-3078	jmaldon@tlaboc.imta.mx
José Manuel Rodríguez Varela	IMTA	777 329 3678	manuel_rodriguez@tlaboc.imta.mx
Laurent Courty	IMTA	772 929 3600	laurent.courty@tlaboc.imta.mx
Rodrigo Ulises Sandoval Teller	IMTA	777 329 3600	rodrigo_sandoval@tlaboc.imta.mx
Pedro Alvarado C	CONAGUA	777 416 7247	pedro.alvarado@conagua.gob.mx
Ing. Enrique Clement Galindo	Coordinador Estatal de Protección Civil (Morelos)	777 38484 64	proteccion.civil@morelos.gob.mx
Gustavo Barrera Flores	Comisión Estatal del Agua.	777 281 8660	gustavo.barrera@morelos.gob.mx
Heriberto Galicia R.	CEAGUA	777 352 6630	heriberto.galicia@morelos.gob.mx
Victor Hugo Hernández Varela	Coaguera	777 100 8370	victor.hernandez@morelos.gob.mx
Eliseo Urioste P.	CEAGUA	5530474456	eliseo.urioste@morelos.gob.mx

Ilustración 3.1 Lista de asistencia de la primera reunión de trabajo



En integración, como grupo de trabajo se estableció que la cuenca del río Yautepec, cumple con las características adecuadas para realizar el estudio, por lo cual se seleccionó para su instrumentación, por tanto, se acordó realizarán visitas de reconocimiento a la zona, para definir los trabajos a realizar, establecer responsabilidades del equipo de trabajo.

Una vez definida la cuenca se realizó una segunda reunión con el presidente municipal del municipio de Yautepec, el subdirector técnico de OCB y el Coordinador Estatal de Protección Civil del Estado de Morelos para presentar el proyecto, los alcances y las necesidades del mismo, así como solicitar su apoyo (Ilustración 3.2).



Ilustración 3.2 Reunión con el presidente municipal de Yautepec



4. Elaboración del modelo numérico bidimensional de inundaciones

4.1. Integración de la información hidrológica de la cuenca del río Yautepec

El municipio de Yautepec pertenece al estado de Morelos, se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas 18°51'16" latitud norte y 99° 01' 18" longitud oeste, con una altitud promedio de 1210 m.s.n.m. (SNM, s.f), tiene una superficie de 202.93 kilómetros cuadrados. Sus colindancias son: al norte con los municipios de Tepoztlán, Tlayacapan y Atlatlahucan; al este con los municipios de Atlatlahucan y Cuautla; al sur con los municipios de Cuautla, Ayala y Tlaltizapán; al oeste con los municipios de Tlaltizapán, Emiliano Zapata, Jiutepec y Tepoztlán (INEGI, 2009).

Cuenta con 98 localidades donde se encuentran una población de 102 690 habitantes, acuerdo a la encuesta intercensal que realizó el Instituto Nacional de estadística y Geografía (INEGI, 2015).

4.1.1. Clima

El clima predominante en la localidad de Yautepec es cálido subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media de 22.1° que puede descender hasta lo 18° y aumentar a los 24 °, con un precipitación anual media 937.6 mm, que tiene un intervalo de 800 a 1000 mm.

4.1.2. Flora y fauna

En la ciudad de Yautepec, en su clasificación de flora y fauna se encuentran las diferentes especies que entre ellas destacan:

Flora: se encuentra principalmente por selva baja caducifolia, de clima cálido: jacaranda, tabachin, casahuate, ceiba y bugambilias.

Fauna: se encuentran los venados de cola blanca, jabalí, mapache, tejón, zorrillo, armadillo, liebre, conejo, coyote, gato montés, comadreja, cacomixtle, tlacuache, murciélago, pájaro bandera, chachalaca, arruca copetona, zopilote, aura, cuervo, lechuza y aves de ornato etc.

4.1.3. Orografía

De acuerdo a la orografía de esta localidad, al oriente de la ciudad de Yautepec se localiza el cerro de la Iglesia Vieja y el cerro de Calderón, los cuales separan los valles de Amilpas y de Yautepec; al poniente está la cordillera del cerro de Tetillas, la cual alcanza 1,660 metros de altura; igualmente se encuentra el cerro del Pericón con 1,500 metros de altura; otros cerros de menor altura son el Caracol con 1,380 metros, el cerro Palo Amarillo con 1,360 metros y el de Campo Grande con 1,320 metros (ver Ilustración 4.1)

Las zonas con pendientes abruptas se ubican al poniente con valores de 20% en la cordillera del cerro de las Tetillas, al sur se encuentran pendientes de 15 al 20% los cuales

corresponden a los cerros de palo amarillo y campo grande, al suroriente hay una parte que tiene pendientes que van del 10 al 15% que se unen con la zona del cerro el caracol ubicada al oriente del municipio y tiene pendientes del 5 al 10% de los cuales el 0.08% es de lomerío y el 0.53 % de lomerío con cráteres.

Por otro lado, las áreas con pendientes mínimas se ubican al poniente y sur del municipio y representa el 19.48% de valles con lomeríos, y las áreas más planas se ubican al centro de la localidad y cubren un aproximado de 53.31% de llanuras con lomerío, con pendientes del 0 al 15%.

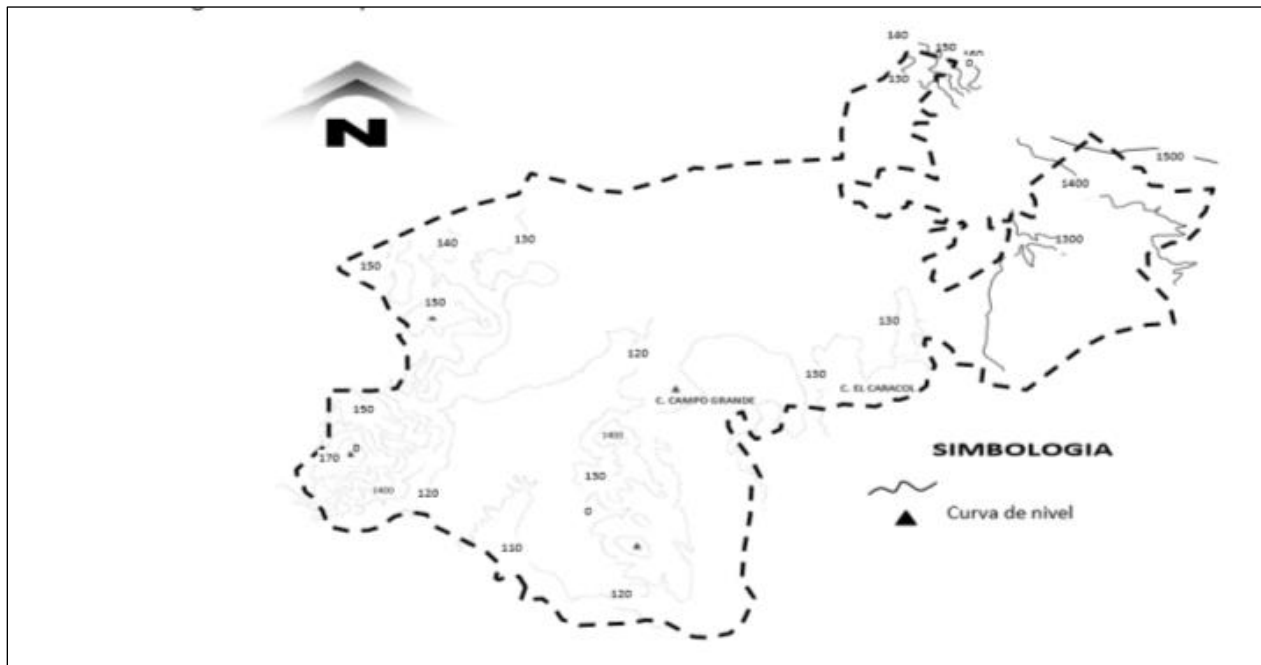


Ilustración 4.1 Principales elevaciones de la ciudad de Yautepec, Morelos, Fuente (SEIARN, 2019)

4.1.4. Hidrografía

El estado de Morelos está ubicado en la región hidrológica 18 (río balsas) Subregión Hidrológica “Medio Balsas” en la Ilustración 4.2 podemos ver la cuenca del Río Amacuzac. De acuerdo con el Programa hídrico visión 2030 del estado de Morelos, CONAGUA 2010, el 87% del estado de Morelos se encuentra dentro de la cuenca del río Amacuzac, donde se encuentra el río Yautepec.



Ilustración 4.2 Región hidrológica número 18 (parcial) cuenca del río Amacuzac. Fuente: Secretaría de Recursos Hidráulicos

La superficie de la cuenca de Amacuzac abarca, de forma total o parcial, 69 municipios: 31 municipios completos del estado de Morelos; 27 municipios del Estado de México; 7 de Guerrero, 2 de Puebla y 2 delegaciones del Distrito Federal. En su interior se albergan un total de 2,087 localidades de los estados señalados. Tiene una superficie de 8,946 kilómetros cuadrados.

Dentro del ciclo hidrológico en el Estado de Morelos, tiene como principal entrada de agua a la precipitación pluvial que incide sobre sierras y valles, la mayor parte de la lluvia se evapora hacia la atmósfera y el resto escurre superficialmente o se infiltra al subsuelo.

4.1.4.1. Aguas superficiales

La cuenca del río Yautepec se ubica en la porción central del estado de Morelos. Limita al norte con el Distrito Federal y el Estado de México, al oeste con la cuenca del río Apatlaco, al este con la cuenca del río Cuautla y al sur con la cuenca del río Amacuzac (PCEM, 2013).

Se tiene una red hidrológica variada, con un 80% de escurrimientos intermitentes, los cuales cobran gran interés en la temporada de lluvias dado que los suelos de la región son altamente permeables, pues facilitan la filtración de agua, generando una cuenca exorreica, particularmente, porque los ríos tienen una salida natural al sur hacia el estado de Guerrero (SEDESOL, 2012).

En la Ilustración 4.3 se muestra el cauce del río que atraviesa la ciudad de Yautepec. El Río Yautepec nace en los manantiales de Oaxtepec, recibe derrames de corrientes que provienen de los municipios de Tlayacapan y Totolapan, cruza la cabecera municipal y se une con el río del municipio de Tepoztlán; cruza las haciendas de Atlihuahuan y Xochimancas y al entrar al municipio de Tlaltizapán cambia su nombre por el Higuerón. El



río Yautepec tiene una longitud de 95.01 km en la cuenca y 72.3 km dentro del estado (CONAGUA, 2010).



Ilustración 4.3 Río Yautepec, fuente (PCEM, 2013)

Entre los arroyos de caudal permanente más importantes están el de Atongo, el de la barranca del Esconde, el de Huajoyucan y la Villa al sur del municipio. También existen caudales intermitentes como el Ignacio Bastida, el Itzamatlán y la barranca del bosque de aguas frías potables, además del manantial de aguas sulfurosas de Oaxtepec. Además, existen tres bordos de agua y 34 pozos de los que se extrae agua (SEDESOL, 2012).

La cuenca del río Amacuzac a la pertenece el río Yautepec tiene problemas con el uso y manejo del agua, es importante tomar en cuenta esto porque el agua puede ser aprovechada de diferente manera, pero también si no se tiene una cultura del cuidado de agua puede afectar a todos los que viven cerca. Unos de los problemas en la cuenca son:

- Baja eficiencia en el uso del agua para riego y superficies con infraestructura hidrológica no aprovechada en diversas partes de la cuenca
- Contaminación de las aguas superficiales debido a las aguas residuales o cuando los sistemas de alcantarillado sanitario a través de una planta de tratamiento trata las aguas y utiliza los ríos como sitio de vertido, pero en la mayoría de los casos quizá por el alto costo de mantenimiento y operación las plantas de tratamiento no funcionan de manera adecuada y no se es da un buen tratamiento por lo tanto al introducirse a los ríos estos contaminan y ya no se pueden usar como aprovechamiento, además de que estas situaciones también ponen en riesgo el sistema de agua potable a las ciudades.

Como se menciona en el anterior punto otro problema es la baja eficiencia de operación de sus sistemas, los operadores no están bien capacitados para poder realizar un buen trabajo

y los organismos operadores que son los encargados de los sistemas también en la mayoría de los casos no funcionan como deben.

4.1.5. Actividades productivas

Las principales actividades económicas en la zona de Yautepec son las actividades primarias, secundarias y terciarias.

En las actividades primarias se encuentran las que son la agricultura, ganadería, silvicultura, pesca. Se dedican a la cría de animales como son la cría de gallinas, toros, vacas, cerdos, para la obtención de alimentos, como los huevos, carne leche y miel. Los principales cultivos son la alfalfa verde, el frijol, el grano de maíz, el grano de sorgo y en menor cantidad el cultivo del jitomate rojo.

Con respecto al sector secundario, cuenta con la energía eléctrica como un factor económico.

El terciario son las actividades gubernamentales, el comercio, la salud, la banca, el transporte y otros mayormente sociales. La ciudad tiene lugares atractivos turísticos donde puedes gozar de un buen clima y una variedad de balnearios, que es una de las cosas que los caracteriza en esa zona.

Yautepec como otros municipios funcionan como centros agrícolas en la actividad agroindustrial basada en la caña de azúcar por lo que contratan jornaleros para realizar el trabajo, además de producir generan trabajo a otras personas.

4.1.6. Educación

En la ciudad de Yautepec, su infraestructura en educación se divide en dos; las instalaciones de escuelas públicas por nivel educativo e instalaciones de escuelas privadas por nivel educativo, como se muestra en la Tabla 4.1 y Tabla 4.2.

Tabla 4.1. Instalaciones de escuelas públicas por nivel educativo, fuente (INAFED, 2010)

Nivel educativo	Escuelas	Aulas					Promedio de aulas por escuela ²
		Total	En uso	Adaptadas	Talleres	Laboratorios	
Preescolar	52	135	119	5	0	0	3
Primaria	60	454	397	6	0	0	8
Secundaria	17	181	164	19	0	0	11
Bachillerato	4	59	55	2	1	10	15

Tabla 4.2. Instalaciones de escuelas privadas por nivel educativo, fuente (INAFED, 2010)

Nivel Educativo	Escuelas	Aulas					Promedio de aulas por escuela ²
		Total	En uso	Adaptadas	Talleres	Laboratorios	
Preescolar	21	50	49	10	0	0	2
Primaria	12	66	63	0	0	0	6
Secundaria	9	32	32	0	0	0	4
Bachillerato	5	19	16	4	4	5	4
Profesional Técnico	6	26	16	1	6	2	4

Para el año de 2010 el municipio de Yautepec se tiene que 11,492 habitantes presentan estudios incompletos de primaria, 86,074 personas se encuentran en edad de integrarse al ámbito estudiantil, 30,115 cuentan con nivel de estudio primaria, 8,005 personas en un rango de 18 años y más cuentan con un estudio de nivel profesional, 479 con estudio de posgrado y 4,543 habitantes en un rango de 15 años y más son analfabetas (INAFED, 2010).

4.1.7. Riesgo peligros y/o vulnerabilidad ante fenómenos de origen hidrometeorológicos.

De acuerdo un informe elaborado por la SEDESOL (2012) se elaboró un cuestionario de información de las autoridades para que, en base sus experiencias en el municipio proporcionaran algunos datos para poder conocer cómo está el municipio al ocurrir fenómenos hidrometeorológicos que afectan a la población.

Tabla 4.3. Matriz de peligro. Fuente: SEDESOL, 2012.

Origen	Fenómeno	Localidad	Eventos	Periodicidad	Impacto	Ejemplo de eventos
METEOROLÓGICO	Ondas tropicales	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Lluvias extremas (muy intensas y de larga duración) resultantes de fenómenos tales como huracanes o depresiones tropicales.
	Heladas y nevadas	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Colapso de tejados, casos epidémicos de hipotermia en la población.
	Tormentas Eléctricas	Todo el municipio	No aplica	Cada año	No aplica	Árboles, antenas o tejados afectados por descargas eléctricas.
	Sequías	Todo el municipio	Perdidas agrícolas	10 años	No aplica	Reportes de años secos y de pérdidas agrícolas por falta de agua.
	Temperaturas máximas extremas	Todo el municipio	No aplica	Cada año	No aplica	Olas de calor
	Vientos fuertes	Todo el municipio	Árboles pastos y caminos	Cada año	No aplica	Derribo de árboles, casas, postes o similares.



Origen	Fenómeno	Localidad	Eventos	Periodicidad	Impacto	Ejemplo de eventos
	Inundaciones	Zonas de riesgo	Viviendas semi-inundadas	Cada año	900 viviendas	Viviendas, infraestructura y sembrados anegados o cubiertos por agua. En caso de que la inundación no sea de ascenso gradual vertical, es decir, que sea de flujos más sólidos que hídricos, se puede asociar con flujos de lodo. Las inundaciones suelen ser causadas por lluvias extremas, desbordes de ríos y/o ambas causas combinadas.
	Granizo	Todo el municipio	Granizo	Cada año	No aplica	Colapso de tejados y pérdida de cosechas por granizo.

En base a la tabla anterior de los fenómenos meteorológicos se puede mencionar que las inundaciones es uno de los problemas que más afecta a la ciudad de Yautepec dejando daños a la infraestructura.

4.2. Antecedentes

Existen diferentes causas que ocasionan el problema de las inundaciones algunas de ellas son; las precipitaciones extremas, el crecimiento acelerado de las áreas urbanas, falta de mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura hidráulica, la antigüedad de los sistemas de alcantarillado, el comportamiento inapropiado de los habitantes por la falta de conciencia ambiental, la topografía del lugar, los pozos de absorción de agua pluvial no operan de buena manera y la deforestación. Siendo algunas de las causas que provocan las inundaciones.

El problema de las inundaciones en los últimos años, es un tema que se ha causado un mayor impacto en diferentes ciudades de México, a causa de un aumento en las precipitaciones generadas en un menor intervalo de tiempo. A su paso estas lluvias atípicas, han sido unos de los principales causantes de daños y pérdidas de vida en las ciudades del país, en base a datos de la Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) como se muestra en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Impacto de los desastres en las ciudades del país, 2000-2010. Fuente: (CENAPRED, 2010).

Fenómeno	Muertes	Personas afectadas	Total de daños (millones de pesos)
Hidrometeorológicos (huracanes e inundaciones)	1,481	15,093,693	227,320.26
Geológicos (sismos)	272	591,565	12,007.78
Químicos (explosiones e incendios urbanos)	614	5,697	2,591.45
Total	2,367	15,744,995	241,919.49



Se ha determinado que, por evento de inundaciones, en el estado de Morelos se tienen daños económicos por 19.3 millones de pesos, con más de 16 mil habitantes que están asentados en zonas de riesgos (SEMARNAT, 2012).

En la ciudad de Yautepec, ha llegado a tener precipitaciones extremas que no han sido contempladas anteriormente, causando problemas de encharcamientos y las inundaciones, los cuales han llegado a ocasionar grandes afectaciones tanto físicas en la infraestructura como pérdidas humanas y económicas. Algunos de los sucesos que han ocurrido y llegado a afectar fuertemente a la población han sido.

El 25 de agosto de 1985, así en el mes de septiembre de 1998 y 2003, las inundaciones han registrado niveles de 1.60 m y 1.95 m en la zona comercial del centro de Yautepec, cabe mencionar que el río Yautepec pasa a 200 m metros del sitio referido en donde hay varias placas de referencia de los niveles de inundación anteriores.

A continuación se hace un resumen de los acontecimientos que han sucedido en Yautepec con respecto a problemas con encharcamientos o inundaciones de forma cronológica.

4.2.1. Acontecimientos del 28 de septiembre de 1998

Noticias del diario mexicano “la jornada” editado por la compañía, número 5055, publicado el 30 de septiembre de 1998 (La jornada, 1998)

En esta fecha la ciudad de Yautepec nuevamente se ve afectado por las fuertes lluvias provocando inundaciones, en menos de una semana se desbordo el río Yautepec por lo que 600 familias fueron reubicadas en albergues al inundarse sus viviendas ya que el agua alcanzo metro y medio de altura; en otras 400 casas también se reportan daños. La fuerte corriente de agua derrumbó dos puentes y habría arrastrado a dos niños, que están reportados como desaparecidos.

4.2.2. Acontecimientos del 05 de julio de 2003

La jornada Morelos, Notimex, Alfredo Valadez y Víctor Ruíz, *publicado el 05 de septiembre de 2003* (La jornada Morelos, 2003)

Como resultado de las intensas lluvias en el estado de Morelos, la Secretaría de Seguridad Pública Estatal (SSPE) y la Dirección General de Protección Civil reportaron inundaciones y, en algunos casos, la suspensión del suministro de energía eléctrica, en los municipios de Huitzilac, Tepoztlán, Cuernavaca, Yautepec, Temoac y Temixco.

El titular de la SSPE, Jesús Sebastián Isunza Gutiérrez, dijo que, en coordinación con las autoridades municipales, Protección Civil del estado y la Secretaría de la Defensa Nacional colaboran en el rescate y apoyo de las personas que sufrieron algún daño por las lluvias de la mañana del viernes, que posteriormente causaron al desbordamiento del río Yautepec, ocasionando pérdidas materiales y cientos de damnificados.



Ilustración 4.4 La intensa precipitación causó inundaciones en diversos municipios de Morelos (la imagen corresponde a Jiutepec), Zacatecas y Oaxaca

En el municipio de Tlaltzapán hubo inundaciones, sobre todo en el balneario Las Estacas, mientras que en Jiutepec como se muestra en la Ilustración 4.4 el agua alcanzó hasta 70 centímetros en las avenidas Atlacomulco, 10 de abril, Estrada Cajigal, la Joya y Tejalpa.

Hasta la tarde de ayer, la CFE reportó 27 interrupciones, la mitad de ellas en Yautepec, lo que afectó a 6 mil 500 usuarios.

4.2.3. Acontecimientos del 17 de agosto de 2010

Durante el día las lluvias llegaron a crecer hasta una altura de 1.10 m provocando inundaciones en la zona urbana de Yautepec, dejando pérdidas materiales.

Periódico "NOTIMEX" publica el 18 de agosto de 2010. Se desborda ocho barrancas y un río en Morelos.

La Dirección de Protección Civil del estado de Morelos informó que tras las lluvias de las últimas horas se registró el desbordamiento de al menos ocho barrancas en Tlayacapan y del río Yautepec, afectando casas y comercios.

En entrevista, el titular de Protección Civil, Basilio Miranda Román, comentó que ayer se registró una lluvia muy intensa en la parte alta de Tlalnepantla y Tlayacapan, lo que provocó que las ocho barrancas que atraviesan por este último municipio se desbordaran, causando daños a varias casas de las orillas de estas zonas'.

'En dichos domicilios hubo inundaciones de hasta 50 centímetros de altura', comentó.



'Esta mañana saldrán brigadas hacia el municipio de Tlayacapan para el retiro de lodo y saneamiento básico; de igual forma, otra brigada saldrá hacia el municipio de Ciudad de Ayala y Yecapixtla', indicó.

Mencionó que 'el río que nos está generando cierta problemática es el Yautepec, el río Cuautla, con su incremento, le afecta a Ciudad Ayala'

Hasta el momento, el reporte de afectaciones es de 107 casas en las colonias Olintepec, la Capilla y los Almendros, del municipio Ciudad Ayala; en Yautepec, 39 comercios y 19 casas fueron dañadas en por el desbordamiento del río del mismo nombre.

Ante ello, se abrieron dos albergues temporales en los municipios de Cuautla y Tlayacapan.

Agregó que 'en el río Apatlaco, gracias al trabajo preventivo de limpieza del cauce, ha estado fluyendo de manera normal, no han presentado desbordes, sin han presentado incrementos importantes en sus cauces'.

Sin embargo, dijo que 'afortunadamente no tenemos el reporte de personas extraviadas, ni lesionadas, ni fallecidas', tras las precipitaciones pluviales de las últimas horas.

Señaló que, durante la temporada de lluvias, únicamente se ha registrado el deceso de dos personas, una en Oaxtepec y otra en Yecapixtla.

Finalmente, la Dirección de Protección Civil exhortó a los habitantes que viven principalmente en las orillas de barrancas, a que estén al pendiente de los medios de comunicación donde se dan a conocer los boletines meteorológicos.

4.2.4. Acontecimientos del 25 de agosto de 2010

En la madrugada de este día en el municipio de Yautepec se inundaron 15 colonias a causa la crecida histórica del Río Yautepec debido a la lluvia, teniendo en ese municipio alrededor de 1000 damnificados. Debido a esta lluvia también se vieron afectados los municipios de Tlatizapán y Tlaquiltenango. Este evento quedo registrado en la estación automática Tepoztlan del Meteorológico Nacional, como se muestra en la Ilustración 4.5 Se puede observar que llovieron 66.5 mm en 3.67 horas eso solo en la zona en la que se encuentra la estación automática.

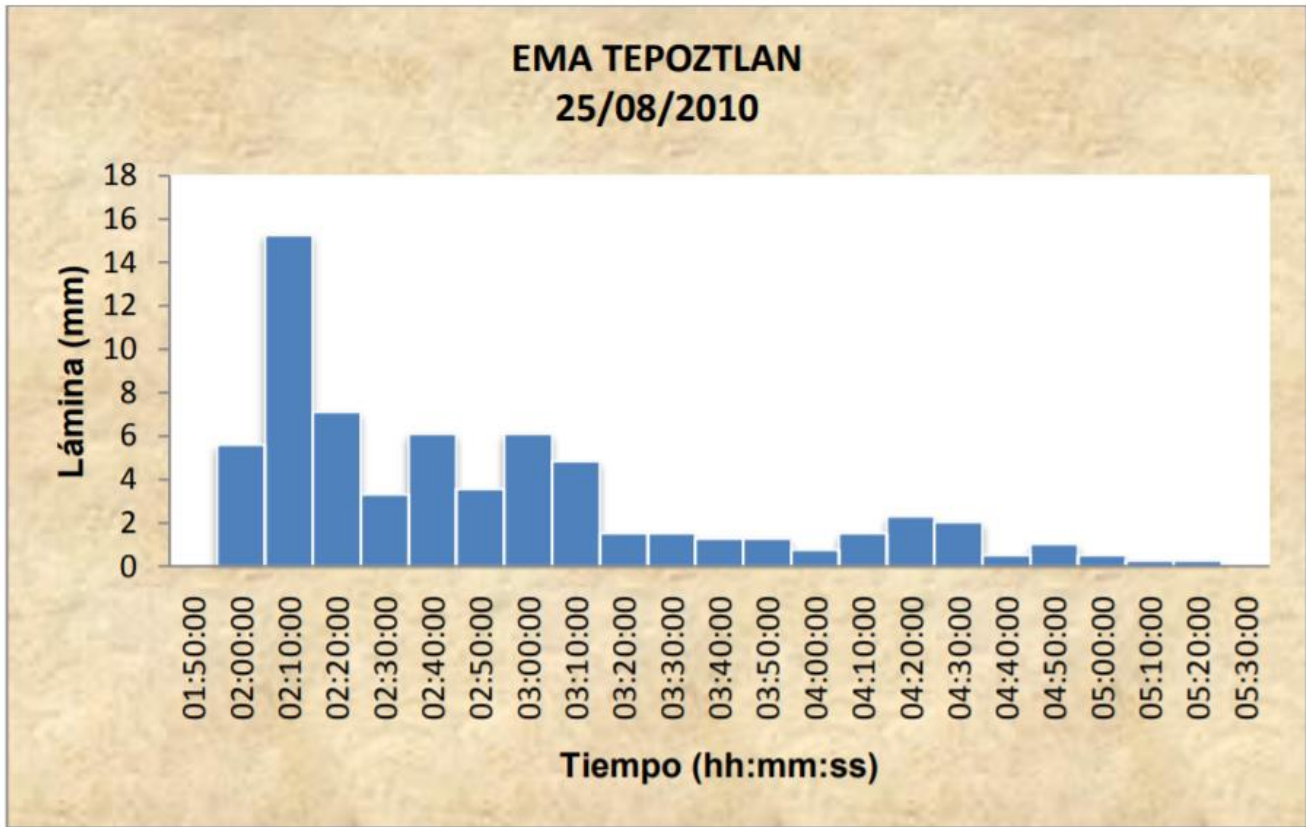


Ilustración 4.5 Lluvia registrada por la estación automática Tepoztlán. Fuente: (CONAGUA, 2013)

Noticia:

El río Yautepec marcó la noche de este martes una crecida histórica en su cauce al alcanzar los 10.80 metros de altura. Se estima que cada segundo pasó 108 mil litros de agua por segundo por el río lo que provocó la inundación de dos mil hogares y la afectación a cientos de comercios y escuelas del centro de la ciudad ver Ilustración 4.6 y Ilustración 4.7.

Los mercados Centenario y Huerta Cárdenas sufrieron inundaciones, luego de que hace 9 días se registrara una inundación cuando el río alcanzo el histórico- para aquella ocasión- de 7.8 metros sobre su cauce.

Las colonias afectadas por la creciente de anoche son: Santa Lucia, Flores Magón, Itzamatitlán, Jacarandas, Ixtlahuacan, Felipe Neri, Buena Vista, Centro Rancho Nuevo, San Juan y la Cuauhtémoc.

Los daños no han sido cuantificados, pero se solicitará a la secretaría de gobernación declarar zona de desastre a la cabecera municipal y al poblado de Cocoyoc en donde se inundaron las colonias Alejandra, Cocoyoc Centro y la Vicente Guerrero.



El secretario del ayuntamiento Miguel Quiroz Maldonado indico que se espera la ayuda del gobierno del estado y anunció el inicio de las gestiones ante la secretaria de gobernación para declarar a la cabecera como zona de desastre.

Adelantó que solicitaran la aplicación del Fondo de Desastres Naturales, que es un instrumento financiero mediante el cual, dentro del Sistema Nacional de Protección Civil, apoya a las entidades federativas en la atención y recuperación de los efectos que produzca un fenómeno natural, de tipo Hidrometeorológicos como lluvias extremas, inundaciones atípicas y tornados.

La barranca chica afecto a las colonias Apanquetzalco, 13 de septiembre, Rancho Nuevo, Zaragoza, Ignacio Manuel Altamirano y los fraccionamientos Villautepec y Yautesol.

El ayuntamiento habilitó la mañana de este miércoles varios albergues en el Seguro Social, en la escuela de la colonia Jacarandas, en el Auditorio ejidal de San Carlos, el DIF municipal e instaló un comedor en el centro de Yautepec para brindar alimento a los damnificados.



Ilustración 4.6 Yautepec se declara zona de desastre



Ilustración 4.7 Se desborda río en Yautepec; afecta a más de mil viviendas



4.2.5. Acontecimientos del 03 de octubre de 2014

El periódico “LA UNION DE MORELOS” numero 7471, en ciudad de Cuernavaca Morelos, Se desbordo el río Yautepec; afecto decenas de casas. Una barranca rebaso su límite en la cabecera municipal de Yautepec, pag. 18, 19 y 29.

Monitorea la CEA crecida del río yautepec.

Trabajos previos evitaron afectaciones mayores: juan carlos valencia vargas.

La comision estatal del agua (CEA) mantiene monitoreo permanente del río, yautepec ya que rebaso su escala critica la madrugada de este viernes debido a las precipitaciones que se presentaron en los Altos de Morelos por la tarde y la noche del jueves dos de octubre. Juan carlos Valencia Vargas ejecutivo de la CEA, informo que el monitoreo del afluente inicio desde las tres de la mañana, hora en que el tirante del río alcanzo su escala critica que es de 4.80 metros, despues de que se presentaron las lluvias fuertes en los municipios de Totolapan, Ocuituco y Yecapixtla.

“ Desde la madrugada la comision nacional del agua (CONAGUA) nos reporto que el río estaba creciendo muy rapidamente, su escala critica la alcanzo aproximadamente a las tres y media de la madrugada y poco antes de las cinco de la mañana el río alcanzo su nivel maximo que fue de 6.70 metros, es decir que se rebaso su escala por casi dos metros, detallo sin embargo y pese al incremento del caudal y nivel del río, no hubo afectaciones graves, gracias a las obras de prevencion y desasolve que realizo la CEA antes de la temporada de lluvias en los municipios de Yautepec y Tlaltizapán.

“ Los trabajos que hicimos previamente evitaron que el río Yautepec desbordara en la cabecera municipal, como sucedió en el 2010”, indicó.



Ilustración 4.8 Gracias a las medidas preventivas que se tomaron el río no afecto muchas zonas de la ciudad.
Fuente: (LA UNION DE MORELOS)

Entre las acciones que se realizaron para evitar afectaciones, destaca la construccion de la presa rompe picos en Cocoyo, sobre elevación de bordos y la instalación de un tapete

flexible en la zona de Ticumán, así como la ampliación del cauce en diversos tramos del río Yautepec.

Sin embargo, se registraron contingencias en la colonia Estrada Cajigal de Yautepec, donde hubo afectaciones a 20 casas. En Temilpa Viejo en Tlaltizapan fueron 36 las viviendas anegadas y en la Celerino Manzanares en Tlaquiltenango las afectaciones se presentaron en aproximadamente 20 casas.

Atienden brigadistas de desarrollo sustentable afectaciones por lluvias en Yautepec y Tlaltizapán. 40 elementos de las brigadas de contingencias y emergencias ambientales apoyan a vecinos afectados.



Ilustración 4.9 Protección Civil mantiene el monitoreo de la barranca "chica" y del río Yautepec. Fuente: (LA UNION DE MORELOS)

En respuesta al llamado de auxilio solicitado por el instituto estatal de protección civil, 40 brigadistas conocidos como "Zacatuches" del centro estatal de contingencias y emergencias ambientales de la secretaria de desarrollo sustentable (SDS), realizan labores de saneamiento en las viviendas y calles afectadas por inundaciones causadas por las lluvias registradas la noche del jueves en los municipios de Yautepec y Tlaltizapán como se muestra en la Ilustración 4.10.



Ilustración 4.10 Personal de la Coprisem acudió a la zona afectada para realizar acciones de salud. Fuente: (LA UNION DE MORELOS)



Esta madrugada recibimos el reporte del afluente “Las Lilianas” del río Yautepe, por lo que 40 elementos del cuerpo de brigadistas salió desde muy temprano para llevar a cabo labores de saneamiento y desinfección de 20 casas y cinco cisternas en las colonias Benito Juárez, Ignacio Manuel Altamirano y Estrada Cajigal del municipio de Yautepec. Por su parte en la localidad de Temilpa Viejo de Tlaltizapán, fueron 36 casas afectadas por inundaciones de aproximadamente 40 centímetros, así como cinco calles”, informó José Iván Fernández, subsecretario de Gestión Ambiental de la SDS.



Ilustración 4.11 Las personas tratan de sacar el agua de sus espacios. Fuente: (LA UNION DE MORELOS)



Ilustración 4.12 Vecinos y brigadas de limpieza retiran el lodo de las calles. Fuente: (LA UNION DE MORELOS)

Dejan lluvias daños en Tlaltizapán y Tlaquiltenango

Se desbordó el río Yautepec.

Zona sur. – Al menos 56 viviendas y el cierre momentáneo de la circulación en el puente conocido como “Las Estacas” fue el saldo que dejó el desbordamiento del río Yautepec la mañana de este viernes a la altura de los municipios Tlaltizapán y Tlaquiltenango.

Juan Carlos Valencia Vargas, titular de la Comisión Estatal del Agua (CEA), hizo acto de presencia en las zonas que registraron afectaciones menores, donde confirmó la contingencia.

Informo que la alerta se emitió alrededor de las 5:00 horas de este viernes cuando el cauce del río había rebasado su escala crítica como se observa en la Ilustración 4.13 por más de dos metros, “por la madrugada se notificó de que el cauce del río había rebasado



su escala crítica por dos metros más, registrando desbordes en la comunidad de Temilpa Viejo.



Ilustración 4.13 El cauce del río rebasó su escala crítica por más de dos metros

Trascendió que del mismo modo fue bloqueada la circulación por un momento en el puente vehicular a la altura de la citada comunidad, ya que presuntamente se registran grietas en su estructura, por lo que se procedería a valorar sus condiciones por parte de personal de obras públicas del gobierno del estado.

Se desbordo la barranca "chica"; hay 250 casas inundadas

El río Yautepec alcanzo el 90% de su capacidad.

Yautepec. - Entre 250 a 300 personas damnificadas luego de la afectación de 100 viviendas, ocurrida en las colonias Vicente Estrada Cajigal, Benito Juárez e Ignacio Manuel Altamirano de este municipio, donde en algunos casos el agua alcanzo 40 centímetros ver Ilustración 4.14.



Ilustración 4.14 Se reportan daños materiales en las colonias Vicente Estrada Cajigal, Benito Juárez e Ignacio Manuel Altamirano



Ello ocurrió luego del desbordamiento de la barranca “chica” por la cual transito el agua, tras de la precipitación pluvial ocurrida en comunidades del municipio de Tepoztlan, señaló el presidente municipal, Agustín Alonso Mendoza.

El alcalde, quien fue localizado mientras supervisaba los trabajos de la calle “Limonos”, estableció que “en estos momentos los trabajos que llevamos a cabo es para evitar más afectaciones, pues estamos seguros de que va a seguir lloviendo y estamos llevando a cabo labores de limpieza y sanidad como se muestra en la Ilustración 4.15.



Ilustración 4.15 Los trabajos de limpieza iniciaron desde la mañana de ayer

Mientras que el río Yautepec reportaba más de seis metros en su nivel, cuando su estado crítico está ubicado en 4.8 metros, cerca de las 3:30 horas, las autoridades a través de la dirección de protección civil municipal, dieron la alerta a los habitantes de estas colonias.

4.2.6. Acontecimientos del 10 de agosto de 2016

Periódico “Excélsior” el periódico de la vida nacional, Tomo IV, No. 36,135 Ciudad de México. Pág. 20. Las lluvias golpean a Morelos; un muerto hay daños en 8 municipios.

Las lluvias que cayeron la noche de este martes dejaron afectaciones en ocho municipios de Morelos y daños en al menos 150 viviendas, en las que habitan más de 800 personas informo el director general de la Coordinación Estatal de Protección Civil Morelos (CEPCM), Javier Bermúdez Alarcón, ver Ilustración 4.16.

Los municipios afectados son: Cuernavaca, Jiutepec, Yautepec, Tepoztlán, Emiliano Zapata, Tlaltizapán, Temixco y Xochitepec, como se muestra en la Ilustración 4.17.

El más afectado fue el municipio de Yautepec, debido al desbordamiento de la barranca Apanquetzalco, además, la lluvia provocó derrumbes sobre la carretera federal Cuernavaca-Cuautla, a la altura del Cañón de Lobos.



Ilustración 4.16 Más de 250 casas afectadas por las lluvias

El titular de la CEPCM exhortó a la población a estar pendientes de los avisos, porque las precipitaciones continuarán y los ríos pueden crecer.

Detalló que el río Apatlaco alcanzó su escala crítica a la altura de Zacatepec, mientras que el Yautepec a la altura de Ticumán; sin embargo, aún no se presentan desbordamientos.



Ilustración 4.17 Las colonias afectadas en Yautepec son General Anaya e Ignacio Manuel Altamirano

4.3. Acontecimientos del 25 de agosto de 2019

Periódico Milenio, lluvia granizo e inundaciones casi en todo el país.

Lluvias y granizadas afectaron a gran parte del país, lo que generó que las autoridades de diversos estados pusieran en marcha estrategias de protección a la ciudadanía.

En Morelos, las lluvias provocaron afectaciones principalmente en Cuautla y se reportó la caída de árboles en los municipios de Jonacatepec, Yautepec y Tetela del Volcán.

De acuerdo con el SMN se espera que para hoy Ivo se convierta en depresión tropical.

Tras estos daños ocasionados anteriormente a consecuencia de las inundaciones se ha ido tomando algunas medidas de prevención en la ciudad de Yautepec ya que la zona donde



se ubican por el río que corre ahí es vulnerable a las inundaciones en algún momento que la precipitación sea mayor de lo normal y que el volumen del río aumente y ocurran daños a la población.

El 20 de junio de 2018 en el periódico "la unión noticias" fue publicado una nota de una medida que los habitantes del municipio tomaron que llevaba por título refuerzan medidas para prevenir inundaciones en Yautepec, que es la que se presentara a continuación:

Establecen alarmas vecinales para advertir algún peligro.

Yautepec. - Tras las primeras afectaciones ocasionadas por las fuertes lluvias, la Dirección Municipal de Protección Civil dio a conocer que se reforzaron las medidas para evitar una inundación como las ocurridas en años pasados, para lo cual se coordina un sistema de alarmas vecinales para alertar a la población en caso de una amenaza de inundación por el crecimiento del río Yautepec.

Al mismo tiempo se mantiene el monitoreo en las construcciones dañadas por el sismo, a fin de advertir a tiempo cualquier amenaza por el reblandecimiento de las estructuras que se mantienen apuntaladas, señaló Julio César Núñez Hipólito, titular de Protección Civil, quien precisó que este municipio ya hizo entrega de su Plan de Contingencias Hidrometeorológicas a la Coordinación Estatal de Protección Civil (CEPC).

Manifestó que después de los daños estructurales registrados en el puente que estaba ubicado en la calle Álvaro Obregón esquina con Corregidora en la colonia Vicente Estrada Cajigal, a un costado del Campo Deportivo Yautepec ver Ilustración 4.18 debido al incremento en el caudal de la barranca Chica, se ha puesto especial atención a este tipo de estructuras y en las edificaciones antiguas para evitar afectaciones a la población.

Núñez Hipólito señaló que dicho puente tuvo que ser demolido para prevenir su desplome y un desbordamiento de la barranca que podría afectar a más de 200 familias que habitan en la zona.

Indicó que las iglesias y demás edificios antiguos están bajo vigilancia del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), instancia que deberá entregar los dictámenes correspondientes para saber si procede o no su rehabilitación.

El titular de Protección Civil dijo que debido a que la alarma contra inundaciones que había sido instalada en el centro de la ciudad de Yautepec no recibió mantenimiento por varios años, a su regreso a esta dependencia se procedió a establecer un mecanismo de alerta para los habitantes del centro de la ciudad mediante alarmas vecinales.

Para ello, se han coordinado esfuerzos con vecinos y comerciantes de la avenida Morelos quienes por cuenta propia han instalado alarmas, con las cuales se está estableciendo una red para hacerlas sonar en caso de que el caudal del río Yautepec sobrepase la

escala crítica. Lo anterior se suma a la limpieza de cauces en los puntos considerados como de riesgo de inundación, agregó.



Ilustración 4.18 El puente de la colonia Vicente Estrada Cajigal tuvo que ser demolido para prevenir su desplome y el desbordamiento de la barranca

Tabla 4.5 Resumen de acontecimientos

Año	Mes	Colonias/Calles	Precipitación (mm)	Fuente
2016	Agosto	Barranca Apanquetzalco, Cañón de Lobos	7-20	https://www.excelsior.com.mx/nacional/2016/08/11/1110181
2010	Agosto	Jacarandas, Cuauhtémoc, Felipe Neri, Estrada Cajigal, Flores Magón, 10 de Septiembre y Centro; Calle: San Juan, Santiago, Buena Vista y Rancho Nuevo	Sin datos	https://www.jornada.com.mx/2003/07/05/041n1soc.php?printver=1&fly=
2003	Julio	Julio colonias Otilio Montaño, Estrada Cajigal, Benito Juárez y en el primer cuadro de la Ciudad de Yauatepec	Sin datos	https://www.jornada.com.mx/2003/07/05/041n1soc.php?printver=1&fly=
1998	Septiembre	Río Yauatepec, centro del municipio (mercado)	Sin datos	https://www.jornada.com.mx/1998/09/30/estados.html

4.4. Hidrología

4.4.1. Lluvia

La lluvia es un fenómeno meteorológico que consiste en el agua que cae en forma de precipitación líquida desde las nubes, formadas por el proceso de condensación del vapor de agua, que al tener un tamaño y peso no resiste y cae sobre la superficie del suelo, en la Ilustración 4.19 se presenta las fases del proceso de la lluvia- escurrimiento o mejor conocido como el ciclo hidrológico.

Las lluvias en el municipio de Yautepec se dan en los periodos previstos en los meses que normalmente se tiene contemplado, pero a diversas causas en los últimos años ha llovido en meses como el cambio climático que es uno de los factores que más ha afectado en la actualidad a muchos estados de la república. En los últimos años se han reportado diversas lluvias en tiempos no previstos y las afectaciones han sido más de las habituales. Es necesario que en la localidad se tenga en cuenta dentro de su infraestructura hidráulica un sistema de alcantarillado pluvial porque ayudaría mucho a evitar las inundaciones, pero a la vez debe ser un sistema que opere de buena manera dándole el mantenimiento que debe y que sea un solo sistema que no esté combinado o mixto con el sistema de drenaje sanitario, porque aunque es un costo más, sus funciones son mejores ya que solo recolectara el agua de las lluvias, llevándolas a través de un sistema de conducción a un solo sitio

La lluvia tiene sus beneficios siendo en una medida considerable pero cuando la precipitación llega a ser mayor esta ocasiona muchos daños a la población.

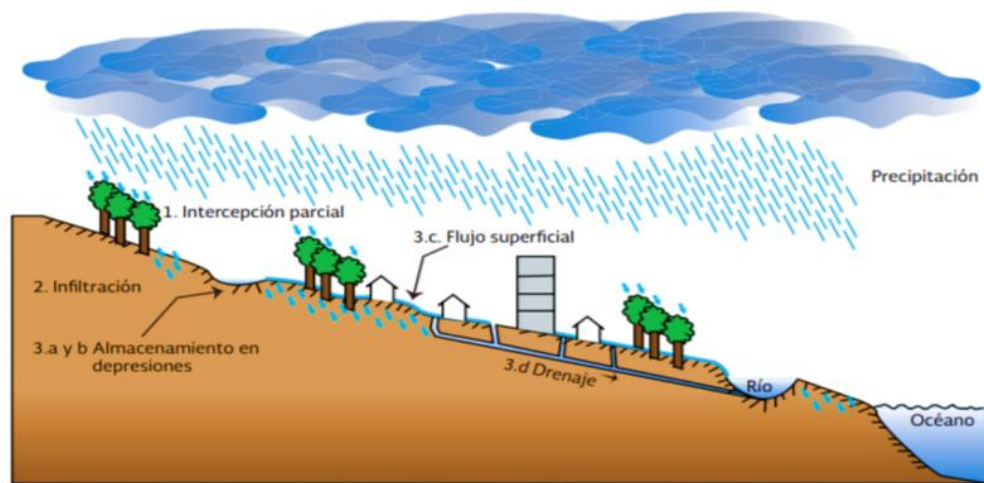


Ilustración 4.19 Fases del proceso lluvia-escorrentía (CONAGUA, 2015)

4.4.2. Cuenca

Es la unidad básica en un estudio hidrológico y se define como el área de terreno donde el agua de lluvia que cae sobre su superficie y que no se infiltra, es conducida hasta un punto de salida (cuenca abierta) o de almacenamiento (cuenca cerrada). Es importante aclarar que el tamaño de una cuenca depende de la ubicación del punto de salida. Dentro de la cuenca se considera la existencia de una corriente principal y de tributarios, que son afluentes de la primera. A su vez, las cuencas se clasifican por su tamaño, de acuerdo con la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Clasificación de una cuenca de acuerdo a su magnitud (CONAGUA, 2015).

Tamaño de la cuenca (km ²)	Descripción
<10	Microcuenca
<10 a 25	Subcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia- Pequeña
500 a 2500	Intermedia- Grande
2500 a 5000	Grande
>5000	Muy grande

Para la delimitación de la cuenca de estudio, se realizó a partir de tomar en cuenta la estación hidrométrica Ticumán, ubicada en las coordenadas longitud: -99.104166 ° y latitud: 18.791666°, clave 18223, que genera datos del río Yautepec, en la región hidrológica del balsas perteneciente al estado de Morelos (ver Ilustración 4.20).

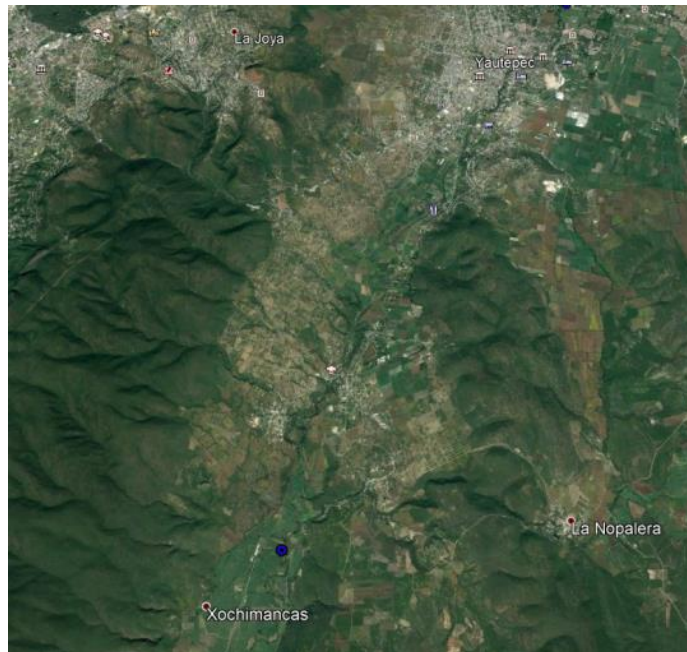


Ilustración 4.20 Ubicación en la parte inferior de la estación Ticumán

Al delimitarse la cuenca se tiene un área de 1015.04 km², lo que indica que se estará trabajando con una cuenca tipo pequeña (ver Ilustración 4.21).



Ilustración 4.21 Cuenca y zona de estudio

4.4.2.1. Pendiente del cauce principal con el método de Taylor-Schwarz

Este método considera que el río se forma de una serie de canales con pendientes uniformes, cuyo tiempo de recorrido es igual al río. Consiste en dividir el cauce en n tramos (los tramos corresponden a la división del cauce entre cada curva de nivel), y calcular la pendiente media (Aparicio, 1997). Para este cálculo ocupamos la Ecuación 4.1.

$$S_{lc} = \left[\frac{lt}{\sum_{i=1}^n \frac{li}{\sqrt{Si}}} \right]^2$$

Ecuación 4.1

Donde:

S_{lc} = Pendiente media del cauce (adimensional)

lt = Longitud total del cauce (m)

Si = Pendiente del tramo i (adimensional)

li = Longitud del tramo i (m)

n = Número de tramos

Para el cálculo de la pendiente se debe tener el cauce principal de la cuenca, mismo que se muestra en la Ilustración 4.22.

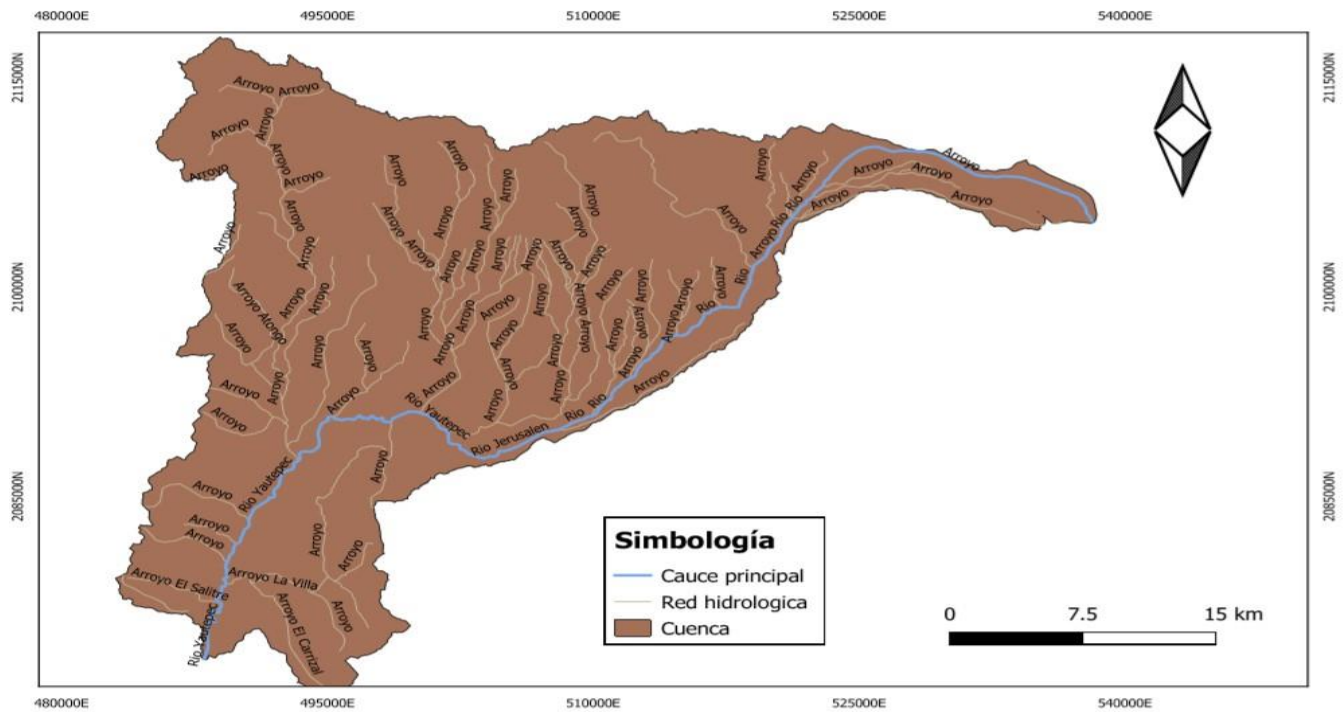


Ilustración 4.22 Cauce principal de la cuenca

Con los datos obtenidos de la cuenca y del cauce principal obtenemos la pendiente media del cauce, con la Ecuación 4.1.

$$lt = 82465.19272 \text{ m}$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{li}{\sqrt{si}} = 643555.3298$$

$$\frac{lt}{\sum_{i=1}^n \frac{li}{\sqrt{si}}} = 0.12814002$$

$$S_{lc} = 0.016 = 1.6\%$$

Así mismo con estos datos se obtuvo el perfil que se muestra en la Ilustración 4.23.

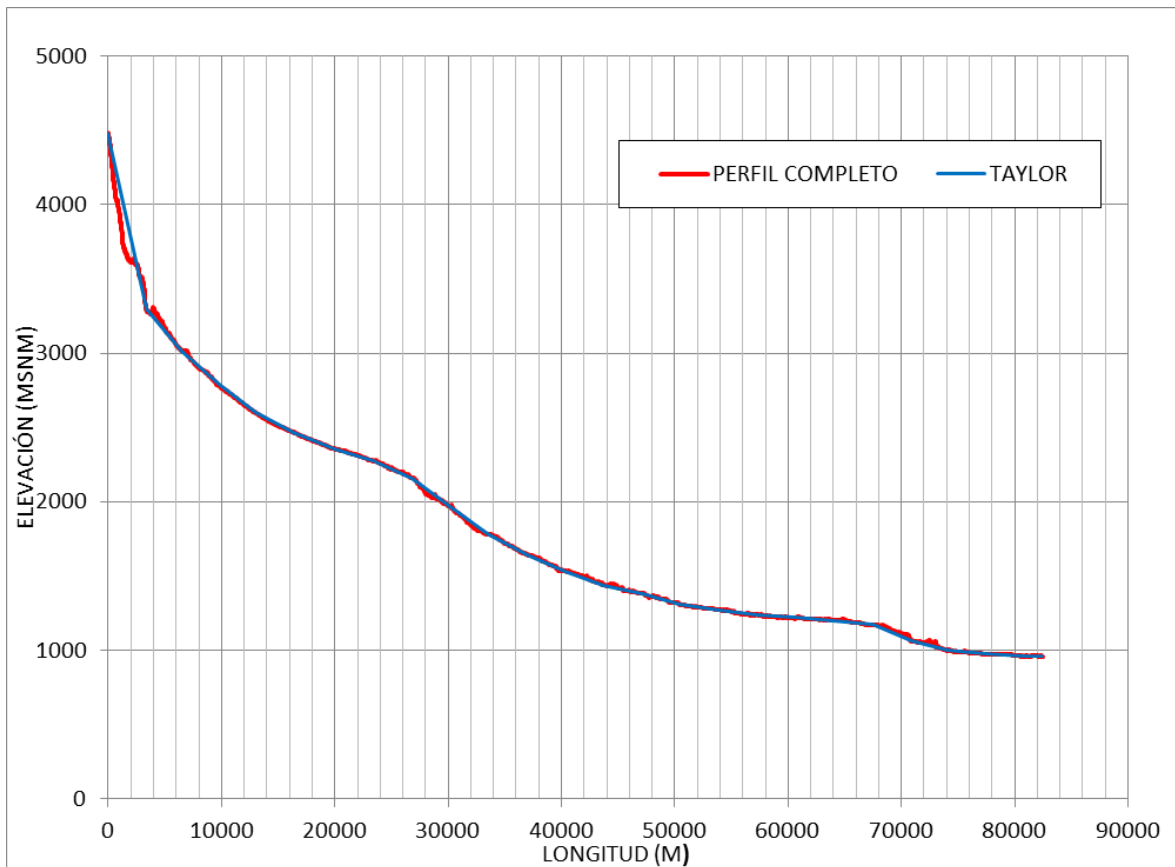


Ilustración 4.23 Perfil del cauce principal y la obtenida con el método de Taylor-Schwarz

4.4.2.2. Tiempo de concentración de la lluvia

El tiempo de concentración de la lluvia para un punto dado, se define como el tiempo que tarda una gota de agua en viajar desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida de esta.

Para estimar el tiempo de la concentración de una superficie se utiliza la ecuación propuesta por Kirpich, que se define como:

$$t_{cs} = 0.0003245 \left(\frac{lt}{\sqrt{S_{lc}}} \right)^{0.77} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Donde:

t_{cs} = Tiempo de concentración sobre la superficie natural (h)

lt = Longitud del cauce principal

S_{lc} = Pendiente media del cauce

Datos:

$$lt = 82465.19272 \text{ m}$$

$$S_{lc} = 0.016$$

Resultado:

$$t_{cs} = 9.63 \text{ horas}$$

4.4.2.3. Tiempo de retraso

Es el tiempo que existe entre el centroide de la tormenta y el pico de la avenida, y para cuencas no aforadas se puede calcular como:

$$Tr = 0.00505 \left(\frac{lt}{\sqrt{S_{lc}}} \right)^{0.64} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Resultado:

$$Tr = 5.977 \text{ horas}$$

4.4.3. Subcuencas

Se realizó una subdivisión de la cuenca en subcuencas para poder tener una mejor resolución en el análisis, generándose 39 subcuencas de estudio (ver Ilustración 4.24).

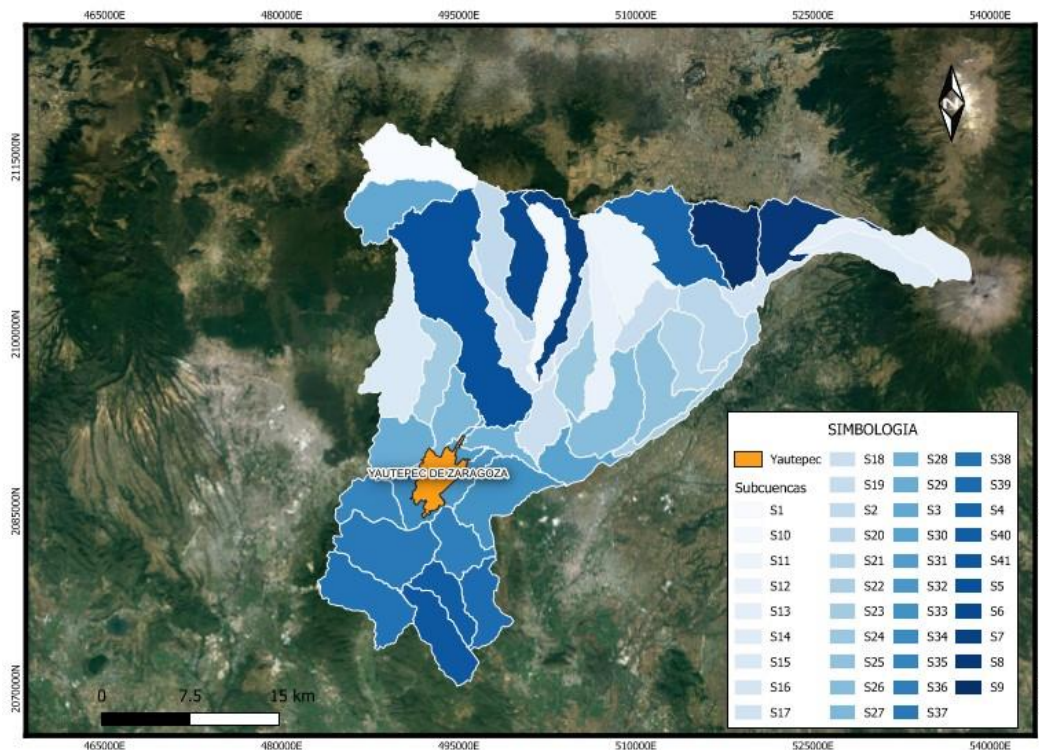


Ilustración 4.24 Subcuencas de la zona de estudio

4.4.4. Medición de la lluvia

Hoy en día en México para medir la lluvia unos de los instrumentos más usados son los pluviómetros y el pluviógrafo. Solo que tienen como desventaja que este aparato solo mide un área específica, por lo tanto se tiene que instalar una red de pluviómetros a lo largo de la superficie para conocer lo que ocurre cuando cae una tormenta.

Para la realización del estudio se utilizaron las estaciones más cercanas a nuestro municipio tomando en cuenta las que actualmente están en operación. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a través del servicio meteorológico nacional (SMN), tiene una red instalada de 5,420 estaciones de las cuales 3,200 se encuentran operando y 2,220 están suspendidas, en la página del (SMN) en el la parte de información climatológica, se encuentran las estaciones que ahora se encuentran suspendidas cuentan con registros históricos que nos son útiles también para la caracterización de las precipitaciones, se recurrió a la información estadística climatológica, donde se obtiene la base de datos climatológicos nacional. En nuestro caso se utilizaran las estaciones más cercanas a nuestro lugar de estudio, que es el municipio de Yautepec, Morelos (ver Tabla 4.7).

Tabla 4.7. Estaciones a analizar en la zona de estudio.

Numero	Nombre de la estación	Municipio	Numero de estación
1	JUCHITEPEC	Juchitepec	15039
2	SAN PEDRO NEXAPA	Amecameca	15103
3	OAXTEPEC	Yautepec	17012
4	TICUMAN	Tlaltizapan	17018
5	YAUTEPEC	Yautepec	17024
6	SAN JUAN TLACOTENCO	Tepoztlán	17039
7	TEPOZTLAN E-12	Tepoztlán	17049
8	EL VIGIA	Tlalnepantla	17066
9	PROGRESO	Jiutepec	17071
10	OACALCO	Yautepec	17082

En la Ilustración 4.25 se localizan las estaciones que ocuparemos para poder realizar el estudio pluvial. Las importamos a través de su localización para ubicarlas en la cuenca.

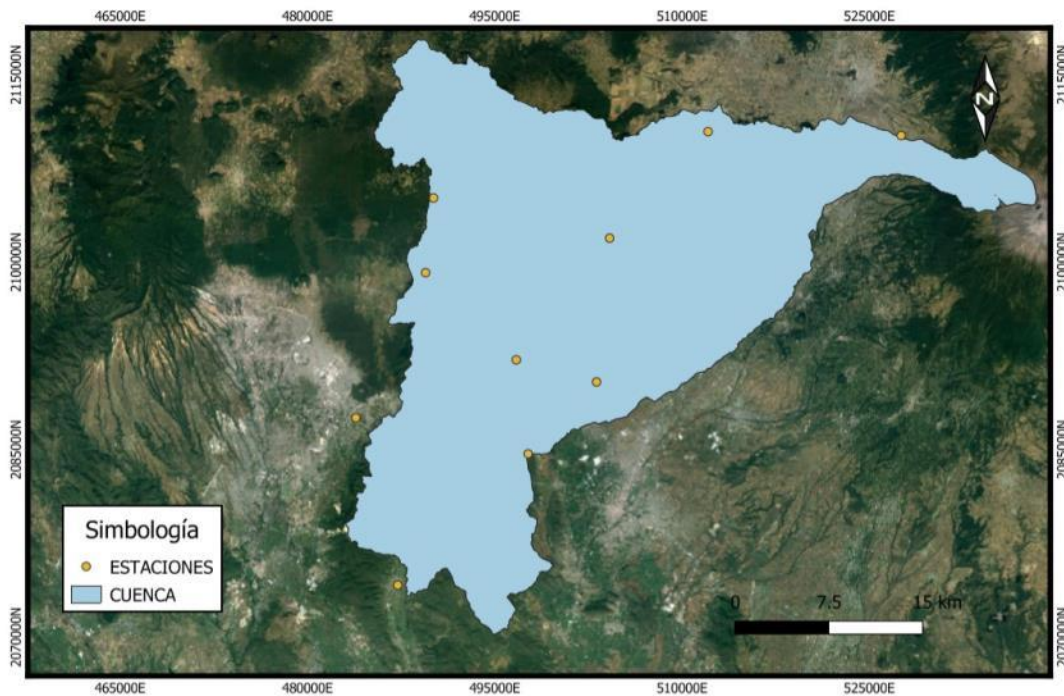


Ilustración 4.25 Localización de las estaciones en la cuenca

En la Tabla 4.8 se presenta la localización de las estaciones considerando las coordenadas geográficas, para la información de cada estación climatológicas se utilizó el programa ERIC (Extractor Rápido de Información Climatológica) que es una base de datos desarrollada por el IMTA de manera independiente, las capacidades van más allá de un simple extractor. Su idea principal es facilitar la tarea de las personas que están buscando un subconjunto relativamente grande de la base de datos climatológica nacional (IMTA, 2001).

Tabla 4.8. Localización de las estaciones

Estación	Coordenadas geográficas		Coordenadas UTM		Altitud
	Latitud	Longitud	Coord_X	Coord_Y	msnm
15039 JUCHITEPEC	19.087	-98.885	512097.44	2110457.83	2,543
15103 SAN PEDRO NEXAPA	19.084	-98.738	527561.68	2110142.51	2,620
17012 OAXTEPEC	18.906	-98.97	503159.27	2090426.88	1,380
17018 TICUMAN	18.759	-99.121	487246.53	2074166.01	970
17024 YAUTEPEC	18.854	-99.022	497682.49	2084673.14	1,343
17039 SAN JUAN TLACOTENCO	19.039	-99.094	490108.81	2105145.37	2,836
17049 TEPOZTLAN E-12	18.985	-99.1	489474.06	2099170.72	1,716
17066 EL VIGIA	19.01	-98.96	504209.74	2101934.41	2,160
17071 PROGRESO	18.88	-99.153	483885.24	2087556.76	1,366

Estación	Coordenadas geográficas		Coordenadas UTM		Altitud
	Latitud	Longitud	Coord_X	Coord_Y	msnm
17082 OACALCO	18.992	-99.031	496737.10	2099942.56	1,297

4.4.5. Lluvia media de la cuenca

Para realizar el cálculo de la lluvia media de una tormenta existen tres métodos de uso generalizado (Aparicio, 1997), para en el proyecto se utilizara el método de polígonos de thiesen (ver Ilustración 4.26).

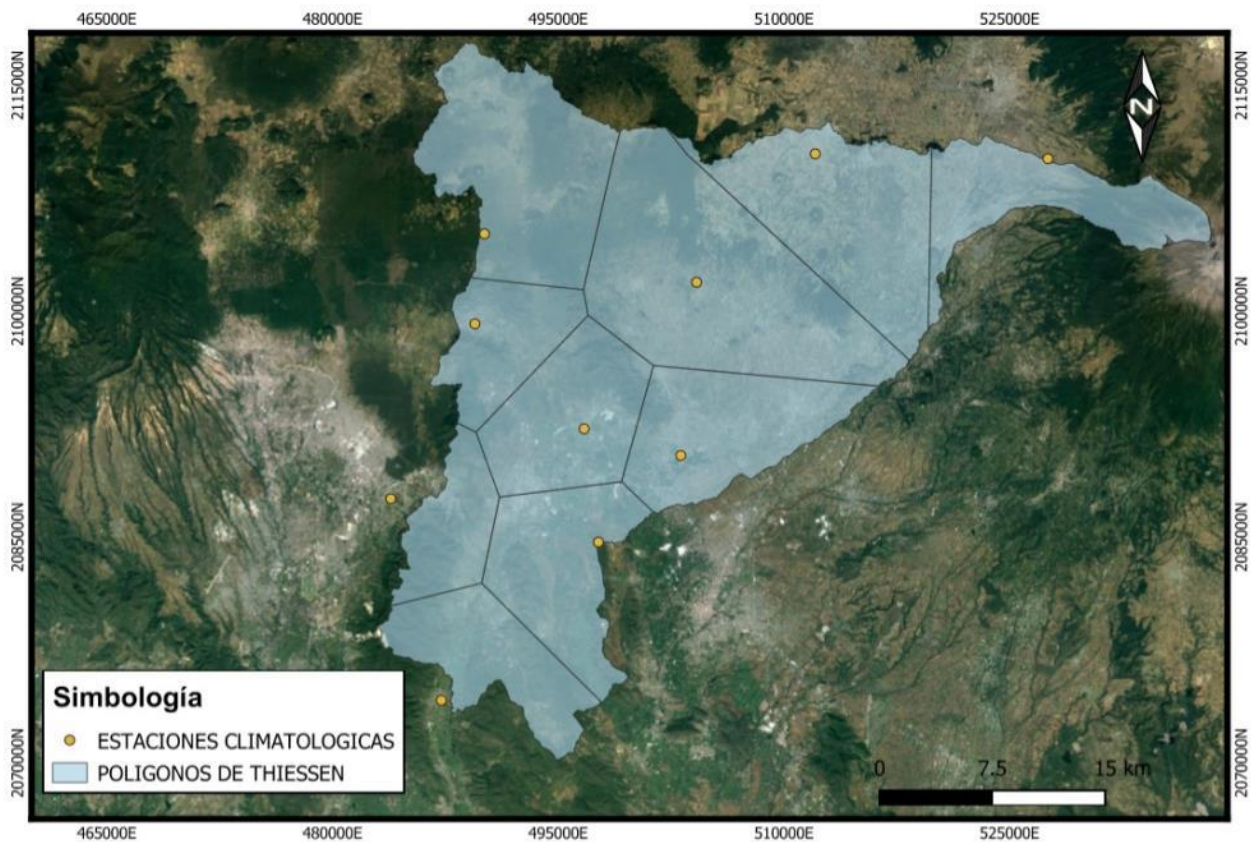


Ilustración 4.26 Polígonos de thiesen

La precipitación media se calcula con la Ecuación 4.4 como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente:

$$h_p = \frac{1}{AT} \sum_{i=1}^n A_i h_{pi}$$

Ecuación 4.4

Donde:

A_i = es el área de influencia de la estación i

AT = es el área total de la cuenca

Para la precipitación media anual se utilizarán los datos disponibles en el CLICOM, y se aplicará la anterior ecuación, los resultados se presentan en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Datos para el cálculo de la precipitación media.

Estación	Precipitación anual (mm)	Área (km²)
15039	771.8	131.66
15103	874.6	82.36
17012	960.6	96.77
17018	901.1	75.41
17024	929.1	89.37
17039	1585	139.87
17049	1302	59.11
17066	1197.3	203.89
17071	1033.6	48.14
17082	1142	88.45
	Área total de la cuenca=	1015.04
	Precipitación media anual de la cuenca=	1094.67 mm

4.4.6. Registro de las lluvias máximas anuales.

De las 10 estaciones seleccionadas, en la Tabla 4.10 se presenta las fechas de registro con las que cuentan registros de años que van desde los 17 años hasta los 62 años (ver Tabla 4.10).

Tabla 4.10. Años de registros de las estaciones

Numero	Numero de estación	Fechas de registros	Años
1	15039	1969-2017	48
2	15103	1961-2017	56
3	17012	1970-2017	47
4	17018	1955-2016	61
5	17024	1955-2017	62
6	17039	1975-2016	41
7	17049	1976-1993	17
8	17066	1981-2017	36
9	17071	1982-2016	34
10	17082	1996-2014	21

En la Tabla 4.11 se presentan los datos de lluvia máxima anual de cada estación, se tomaron los datos más antiguos a partir del año 1970 para evitar que se tengan datos erróneos para análisis posteriores.

Tabla 4.11. Precipitaciones máximas diarias anuales.

AÑO	15039	15103	17012	17018	17024	17039	17049	17066	17071	17082
1970	38.5	40.9	60.2	35	52					
1971	29.7	43	52	75	51					
1972	43.7	43.5	50	59	38					
1973	29.8	44.8	55	84	86					
1974	54.2	40.7	52.5	57	99					
1975	37.8	42.2	85	41.5	54	80.9				
1976	65.8	29.5	75	78.2	100.5	147.5	90			
1977	26.8	41.5	58	41.6	60.7	61	65			
1978	41.9	42	62	65.5	51.2	118				
1979	58.5	42.8	47	58.8	41.5	81.1				
1980	71.1	56	52	76.1	89	62.6				
1981	44.8	141.5	70	66.9	63.5	76.1	0.5	66.2		
1982	24.6	61.3		63.2	61	91.4	70	34.8	35.5	
1983	65	61.5	59	44.7	47.5	74	52.2	38.5	62.5	
1984	42	48.5	51	68.2	87.5	59.5		69.8	56.5	
1985	31.6	44.6	72.5	62	70	68.6	86.4	62.2	89.5	
1986	38	30	49	59.6	60.3	83.5	30.5	61.2	55.6	
1987	26.6	38.5	58	69.6	53.2	72.7	43.4	67.9	46.5	
1988	48	51.5	68	73.4	60	107.3	89.3	115.5	32	
1989	50	33	45	42.6	35.2	83	0		48.5	
1990	39.5	53.5	66	48.2	74	70.5			62	
1991	54.4	32.2	51	73.8	63	82		51.6	63.6	
1992		39.5	59	79.4	41.3	87	82		52	
1993		32.5	61	55.5	64.3	98.3	70.7		38.5	
1994		31	38	89.8	51.2	74.9	61.8		38.2	
1995		53.4	90	89.2	75.5	68.6	58		60.5	
1996	60	34.5	75	60.8	51.2	84.5	80.9		49	0
1997	44	38.5	99	55.8	61.3	51.5	50		68.3	
1998	41	46	63	67.7	85.3	101.9	69.7	62.3	120	100
1999	54		67	40	60.3	76			123.2	48.3
2000	33.5		60	63	45.3	85	61.4		67	45.3
2001	42.5	35.5	74	80	70.2	57.5			89.3	57
2002	66.5		52	67.4	48.4	63.9	100.9	65.4	83	55
2003	66	28	49.5	75	81.3	79	61.9	78.5	85	120
2004		52.3	87	82	71.5	75	75	30.2	76.7	56.2

AÑO	15039	15103	17012	17018	17024	17039	17049	17066	17071	17082
2005	39.5	33.2	105	85	80.1	80	88.4	38.5	98	88.5
2006	25.5	48	92	78	76.1	55.6	57.9	20.1	54.5	80
2007	55	54	89	36	66.2	70	64.5	80	49.7	61.1
2008	28	21	53	68	62.1	99	139	36	70	62.8
2009	25.2	45	63	86	22.4	99	98.2	60	66.5	52.6
2010	122.1	100	92	57	63.8	160.6	85	149	93	88
2011	34		120	77	159	218.3	182.5		70.4	125
2012	39	25.5	45	58	55.1	95	19.9		54	50
2013	24.5	29.5	47	34	38.4	91		60	54.5	34
2014	21	92	89	92	62.6	69.3		65	82.5	89.5
2015	32.3	20	52.3	53	37.6	76		80.3	48	
2016	122	44	49.5	96	74.1	90		112	90	
2017	21	63			32.8			60		

4.4.7. Análisis de frecuencia

Para cada estación se realizó un análisis buscando la función de distribución de probabilidad que más se ajustara a los datos para posteriormente, mediante un proceso de extrapolación, determinar la magnitud de un evento asociado a un periodo de retorno.

Se utilizaron los datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) con los datos faltantes estimados y habiendo seleccionado las precipitaciones máximas anuales.

El análisis de frecuencias se realizó utilizando el programa AFA V.1.1 (IMTA, 2010) que permite agilizar el proceso y con los resultados que genera se hizo una comparación para definir la función de probabilidad que se ajusta más a los datos de cada estación meteorológica. El programa permite analizar los datos con 12 funciones de distribución diferentes.

AFA V.1.1 es un programa que nos permite realizar un análisis de frecuencias univariados con la finalidad de ajustar estas muestras a funciones de distribución de probabilidad (FDP) en el mismo programa.

Se revisó que cada estación cumpla con los parámetros de homogeneidad que se realiza con tres métodos diferentes; el método de Cramer, T de Student, y Helmert, se realiza esa revisión porque como bien sabemos el lugar de las estaciones ha sufrido cambios en diferentes aspectos como: el clima, los usos de suelo, los asentamientos urbanos, entre otros, por lo tanto ha sufrido diferentes alteraciones y asignamos un T_r (periodo de retorno) en este caso consideramos 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años.

En la Tabla 4.12 se tiene la información, con la funciones de distribución que presentaron el menor error estándar de ajuste para cada estación climatológicas.

Tabla 4.12. Ajuste para las diferentes estaciones climatológicas.

Estación	Nombre	Función de distribución	Error estándar de ajuste	Periodo de retorno (años)								
				2	5	10	25	50	100	200	500	1000
15039	JUCHITEPEC	Gumbel	4.63	59.5	78.63	91.304	107.32	119.21	131	142.76	158.26	170
15103	SAN PEDRO NEXAPA	Gumbel doble	2.97	52.3	73.34	84.694	94.489	101.08	107.4	113.66	121.83	128
17012	OAXTEPEC	Gumbel doble	2.98	58.6	82.09	93.434	102.67	108.86	114.8	120.65	128.3	134.1
17018	TICUMAN	Gumbel doble	4.09	61.4	82.38	87.394	92.804	97.065	101.8	107.31	115.58	122.3
17024	YAUTEPEC	Log Pearson III	6.24	59.1	79.45	93.408	111.59	125.55	139.9	154.68	175.1	191.3
17039	SAN JUAN TLACOTENCO	Gumbel doble	8.34	76.2	95.21	121.94	157.21	181.1	204	226.55	256	278.2
17049	TEPOZTLAN E-12	Gumbel	10.77	67	97.35	117.41	142.75	161.56	180.2	198.82	223.35	241.9
17066	EL VIGIA	Log Pearson III	7.17	57.5	85.46	107.28	136.9	160.68	186.2	213.61	253.24	286
17071	PROGRESO	Log Pearson III	3.35	63.2	83.41	96.452	112.64	124.53	136.3	148.07	163.72	175.7
17082	OACALCO	Gumbel doble	7.46	62.2	93.31	107.9	122	131.6	140.9	150.1	162.1	171.1

4.4.8. Curvas I-D-Tr

4.4.8.1. Corrección por intervalo fijo de observación.

L.L. Weiss en base a un estudio de miles de estaciones- años de datos de lluvias, observo que los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con lluvias máximas anuales tomados en un único y fijo intervalo de observación (24 horas) al ser incrementados un 13% conducía a magnitudes más aproximadas a las obtenidas con lluvias máximas verdaderas.

Para cada valor de lluvia por periodo de retorno se multiplicará por 1.13 para llevar a cabo la corrección por intervalo fijo de observación, por lo que las lecturas de las lluvias máximas diarias se toman a las 8 de la mañana del día siguiente y con esta corrección la lluvia representativa se convierte a la lluvia máxima de 24 horas para cada determinado periodo de retorno (Tabla 4.13).

Tabla 4.13. Precipitaciones con la aplicación del factor de corrección de intervalo fijo.

Estación	Nombre	Años de registro	Periodo de retorno (años)								
			2	5	10	25	50	100	200	500	1000
15039	JUCHITEPEC	43	67.21	88.85	103.17	121.27	134.70	148.03	161.31	178.83	192.08
15103	SAN PEDRO NEXAPA	44	59.12	82.87	95.70	106.77	114.22	121.39	128.43	137.67	144.61
17012	OAXTEPEC	46	66.18	92.76	105.58	116.01	123.01	129.73	136.33	144.98	151.49
17018	TICUMAN	47	69.43	93.09	98.76	104.87	109.68	115.07	121.25	130.60	138.25
17024	YAUTEPEC	48	66.79	89.78	105.55	126.10	141.87	158.06	174.78	197.87	216.17
17039	SAN JUAN TLACOTENCO	42	86.06	107.58	137.80	177.64	204.65	230.57	256.00	289.28	314.34
17049	TEPOZTLAN E-12	28	75.76	110.00	132.67	161.31	182.56	203.65	224.66	252.39	273.34
17066	EL VIGIA	24	64.98	96.57	121.22	154.70	181.56	210.37	241.38	286.16	323.19
17071	PROGRESO	35	71.47	94.26	108.99	127.28	140.72	154.02	167.32	185.00	198.52
17082	OACALCO	18	70.27	105.44	121.93	137.86	148.71	159.22	169.61	183.17	193.34

4.4.9. Forma de la lluvia

El registro de las lluvias históricas permite calcular la forma de la precipitación que en promedio se presenta más veces en el sitio de estudio. Dicha forma de lluvia se emplea para determinar el histograma de diseño” (CONAGUA, 2015).

4.4.9.1. Clasificación de tormentas por duración

En el estado de Morelos se encuentran tres estaciones meteorológicas automáticas (EMAS); .la primera se encuentra en la ciudad de Cuernavaca, otra en el Instituto Mexicano de tecnología del agua (IMTA) y por última en el municipio de Tepoztlán, para el análisis de identificación de tormentas se tomará la más cercana a nuestro sitio de estudio de la cuenca, para se eligió la estación ubicada en Tepoztlán (ver Ilustración 4.27).

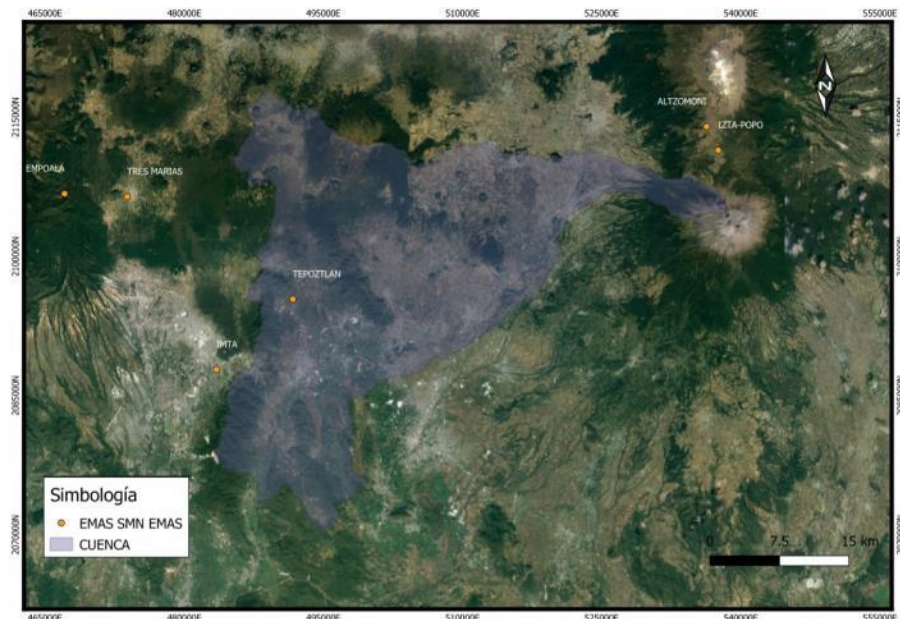


Ilustración 4.27 Ubicación de la Estación meteorológica automática de Tepoztlán

Las EMAS registran información, recopilan y monitorean algunas variables meteorológicas como el viento, evaporación, lluvia, entre otras, en el caso de las precipitaciones el dato corresponde a la lámina acumulada durante 10 minutos. Esta información es enviada por vía satélite entre una a tres horas por estación. La EMA de Tepoztlán tiene registros del año 2005 a 2015.

4.4.10. Obtención del hietograma de precipitación a partir de la información pluviográfica.

Con los datos obtenidos de todos los años que se tienen registrado en esta estación hacemos una clasificación de las tormentas por una duración de 0-60, de 60-120 y mayores a 120. En base a esto obtenemos los datos que se muestran en la Tabla 4.14. Estos registros permiten calcular la forma de la precipitación que en promedio se presenta más veces en la zona.

Tabla 4.14. Datos de la estación meteorológica automática.

Nombre de la estación	Fecha de registro		Número de registros		
	Inicio	Termino	0-60	60-120	Mayor a 120
Tepoztlán	01 de enero de 2005	31 de julio de 2015	349	219	127

Teniendo las cantidades de las precipitaciones por periodo de tiempo. Para cada uno de los registros por el método de Tholin y Keifer se realiza el siguiente proceso:



El cálculo de la curva masa como el acumulado de la precipitación mediante su tiempo de duración.

La curva masa adicional como el resultado de la división de cada incremento de precipitación entre la lámina de precipitación total registrada.

Adimensionar el tiempo dividiendo cada intervalo de registro entre la duración total.

Generación de distribución acumulada promedio adimensional de la lluvia del total de las curvas masa adimensionales se obtiene una media que nos representa el comportamiento de la precipitación para una duración específica en la zona de estudio.

En la Ilustración 4.28 muestra las curvas adimensionales con una duración de 0-60 min y en rojo se muestra la curva media.

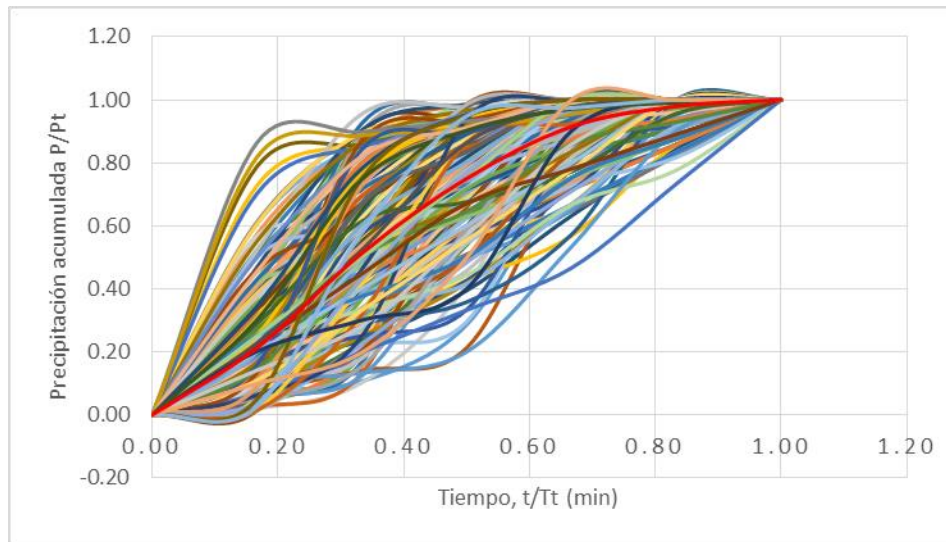


Ilustración 4.28 Curvas adimensionales de 60-120 min y en rojo la curva media

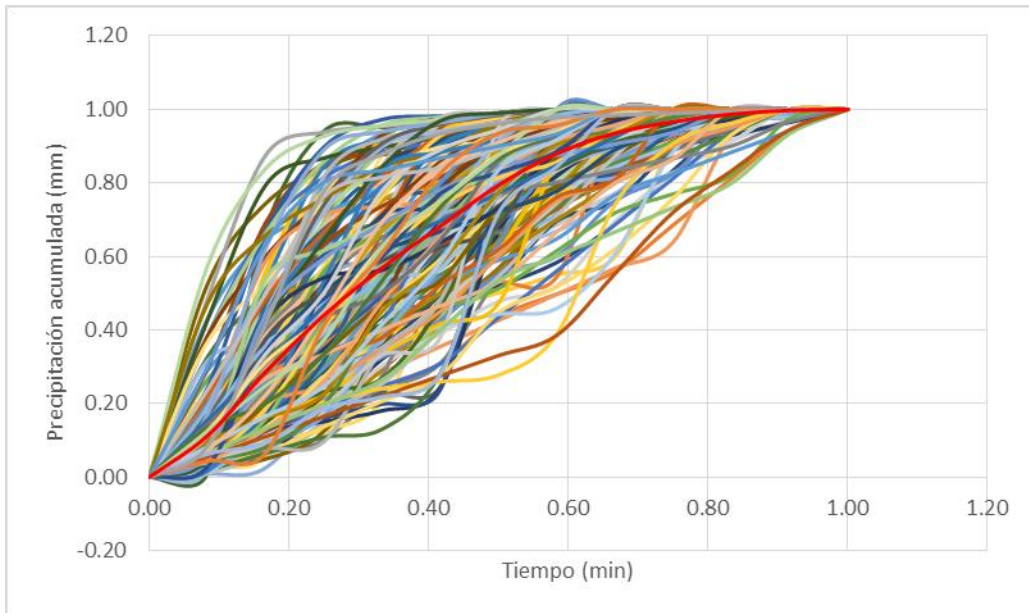


Ilustración 4.29 Curvas adimensionales de 60-120 min y en rojo la curva media

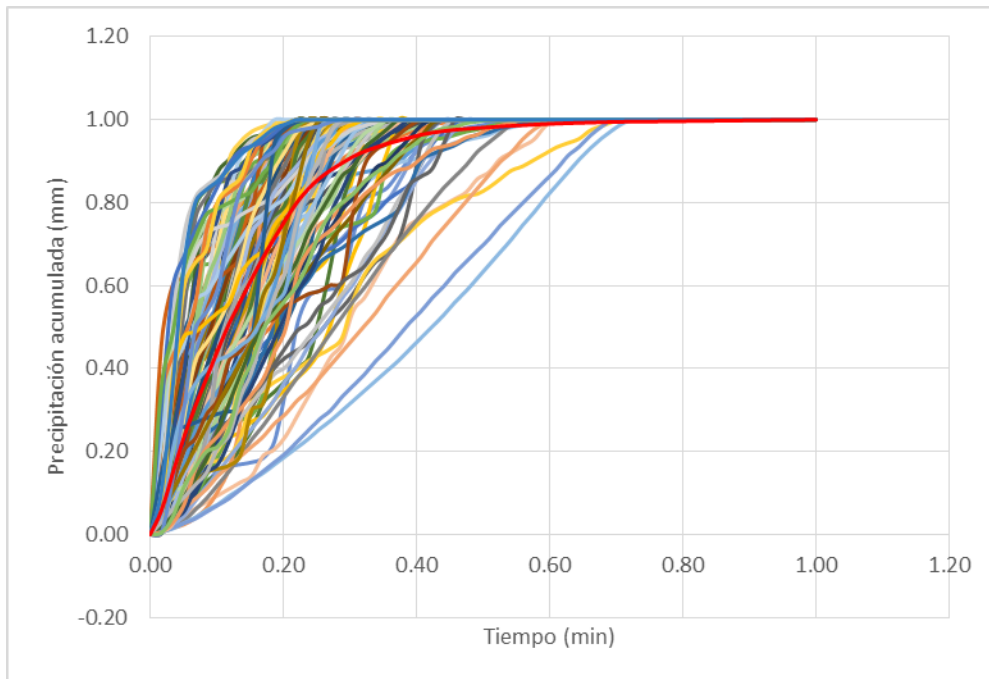


Ilustración 4.30 Curvas adimensionales para una duración mayor a 120 minutos

Con la información obtenida y después de clasificarlas podemos decir que las tormentas que más se presentan en la ciudad de Yautepec tienen una duración mayor a 120.

4.4.11. Hietograma adimensional de la lluvia

A partir de la curva masa que se presentó anteriormente, se construye el hietograma adimensional para las lluvias de proyecto con duración de 0-60 min, de 60-120 y mayores a 120 minutos.

Para el hietograma de 0-60 min se toman los datos que se muestran en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15. Hietograma unitario 0-60 min

Tiempo	Altura de precipitación unitaria
0	0.000
10	0.213
20	0.300
30	0.237
40	0.165
50	0.064
60	0.021

De los datos de la Tabla 4.15 se realiza el hietograma que se muestra en la Ilustración 4.31.

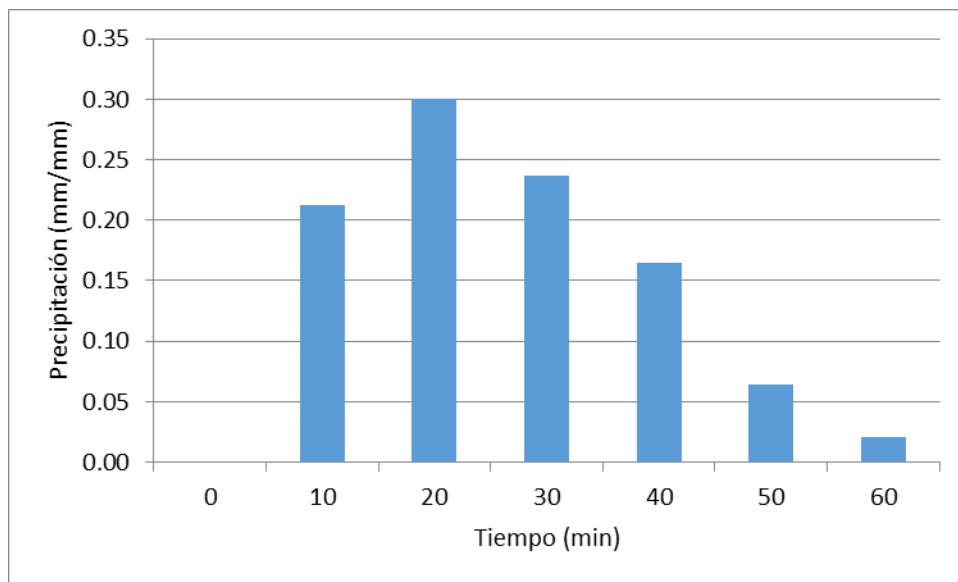


Ilustración 4.31 Hietograma adimensional para una duración de 60 minutos

Para las lluvias con duración de 60-120 los hietogramas unitarios se realizan con los datos de la Tabla 4.16.

Tabla 4.16. Hietograma unitario de 60-120 min.

Tiempo	Altura de precipitación unitaria
0	0.000
10	0.112
20	0.173



Tiempo	Altura de precipitación unitaria
30	0.154
40	0.129
50	0.113
60	0.112
70	0.086
80	0.055
90	0.031
100	0.020
110	0.010
120	0.003

Con los datos de la Tabla 4.16 se realiza el hietograma unitario de las lluvias de 60-120 minutos (Ilustración 4.32).

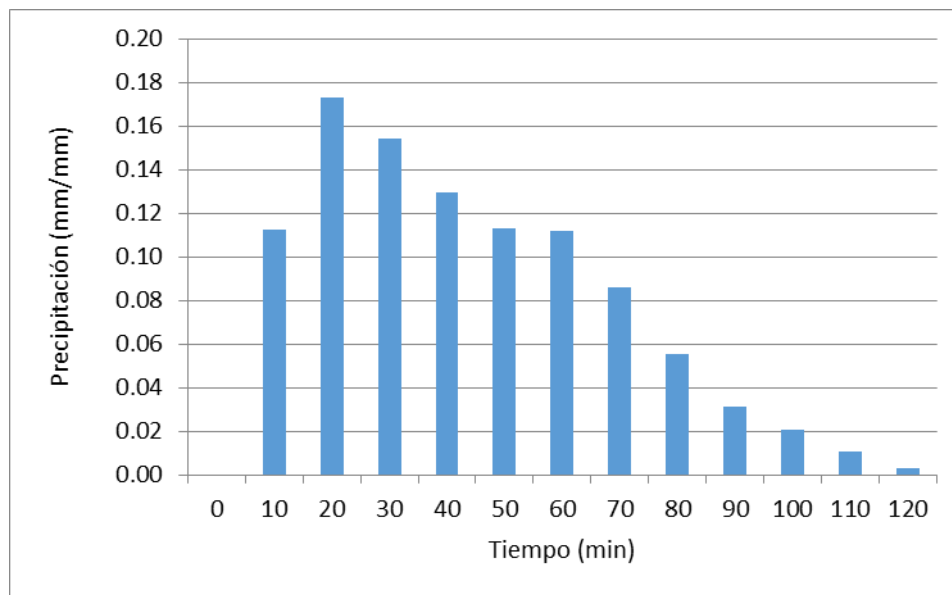


Ilustración 4.32 Hietograma adimensional para una duración de 120 minutos

Para el hietograma unitario de lluvia de duración mayor a 120 se realiza con los datos de la Tabla 4.16.

Tabla 4.17 Hietograma unitario mayor de 120 minutos

Tiempo	Altura de precipitación unitaria
0	0.0000
10	0.0614
20	0.0943
30	0.0936
40	0.0797

Tiempo	Altura de precipitación unitaria
50	0.0731
60	0.0728
70	0.0684
80	0.0587
90	0.0584
100	0.0557
110	0.0519
120	0.0500
130	0.0467
140	0.0370
150	0.0303
160	0.0241
170	0.0219
180	0.0220

Con los datos de la Tabla 4.17 se realiza el hietograma que se muestra en la Ilustración 4.33.

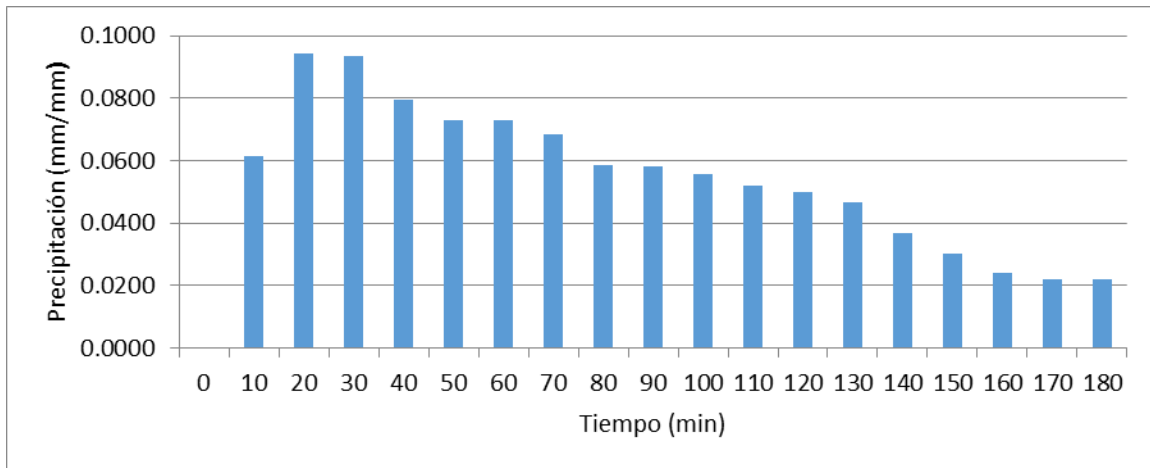


Ilustración 4.33 Hietograma de precipitación para una duración mayor a 120 minutos

4.4.12. Curva de precipitación- duración- periodo de retorno

Para la determinación de las curvas de altura de precipitación-duración-periodo de retorno, con datos de lluvias acumuladas diariamente se puede realizar una disgregación con duración menor a 24 horas para esto ocuparemos un método.

4.4.12.1. Método de Chen

Chen desarrollo un proceso para calcular las curvas intensidad-duración-periodo de retorno, para un periodo de retorno mayor a un año y duración de $5 \text{ min} \leq \text{duración} \leq 24 \text{ horas}$. Que se calcula con la Ecuación 4.5.



$$i_d^{Tr} = \frac{a_1 i_1^{10} \log \left\{ 10^{2-X} \left[\ln \left(\frac{T_{ra}}{T_{ra}-1} \right) \right]^{-(X-1)} \right\}}{(d + b_1)^{c_1}}$$

Ecuación 4.5

Donde:

i_d^{Tr} = Intensidad de la lluvia para cada periodo de retorno (Tr) y cualquier duración d (mm/h)

i_1^{10} = Intensidad de la lluvia para un periodo de retorno (Tr) de 10 años y cualquier duración d de una hora (mm/h).

d = Duración de la lluvia (5 min ≤ d ≤ 24 horas)

T_{ra} = Periodo de retorno analizado en el año a (años)

a_1, b_1, c_1 = Parámetros que varían de las condiciones meteorológicas.

X = Es la relación entre una precipitación con un periodo de retorno de 100 años y una duración de una hora P_1^{100} (mm) y una precipitación con un periodo de retorno de 10 años y con una duración de una hora P_1^{10} (mm) ver Ecuación 4.6.

$$X = \frac{P_1^{100}}{P_1^{10}}$$

Ecuación 4.6

Campos Aranda genero un procedimiento para construir las curvas $i-d-Tr$ adaptadas a las condiciones de la República Mexicana que consiste en combinar la información de isoyetas de intensidad de la SCT con la información de la precipitación máxima diaria anual.

Para aplicar la fórmula de Chen es necesario estimar las relaciones lluvia duración R_{ch} (Ecuación 4.7) y lluvia periodo de retorno F_{ch} (Ecuación 4.8).

$$i_d^{Tr} = \frac{a P_1^{10} \log [10^{(2-F_{ch})} (T_{ra}^{(F_{ch}-1)})]}{(d + b)^c} = \frac{a T_{ra}}{(d + b)^c}$$

Ecuación 4.7

Donde:

i_d^{Tr} = Intensidad de la lluvia para cualquier periodo de retorno Tr y cualquier duración d (mm/h).

P_1^{10} = Precipitación con un periodo de retorno de 10 años y con duración de una hora (mm)

$$R_{ch} = \frac{P_1^{Tr}}{P_{24}^{Tr}}$$

Ecuación 4.8



Donde:

R_{ch} = Relación entre una lluvia con precipitación para un periodo de retorno dado y una duración de 24 horas (mm)

P_1^{Tr} = Precipitación para un periodo de retorno dado y una duración de una hora (mm)

P_{24}^{Tr} = Precipitación para un periodo de retorno dado y una duración de 24 horas (mm)

$$F_{ch} = \frac{P_{24}^{100}}{P_{24}^{10}} \tag{Ecuación 4.9}$$

Donde:

F_{ch} = Relación entre la precipitación para un periodo de retorno de 100 años con duración de 24 horas y una precipitación con periodo de retorno de 10 años y una duración de 24 horas.

P_{24}^{100} = Precipitación para un periodo de retorno de 100 años y una duración de 24 horas (mm).

P_{24}^{10} = Precipitación para un periodo de retorno de 10 años y una duración de 24 horas (mm).

Con el valor promedio de los tres cocientes, R_{ch} que se pueden evaluar, para cada periodo de retorno, de la Ecuación 4.7 propuesta por Chen los parámetros a,b,c se calculan a través de una regresión polinomial como se muestra en las ecuaciones Ecuación 4.10, Ecuación 4.11 y Ecuación 4.12:

$$a = -2.297536 + 100.0389 R_{ch} - 432.5438 R_{ch}^2 + 1256.228 R_{ch}^3 - 1028.902 R_{ch}^4 \tag{Ecuación 4.10}$$

$$b = -9.845761 + 96.94864 R_{ch} - 341.4349 R_{ch}^2 + 757.9172 R_{ch}^3 - 598.7461 R_{ch}^4 \tag{Ecuación 4.11}$$

$$c = -0.0649834 + 5.069294 R_{ch} - 16.08111 R_{ch}^2 + 29.09596 R_{ch}^3 - 20.06288 R_{ch}^4 \tag{Ecuación 4.12}$$

Estas ecuaciones son válidas en el intervalo de $0.10 \leq R_{ch} \leq 0.60$

Donde:

a,b,c= Constantes de la ecuación

R_{ch} = Es la relación que se obtiene de la Ecuación 4.8.

Después de realizar el ajuste de las estaciones climatológicas y obtener la lluvia de los diferentes periodos de retornos, se realizó un análisis de las diferentes precipitaciones para cada periodo de retorno por cada estación.

4.4.12.2. Corrección por intervalo fijo de observación.

L.L. Weiss en base a un estudio de miles de estaciones- años de datos de lluvias, observo que los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con lluvias máximas anuales tomados en un único y fijo intervalo de observación (24 horas) al ser incrementados un 13% conducía a magnitudes más aproximadas a las obtenidas con lluvias máximas verdaderas.

Entonces para cada estimación de lluvia por periodo de retorno en cada estación climatológica se multiplico por 1.13 para llevar a cabo la corrección por intervalo fijo de observación, por lo que las lecturas de las lluvias máximas diarias se toman a las 8 de la mañana del día siguiente y con esta corrección la lluvia representativa se convierte a la lluvia máxima de 24 horas para cada determinado periodo de retorno (Tabla 4.18)

Tabla 4.18. Precipitaciones con la aplicación del factor de corrección de intervalo fijo.

Estación	Nombre	Años de registro	Periodo de retorno								
			2	5	10	25	50	100	200	500	1000
15039	JUCHITEPEC	43	67.21	88.85	103.17	121.27	134.70	148.03	161.31	178.83	192.08
15103	SAN PEDRO NEXAPA	44	59.12	82.87	95.70	106.77	114.22	121.39	128.43	137.67	144.61
17012	OAXTEPEC	46	66.18	92.76	105.58	116.01	123.01	129.73	136.33	144.98	151.49
17018	TICUMAN	47	69.43	93.09	98.76	104.87	109.68	115.07	121.25	130.60	138.25
17024	YAUTEPEC	48	66.79	89.78	105.55	126.10	141.87	158.06	174.78	197.87	216.17
17039	SAN JUAN TLACOTENCO	42	86.06	107.58	137.80	177.64	204.65	230.57	256.00	289.28	314.34
17049	TEPOZTLAN E-12	28	75.76	110.00	132.67	161.31	182.56	203.65	224.66	252.39	273.34
17066	EL VIGIA	24	64.98	96.57	121.22	154.70	181.56	210.37	241.38	286.16	323.19
17071	PROGRESO	35	71.47	94.26	108.99	127.28	140.72	154.02	167.32	185.00	198.52
17082	OACALCO	18	70.27	105.44	121.93	137.86	148.71	159.22	169.61	183.17	193.34

Para este estudio se utilizó las isoyetas obtenidas de la página de la SCT donde encontramos las isoyetas de intensidad-Duración- Periodo de retorno para la República Mexicana, se descargó las isoyetas de Morelos y se utilizó las isoyetas de intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 10 años y una duración de 60 minutos. Se utiliza el valor de la precipitación que se muestra en la Ilustración 4.34, para esto nosotros ocupamos la intensidad que se encuentra señalado en el recuadro rojo.

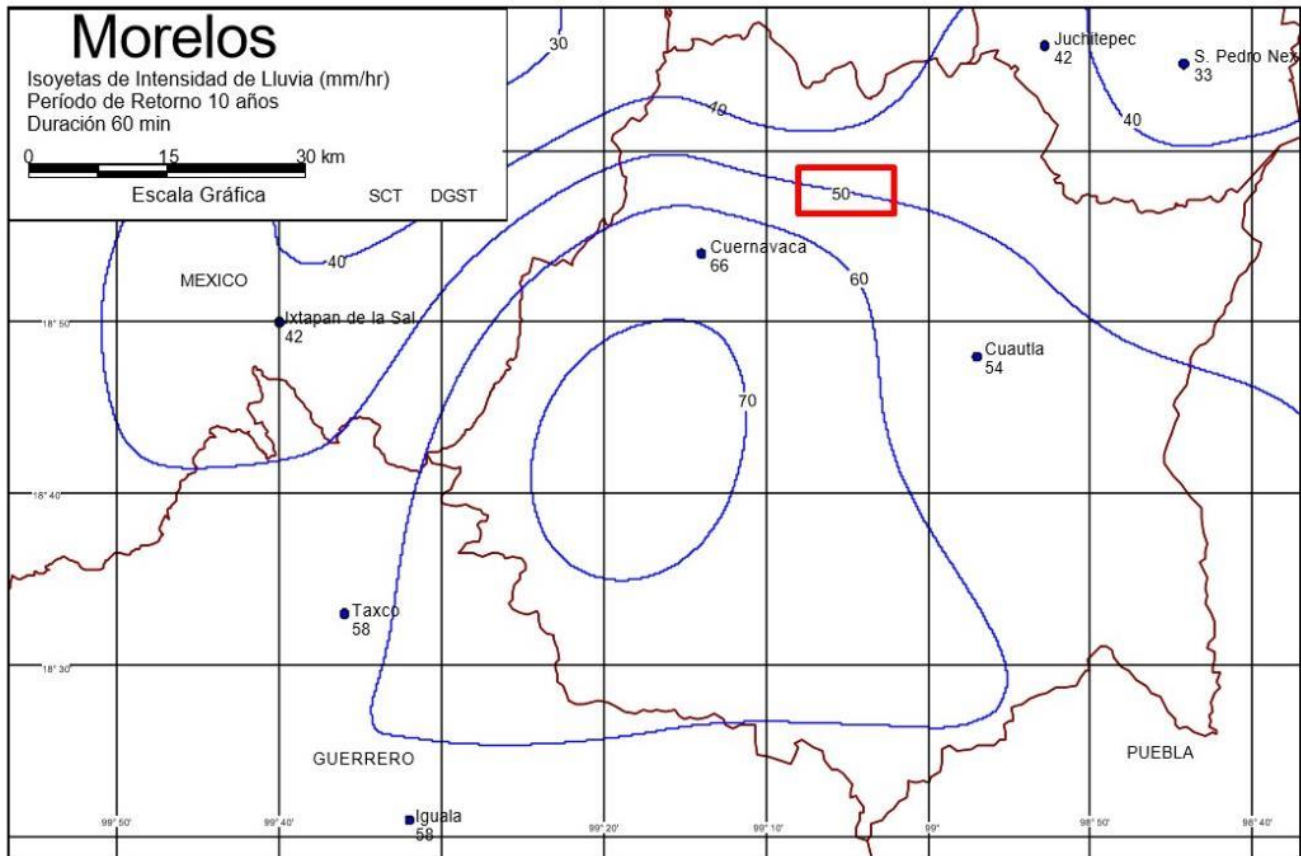


Ilustración 4.34 Isoyetas para la obtención de precipitación para un periodo de retorno de 10 años con una duración de 60 minutos. Fuente (SCT, 2015)

4.4.12.3. Curvas de Precipitación - Duración - Periodo de retorno

Con esta información se desarrollaron las Curvas de Precipitación (hp mm)- Duración (d min)- Periodo de retorno (Tr años) para las diferentes estaciones climatológicas, las cuales pueden consultarse en el Anexo 1 de este informe y la Tabla 4.19 así como la Ilustración 4.35, muestran Curvas de precipitación (hp mm)- Duración (d min)- periodo de retorno (Tr años) promedio de todas las estaciones climatológicas.

Tabla 4.19. Curvas de precipitación (hp mm)- Duración (d min)- periodo de retorno (Tr años) promedio de todas las estaciones climatológicas.

Tr	Duración (min)													
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120	250	500	1000	1440
2	9.84	15.48	19.33	22.22	26.42	30.73	33.82	36.96	39.43	41.48	50.14	59.17	69.36	75.29
5	12.33	19.40	24.23	27.85	33.12	38.52	42.40	46.33	49.43	52.00	62.85	74.17	86.94	94.38
10	14.22	22.37	27.93	32.11	38.19	44.41	48.88	53.42	56.99	59.96	72.47	85.52	100.24	108.82
25	16.71	26.29	32.83	37.74	44.89	52.20	57.46	62.79	66.99	70.47	85.18	100.52	117.83	127.91
50	18.60	29.26	36.54	42.00	49.96	58.09	63.95	69.88	74.55	78.43	94.80	111.87	131.13	142.35
100	20.48	32.23	40.25	46.26	55.03	63.99	70.43	76.97	82.11	86.38	104.41	123.21	144.43	156.79

Tr	Duración (min)													
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120	250	500	1000	1440
200	22.37	35.20	43.95	50.53	60.10	69.88	76.92	84.06	89.68	94.34	114.03	134.56	157.74	171.23
500	24.86	39.12	48.85	56.16	66.80	77.67	85.50	93.43	99.68	104.86	126.74	149.56	175.32	190.32
1000	26.75	42.09	52.56	60.42	71.86	83.56	91.98	100.52	107.24	112.81	136.36	160.91	188.62	204.76

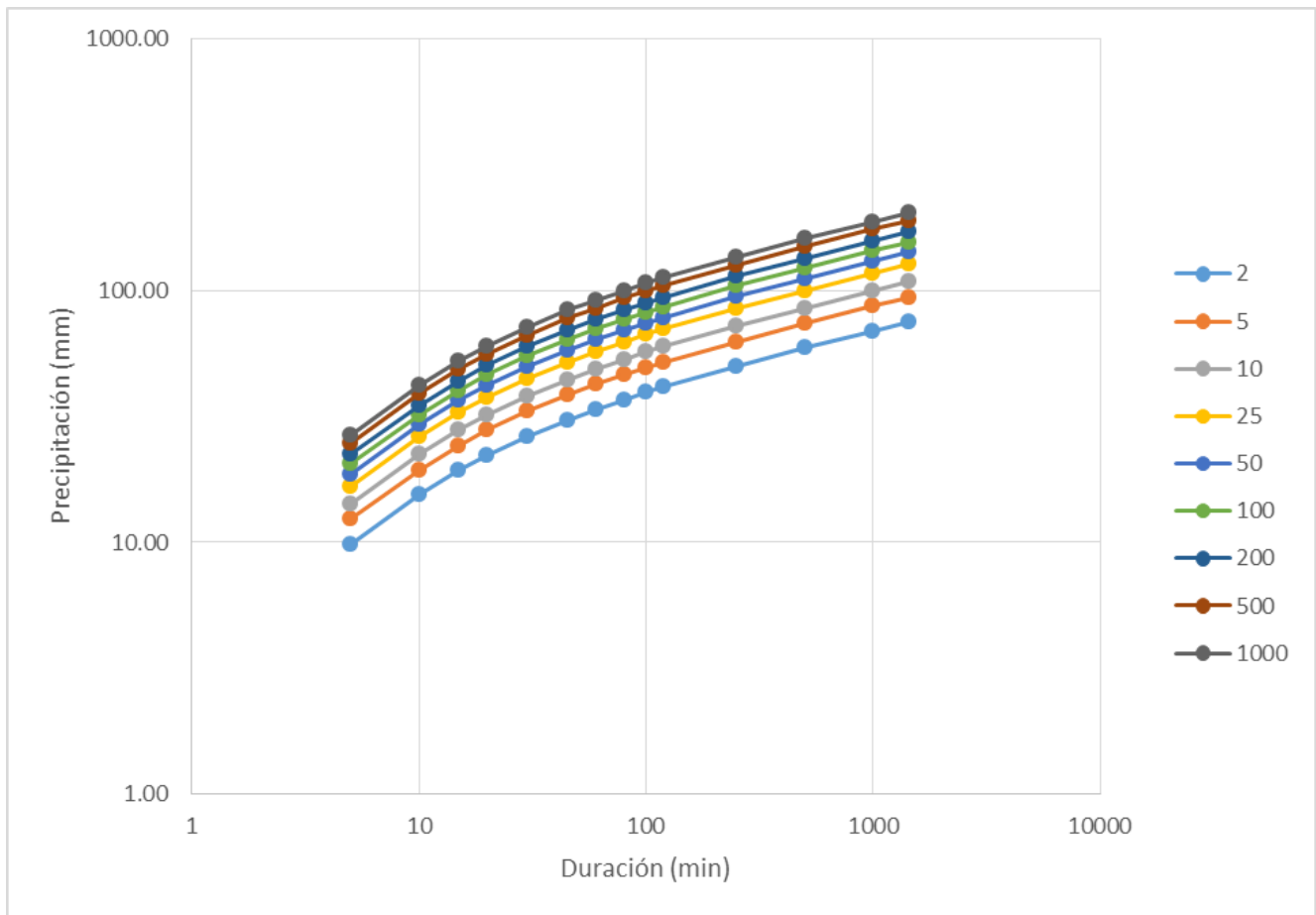


Ilustración 4.35 Curvas de precipitación (mm) - Duración (min) - Periodo de retorno (años) promedio para todas las estaciones climatológicas

4.4.12.4. Curvas de Intensidad - Duración - Periodo de retorno

A partir de las Curvas de Precipitación (hp mm)- Duración (d min)- Periodo de retorno (Tr años) se desarrollaron las correspondientes Curvas de Intensidad (I mm/Hr)- Duración (d min)- Periodo de retorno (Tr años) para las diferentes estaciones climatológicas, las cuales pueden consultarse en el Anexo 2 de este informe y la Tabla 4.20 así como la Ilustración 4.36, presentan las Curvas de intensidad (i mm/hr)- Duración (d min)- periodo de retorno (Tr años) promedio de todas las estaciones climatológicas.

Tabla 4.20. Curvas de intensidad (i mm/hr)- Duración (d min)- periodo de retorno (Tr años) promedio de todas las estaciones climatológicas

Tr	Duración (min)													
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120	250	500	1000	1440
2	118.04	92.85	77.30	66.65	52.85	40.97	33.82	27.72	23.66	20.74	12.03	7.10	4.16	3.14
5	147.96	116.40	96.91	83.55	66.25	51.36	42.40	34.75	29.66	26.00	15.08	8.90	5.22	3.93
10	170.60	134.21	111.73	96.33	76.38	59.21	48.88	40.06	34.19	29.98	17.39	10.26	6.01	4.53
25	200.53	157.75	131.33	113.23	89.78	69.60	57.46	47.09	40.19	35.24	20.44	12.06	7.07	5.33
50	223.17	175.56	146.16	126.01	99.92	77.46	63.95	52.41	44.73	39.21	22.75	13.42	7.87	5.93
100	245.81	193.37	160.99	138.79	110.06	85.32	70.43	57.73	49.27	43.19	25.06	14.79	8.67	6.53
200	268.45	211.18	175.81	151.58	120.19	93.17	76.92	63.04	53.81	47.17	27.37	16.15	9.46	7.13
500	298.38	234.72	195.41	168.48	133.59	103.56	85.50	70.07	59.81	52.43	30.42	17.95	10.52	7.93
1000	321.02	252.53	210.24	181.26	143.73	111.42	91.98	75.39	64.34	56.41	32.73	19.31	11.32	8.53

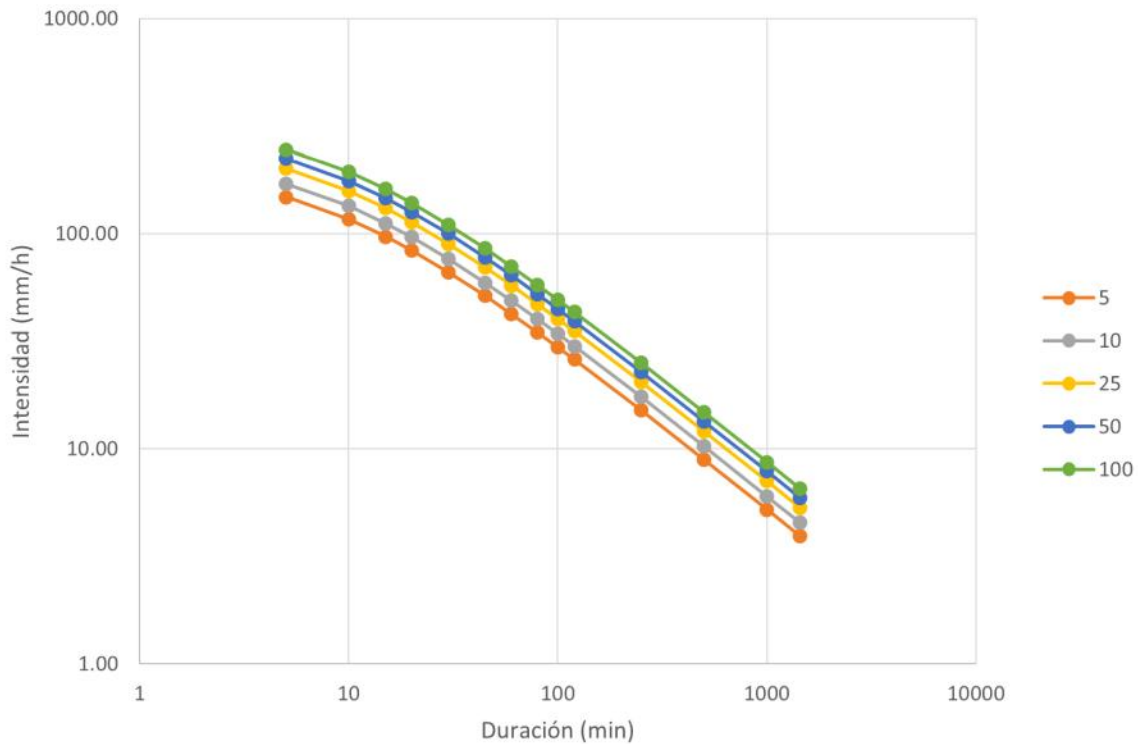


Ilustración 4.36 Curvas de intensidad (mm/hr) - Duración (min) - Periodo de retorno (años) promedio para todas las estaciones



4.5. Modelo matemático

4.5.1. Información necesaria para la integración de un modelo de simulación en SWMM

Para llevar a cabo el estudio pluvial de la ciudad de Yautepec, Morelos se utilizó el modelo SWMM (siglas en inglés de Storm Water Management Model) es un modelo físicamente basado totalmente distribuido para el análisis hidrológico e hidráulico de redes de drenaje esencialmente urbanas.

Este modelo nos sirve para:

- Diseñar la red de drenaje para prevenir inundaciones.
- Delimitar zonas de inundaciones en cauces naturales.
- Definir la estrategia de una red de aguas.
- Dimensionar la estructura de retención y los accesorios para el control de inundaciones y la protección de la calidad de agua.
- Modelizar cargas contaminantes no puntuales para estudios o informes de ingeniería ambiental.

Estructuralmente, el SWMM simula la respuesta de la cuenca a partir de datos de precipitación y parámetros físicos y numéricos relevantes. El modelo conceptualiza los diversos procesos dentro del dominio del balance hídrico a manera de compartimentos. La conceptualización del modelo se basa en entidades de tipo vectorial, líneas (cauces) y nudos (pozos de registros, cambios de pendientes) y polígonos (microcuencas o áreas tributarias), lo cual resume el sistema de drenaje a una estructura de red dendrítica. Una vez que el SWMM genera la respuesta de la cuenca a un determinado evento de precipitación, esta se expresa a manera de hidrograma.

El hidrograma representa la evolución temporal de la tasa de flujo en el punto de descarga de la cuenca. No obstante, esta respuesta debe ser calibrada contra registros reales de flujo. El SWMM utiliza un modelo de onda cinemática basado en los planteamientos de Chezy-Manning para describir el movimiento y propagación hidráulica de los flujos generados por escorrentía superficial.

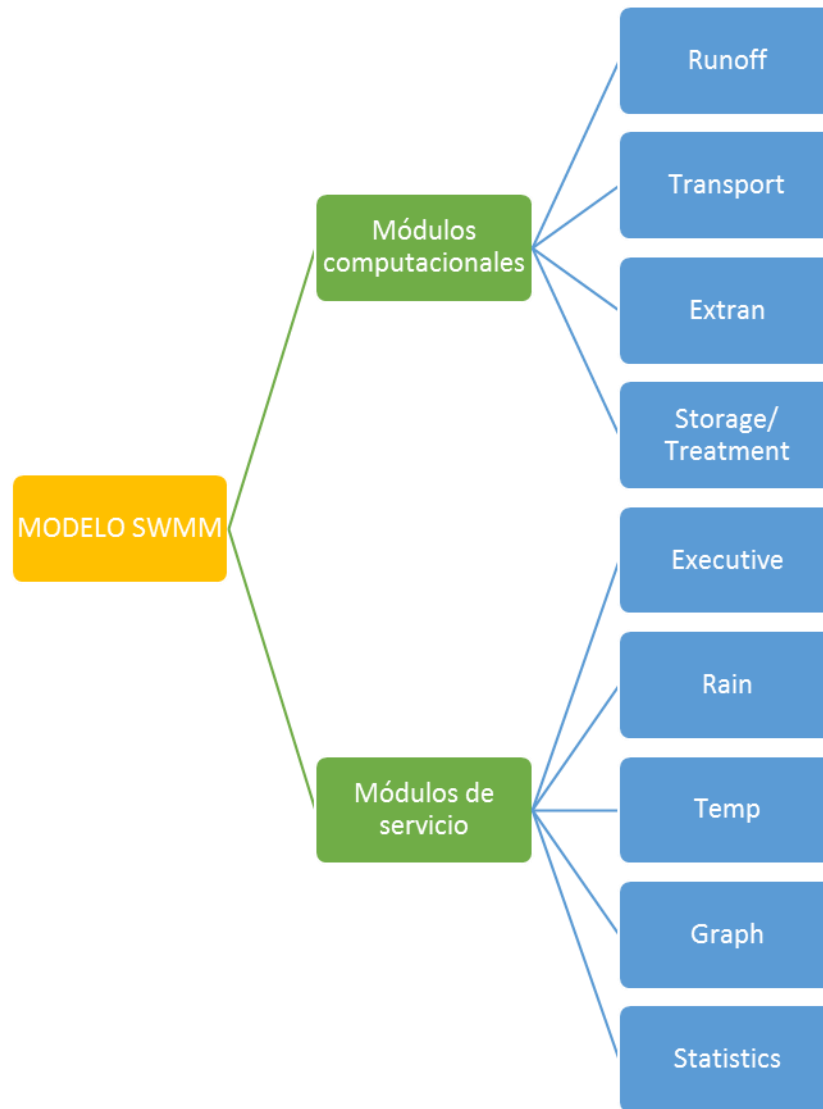


Ilustración 4.37 Características del modelo SWMM

En base a la Ilustración 4.37 el estudio que se va a realizar se ocuparan los módulos computacionales de RUNOFF, para el proceso de transformación lluvia - escorrentía y EXTRAN (Extended Transport), para el cálculo hidráulico de los conductos y el módulo de servicio Executive se utiliza para control de los bloques computacionales.

Para poder llevar a cabo la modelación en el programa, se utilizó la información obtenida anteriormente, las subcuencas y microcuencas obtenidas con sus características geomorfológicas.

Después de a verse realizado trabajos previos e investigaciones, se describe el procedimiento que se continuo para integrar la información, procesada en el Sistema de Información Geográfica (SIG) en el programa PCSWMM.

4.5.2. Componentes físicos (visual objects)

En la Ilustración 4.38 representa algunos de los componentes físicos que pueden presentarse en un sistema de drenaje de aguas pluviales estos componentes u objetos pueden representarse en PCSWMM. A continuación, se describen cada uno de los objetos.

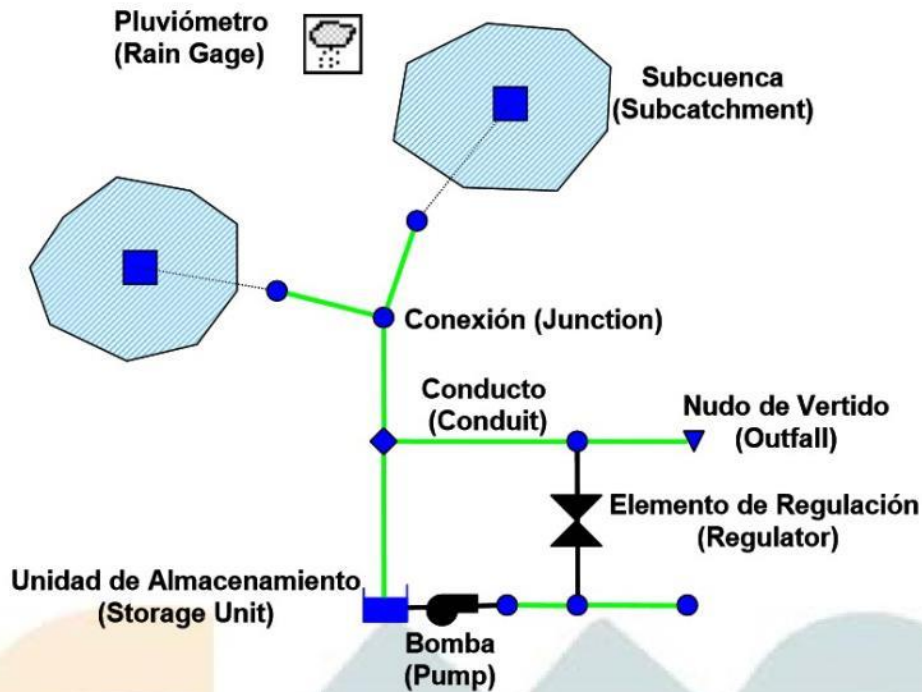


Ilustración 4.38 Ejemplo de los complementos físicos empleados en el modelo de un sistema de drenaje

4.5.2.1. Pluviómetros (Rain Gages)

Suministran los datos de entrada de las precipitaciones que ocurren en el área de estudio. Para este estudio se tomaron en cuenta las precipitaciones del hietograma obtenido de las estaciones meteorológicas automáticas de Tepoztlán, donde se describe el comportamiento de las lluvias con una duración de 180 minutos ver Ilustración 4.39.

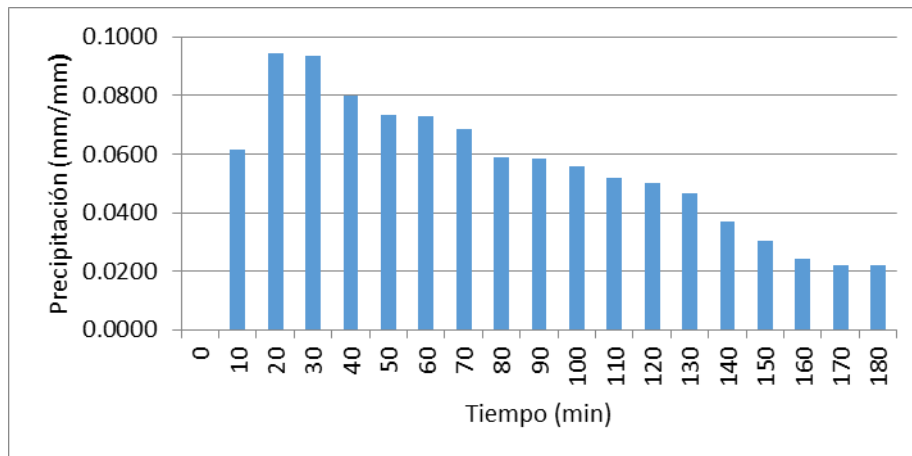


Ilustración 4.39 Hietograma de la estación de Tepoztlán

Propiedades principales de entrada del pluviómetro.

- Tipo de lluvia (volumen)
- Intervalo de tiempo de los datos (cada 10 minutos)
- Origen de los datos de lluvia (archivo externo)
- Nombre del origen de datos de lluvia

4.5.2.2. Cuencas (Subcatchments)

Las cuencas son unidades hidrológicas de terreno cuya topografía y elementos del sistema de drenaje conduce la escorrentía directamente hacia un punto de descarga. El área de estudio se dividió en varias subcuencas y microcuencas identificando el punto de salida (outlet) de cada una de ellas.

Para la infiltración de lluvia de las zonas permeables de una determinada cuenca sobre la parte superior del suelo no saturado, se utilizó el modelo de infiltración basado en el número de curva del SCN.

Otros de los parámetros principales de entrada de una cuenca son:

- El nudo o la cuenca donde descarga la cuenca representa.
- Los usos del suelo asignado.
- Las áreas y superficies tributarias.
- El porcentaje de impermeabilidad.
- La pendiente de la cuenca.
- La anchura, característica del flujo en superficie.
- Valor del coeficiente de Manning (n) para el flujo superficial tanto para áreas permeables como áreas impermeables.



4.5.2.3. Nodos de conexión

Son nudos del sistema de drenaje donde se conecta diferentes líneas entre sí. Físicamente pueden representar la confluencia de canales superficiales naturales, pozos de registro del sistema de drenaje o elementos de conexión de tuberías. Los aportes externos del caudal entran en el sistema a través de las conexiones.

4.5.2.4. Nodos de vertido (Outfall Nodes)

Son nudos terminales del sistema de drenaje, utilizados para definir las condiciones de contorno finales aguas abajo del sistema en nuestro caso que se utilizó el modelo de flujo de la Onda Dinámica (Dynamic Wave).

4.5.2.5. Conductos

Son tuberías o canales por los que se desplaza el agua desde un nudo a otro del sistema de transporte. Es posible seleccionar la sección transversal las distintas variedades de geometrías abiertas y cerradas definidas en el programa. Así mismo el programa permite también definir áreas de sección transversal irregular permitiendo representara con esto cauces naturales.

En este caso se utilizó una sección transversal rectangular; así mismo los principales parámetros de entrada para las conducciones son:

- Nombre de los nudos de entrada y de salida.
- Alturas del conducto respecto de la cota de fondo de los nudos inicial y final.
- Longitud del conducto.
- Coeficiente de Manning.
- Geometría de la sección transversal del conducto.
- Coeficientes de perdidas tanto para la entrada como para la salida del conducto.

4.5.2.6. Descargas (outlets)

Son dispositivos de control del caudal que se emplea de forma habitual para controlar los caudales de descarga de las unidades de descarga. Se emplean para modelar sistemas con relaciones especiales entre la altura y el caudal de descarga que no pueden ser caracterizadas mediante bombas, orificios y vertedores. Las descargas se representan internamente en PCSWMM mediante una línea conectada entre dos nudos. Así mismo cualquiera de las descargas puede disponer de una válvula de compuerta que impide el flujo en una de las direcciones.

4.5.3. Modelo matemático de la ciudad de Yautepec

4.5.3.1. Cuencas de aportación

Para las cuencas de aportación, estas se construyeron en el capítulo previo que lleva por título: Hidrología donde se generaron 41 subcuencas, a estos datos se calcularon además su pendiente media, ancho, porcentaje impermeable de cada cuenca y se les agregaron a cada cuenca un n permeable de 0.24 y n impermeable de 0.011 de acuerdo con datos de manual de SWMM (ver Tabla 4.21).

Tabla 4.21 Características geomorfológicas por cuenca

Nombre	Área (ha)	Ancho (m)	Longitud del flujo (m)	Pendiente (%)	Impermeabilidad (%)	N Imperv	N Perv	Numero de curva
C1	3079.59	7652.90	4024.08	20.88	19.51	0.01	0.24	55.36
C2	2683.73	3453.77	7770.45	20.12	20.49	0.01	0.24	53.41
C3	2846.75	4998.26	5695.48	19.48	17.83	0.01	0.24	48.72
C4	4119.06	3951.13	10425.01	15.68	36.80	0.01	0.24	72.60
C5	9925.85	7057.00	14065.26	30.23	19.60	0.01	0.24	54.56
C6	2709.22	4303.80	6294.97	21.72	24.21	0.01	0.24	60.02
C7	2264.81	1843.42	12285.88	17.70	28.56	0.01	0.24	67.17
C8	2668.11	5319.61	5015.61	7.71	37.11	0.01	0.24	75.67
C9	3020.70	4364.41	6921.21	12.02	35.67	0.01	0.24	71.75
C10	2348.27	2473.87	9492.29	20.93	21.62	0.01	0.24	50.31
C11	3339.90	4020.13	8307.96	17.77	33.86	0.01	0.24	71.77
C12	2601.84	1933.21	13458.67	14.82	32.87	0.01	0.24	75.78
C13	2438.29	2675.68	9112.80	35.05	25.78	0.01	0.24	57.98
C14	1889.07	1955.36	9661.01	42.19	25.52	0.01	0.24	47.27
C15	4350.90	4784.07	9094.55	35.21	30.53	0.01	0.24	68.14
C16	1806.20	3719.66	4855.82	29.83	31.40	0.01	0.24	72.33
C17	1093.89	5196.23	2105.16	14.14	44.65	0.01	0.24	74.39
C18	2709.33	6302.92	4298.53	14.70	40.94	0.01	0.24	76.41
C19	1484.58	3217.52	4614.05	21.35	31.23	0.01	0.24	75.45
C20	2563.66	5699.83	4497.79	15.06	34.17	0.01	0.24	78.69
C21	2085.54	5239.27	3980.59	22.18	26.38	0.01	0.24	72.55
C22	1262.61	1348.15	9365.52	9.85	33.90	0.01	0.24	76.96
C23	1983.54	2899.25	6841.55	20.52	28.28	0.01	0.24	54.22
C25	2587.37	3689.20	7013.37	12.04	33.49	0.01	0.24	73.73
C26	3166.78	4605.64	6875.86	8.91	47.05	0.01	0.24	77.68
C28	1105.29	3984.84	2773.74	8.35	35.70	0.01	0.24	89.20
C29	2159.99	4746.11	4551.08	20.05	32.34	0.01	0.24	66.99
C30	1426.99	6925.45	2060.50	11.79	42.57	0.01	0.24	80.76



Nombre	Área (ha)	Ancho (m)	Longitud del flujo (m)	Pendiente (%)	Impermeabilidad (%)	N Imperv	N Perv	Numero de curva
C33	3069.18	3957.11	7756.12	10.04	37.51	0.01	0.24	79.37
C35	1607.56	2850.86	5638.87	32.92	32.87	0.01	0.24	62.60
C36	1782.32	5901.55	3020.10	13.67	31.72	0.01	0.24	73.85
C37	3621.46	9625.59	3762.32	25.05	29.94	0.01	0.24	64.59
C38	3083.54	7864.71	3920.73	26.22	28.17	0.01	0.24	56.26
C39	1831.39	3505.22	5224.75	15.10	29.86	0.01	0.24	73.24
C40	1498.60	4383.61	3418.64	22.20	27.67	0.01	0.24	65.05
C41	2359.24	4064.79	5804.11	18.82	28.77	0.01	0.24	67.39
C24	1631.43	3230.94	5049.38	10.14	33.47	0.01	0.24	74.56
S27	1937.49	3502.24	5532.14	10.25	39.39	0.01	0.24	74.85
S31	803.11	2994.92	2681.58	7.27	58.16	0.01	0.24	93.37
S32	1017.37	1969.91	5164.55	7.67	43.11	0.01	0.24	89.98
S34	1540.72	4796.48	3212.19	11.01	45.83	0.01	0.24	84.75

Esta información es necesaria para el que el programa realice parte del proceso lluvia escurrimiento para la simulación. Además para que el gasto descargue al río se realizaran un transvase entre cuencas para hacer llegar el agua al río (ver líneas de color rojo de la Ilustración 4.40).



Ilustración 4.40 Transvase entre cuencas

4.5.3.2. Lluvias de diseño

Para el análisis de la lluvia de diseño se llevó a cabo tomando en cuenta los datos de la estación EMA Tepoztlán donde al realizar un análisis de las tormentas por duración se puede establecer que la tormenta que más se presenta en ese lapso de tiempo de información de datos es la de 60 minutos. Por lo que con las curvas HPD-TR se llevo a cabo la integración de las lluvias de diseño (ver Ilustración 4.41).

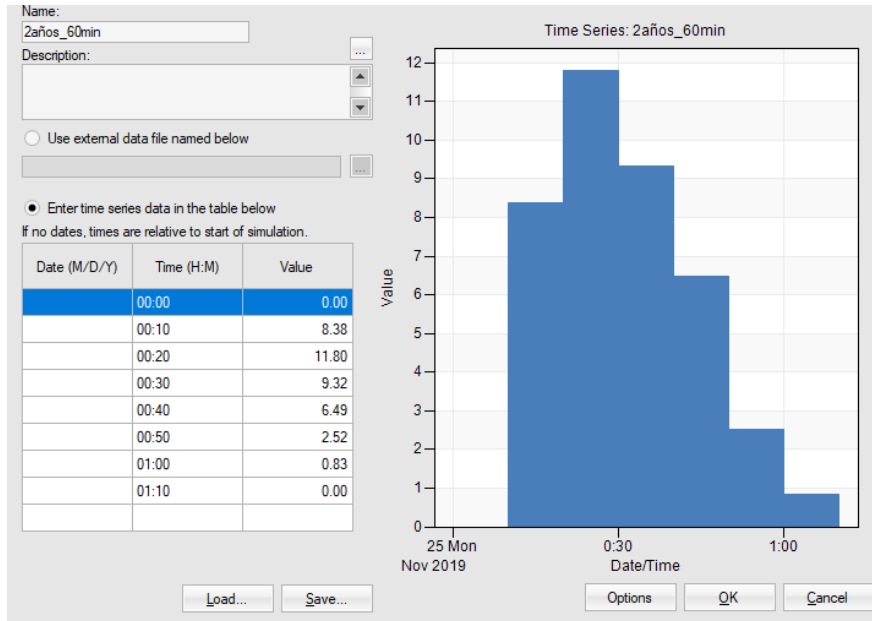


Ilustración 4.41 Lluvia de diseño vinculada a un periodo de retorno de 2 años

4.5.3.3. Conductos y nodos

Para establecer los conductos y nodos del modelo, primeramente para las conductos se recopiló información del Organismo de Cuenca Balsas de la CONAGUA, quien nos proporcionó un levantamiento del río de la parte aguas debajo de la ciudad de Yautepec, para el centro de Yautepec hacia aguas arriba se tomó la información del Sistema Estatal de Información ambiental y de Recursos Naturales, SEIARN del estado de Morelos, donde se encontraron curvas a 1 m de distancia y se utilizaron para integrar la otra parte del río.

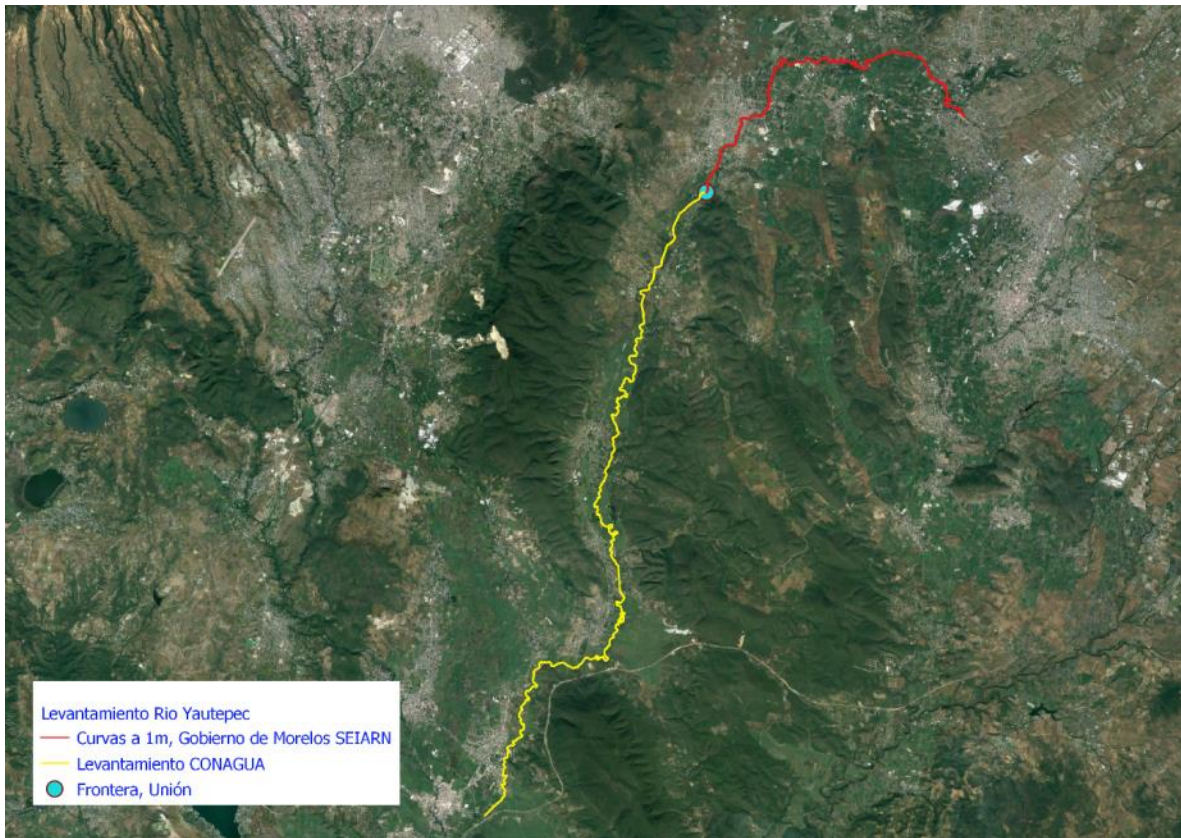


Ilustración 4.42 Información utilizada para la generación de secciones del río

Pero al evaluar cada una de las secciones que resultaron para el modelo, se tiene que para la parte con la que se cuenta con un levantamiento batimétrico el fondo del río de una manera aceptable, por otra parte con las curvas del SEIARN se obtuvo que el fondo del río no se representa un manera aceptable por lo que es un detalle a considerar (ver Ilustración 4.43).

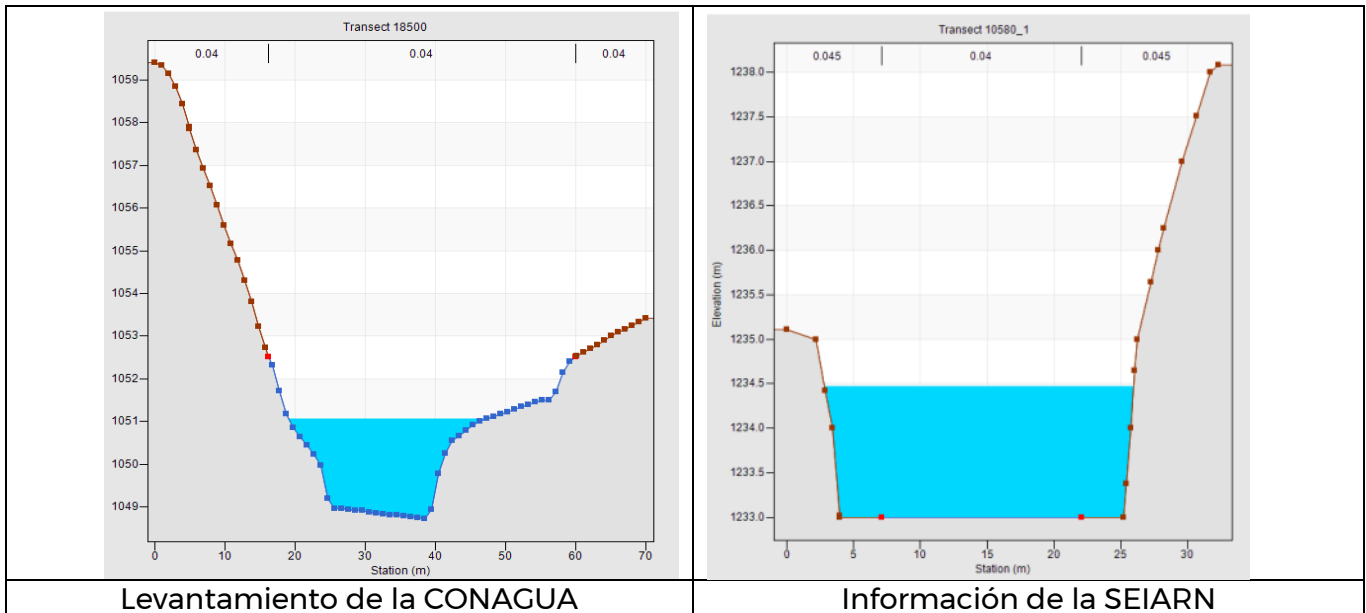


Ilustración 4.43 Secciones en diferentes tramos del río

Para los nodos del río se tomó a partir de la cota de fondo de cada sección y el maxdepth es la altura de la misma.

4.5.3.4. Integración del modelo

El modelo hidráulico quedó conformado por las cuencas de aportación, lluvias de diseño, conductos y nodo. Se le agrego un tiempo de simulación de 24 horas, un intervalo de simulación de 5 minutos, además de tener el método de onda dinámica para la propagación de flujo. Para la condición de infiltración se evaluara por medio del método de números de curva de la SCS y las unidades del modelo son metros cúbicos por segundo.

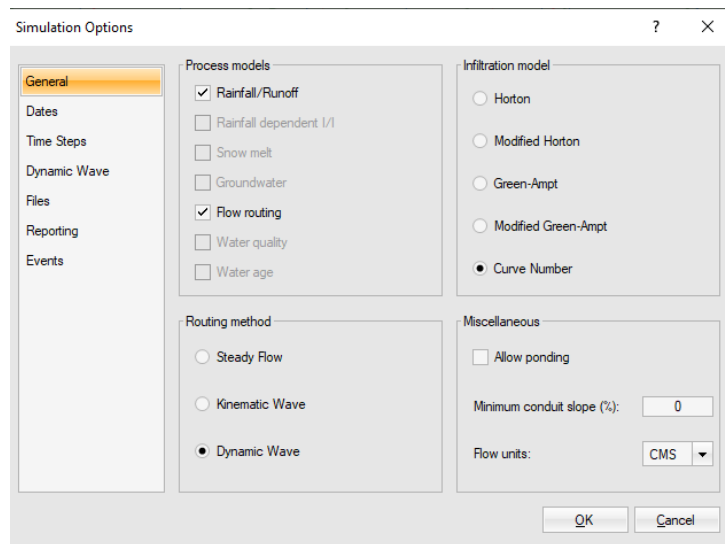


Ilustración 4.44 Opciones de simulación

En la siguiente figura se presenta la integración del modelo hidráulico en la plataforma PCSWMM.

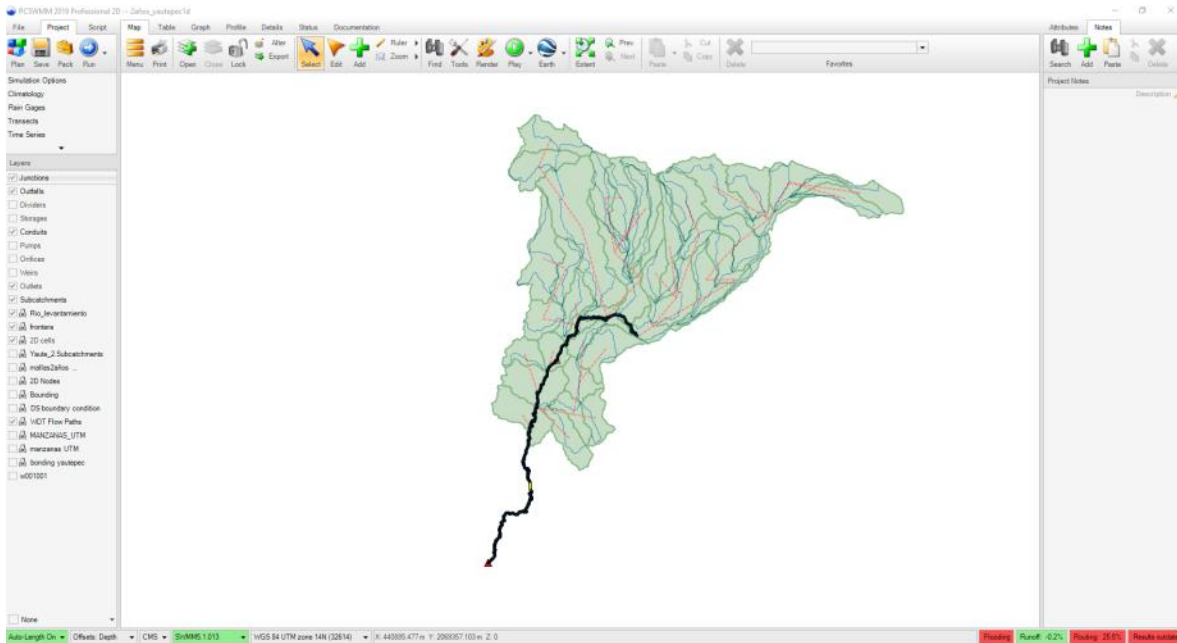


Ilustración 4.45 Modelo hidráulico de simulación en SWMM

4.5.4. Resultados

Se realizaron 6 escenarios para conocer los puntos de desbordamiento con diferentes lluvias vinculadas a diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años). Se establecen 23 puntos que presentan desbordamiento en el río Yautepec, de los cuales 22 puntos se repiten en todos los periodos de retorno, mientras que los restantes 2 se presentan zonas inundables en ciertos periodos de retorno. En la tabla

Tabla 4.22 Zonas de inundación del río Yautepec.

Id	Coordenadas		Periodo de retorno de Inundación					
	X	Y	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
1	492001.832	2085145.54	SI	SI	SI	SI	SI	SI
2	493161.435	2087036.99	SI	SI	SI	SI	SI	SI
3	493185.09	2087234.19	SI	SI	SI	SI	SI	SI
4	493189.762	2087253.59	SI	SI	SI	SI	SI	SI
5	493185.774	2087313.02	SI	SI	SI	SI	SI	SI
6	493188.242	2087332.7	SI	SI	SI	SI	SI	SI
7	493192.752	2087352.19	SI	SI	SI	SI	SI	SI
8	493441.492	2088111.34	SI	SI	SI	SI	SI	SI
9	493459.792	2088119.41	SI	SI	SI	SI	SI	SI
10	493478.474	2088126.54	SI	SI	SI	SI	SI	SI
11	493825.515	2088204.23	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Id	Coordenadas		Periodo de retorno de Inundación					
	X	Y	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
12	495074.005	2090513.24	SI	SI	SI	SI	SI	SI
13	495055.967	2090521.81	SI	SI	SI	SI	SI	SI
14	495037.63	2090529.79	SI	SI	SI	SI	SI	SI
15	495021.907	2090541.79	SI	SI	SI	SI	SI	SI
16	495117.954	2090689.59	SI	SI	SI	SI	SI	SI
17	495216.265	2090654.35	SI	SI	SI	SI	SI	SI
18	495231.257	2090641.11	SI	SI	SI	SI	SI	SI
19	495244.194	2090625.86	SI	SI	SI	SI	SI	SI
20	495467.668	2090470.99	NO	NO	NO	NO	NO	SI
21	495484.106	2090482.35	NO	NO	NO	NO	SI	SI
22	496717.404	2090707.59	SI	SI	SI	SI	SI	SI
23	496737.324	2090708.11	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Por otra parte se pueden establecer 9 zonas de inundación que engloban los puntos inundables, en la siguiente figura se presentan los resultados.

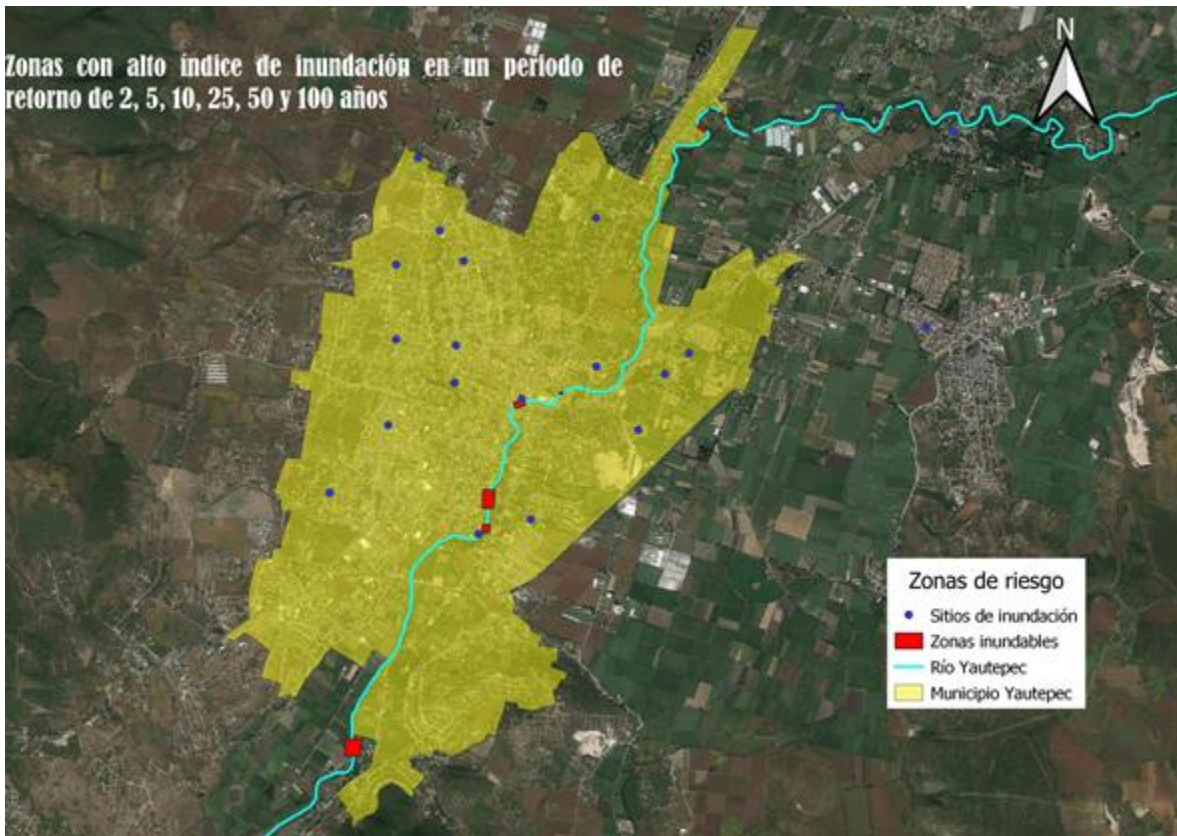


Ilustración 4.46 Zonas con una alta probabilidad de inundación

En la anterior figura, se presenta de color azul las zonas inundables que han sido delimitadas por la CONAGUA, donde se tienen una semejanza en dos puntos con los que se generó en las simulaciones y los otros puntos que desbordan se pueden deber a la falta de datos consistentes en el levantamiento de la zona norte del río dado que no tienen bien delimitado el fondo de la sección y eso genera que no se tenga la capacidad hidráulica actual.

De la zona alta de la cuenca, es decir de Cocoyoc hacia aguas arriba el río tiene un gasto máximo de 243 m³/s para 2 años, 304.8 m³/s para 5 años, 353.5 m³/s para 10 años, 422.1 m³/s para 25 años, 476.8 m³/s para 50 años y 533.9 m³/s para 100 años

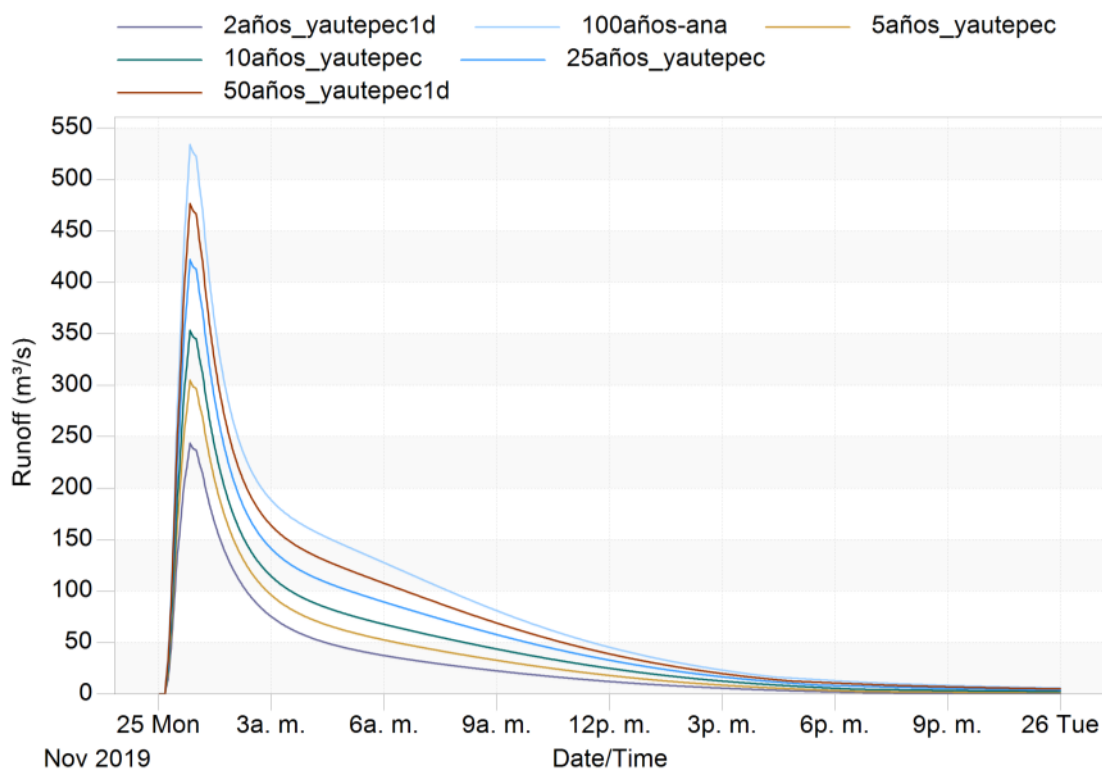


Ilustración 4.47 Hidrogramas en la cuenca de Cocoyoc hacia aguas arriba

Además en la zona del oeste donde proviene el agua de Tepoztlán y Amatlan, se tienen los siguientes datos, para un periodo de retorno se presenta un gasto máximo de 290.6 m³/s.

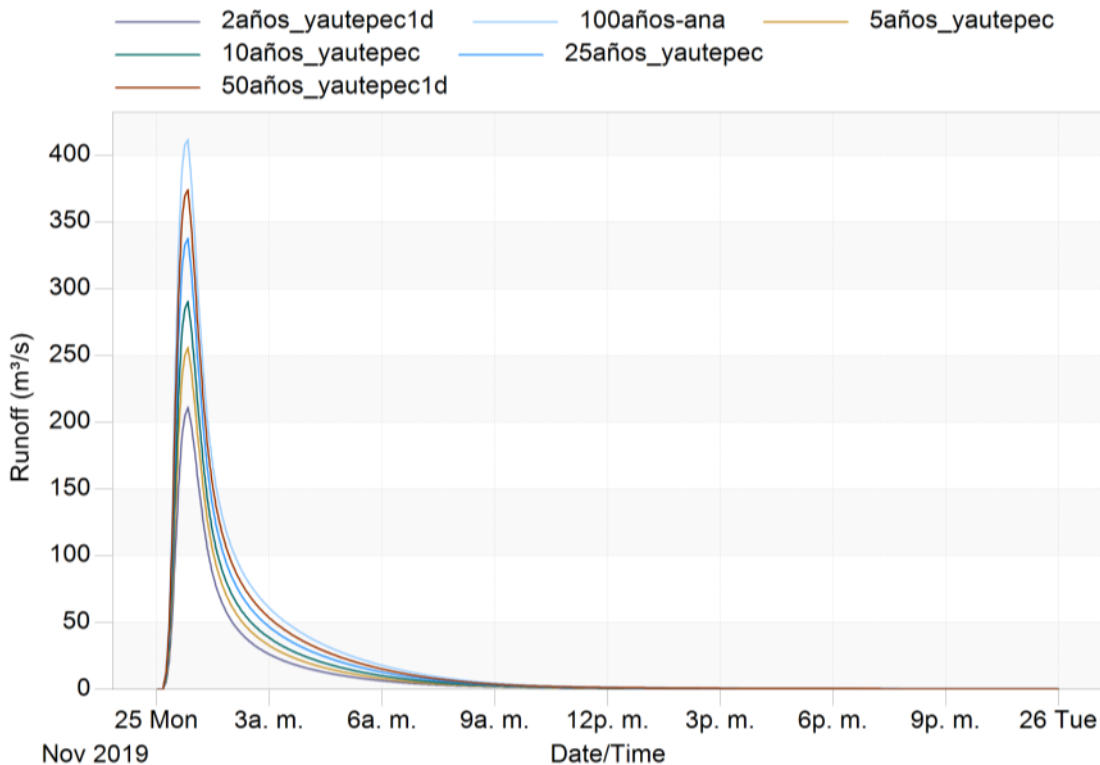


Ilustración 4.48 Hidrogramas de los ríos que provienen de Amatlan y Tepoztlán

En ambos casos se presenta un tiempo de duración del hidrograma de 23.23 horas, es decir que para que pase una avenida por completo el tiempo en que transita por el río hasta tener un gasto base es cercano a un día.

4.6. Conclusiones

Se generó un modelo hidráulico que permite generar el fenómeno lluvia escurrimiento la ciudad de Yautepec, considerando su cuenca de aportación. Se generaron las secciones del río en base a dos bases de datos, la primera un levantamiento batimétrico de la CONAGUA y la segunda de curvas a un metros altura del SEIARN.

En base a la simulación hidráulica se establecen 24 puntos donde se presentan zonas inundables, de los cuales 22 puntos son recurrentes en todos los periodos de retorno y solo 2 puntos tienen desbordamientos en algunos periodos de retorno.

Se configuraron 9 zonas que engloban los puntos inundables, de los cuales 2 puntos coinciden con las inundaciones históricas de la CONAGUA, y las zonas que no coinciden se pueden deber a la falta de capacidad en las secciones de la zona norte.

En la zona de la cuenca de Cocoyoc hacia aguas arriba se presenta un gasto mínimo de 243 m³/s (periodo de retorno de 2 años) y un gasto máximo de 533.9 m³/s (periodo de retorno de



100 años), y en la zona donde proviene el agua de Amatlan y Tepoztlan hacia Yautepec se presenta un gasto de $290.6 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 100 años.

4.7. Recomendaciones.

Realizar un levamiento en la zona norte de Yautepec para tener una sección que represente el fondo del cauce.

Agregar puentes y obstrucciones que permitan estrangular el agua en diferentes puntos de la ciudad de Yautepec.

En base a este modelo de simulación empezar a construir el modelo bidimensional de escurrimientos.

5. Instrumentación del cauce

5.1. Instalación de dispositivos de medición

Se realizarán los trabajos necesarios para instalar tres sensores ultrasónicos de nivel, apegándose a las características y recomendaciones de los equipos.

En colaboración con el personal de Conagua, Protección Civil del estado de Morelos y del ayuntamiento de Yauatepec, se realizaron una inspección visual para identificar los sitios donde se instalaran los sensores de nivel.

Estos sitio fueron seleccionados debido a la importancia que estos puntos implican en la protección de las comunidades aguas abajo del cauce.

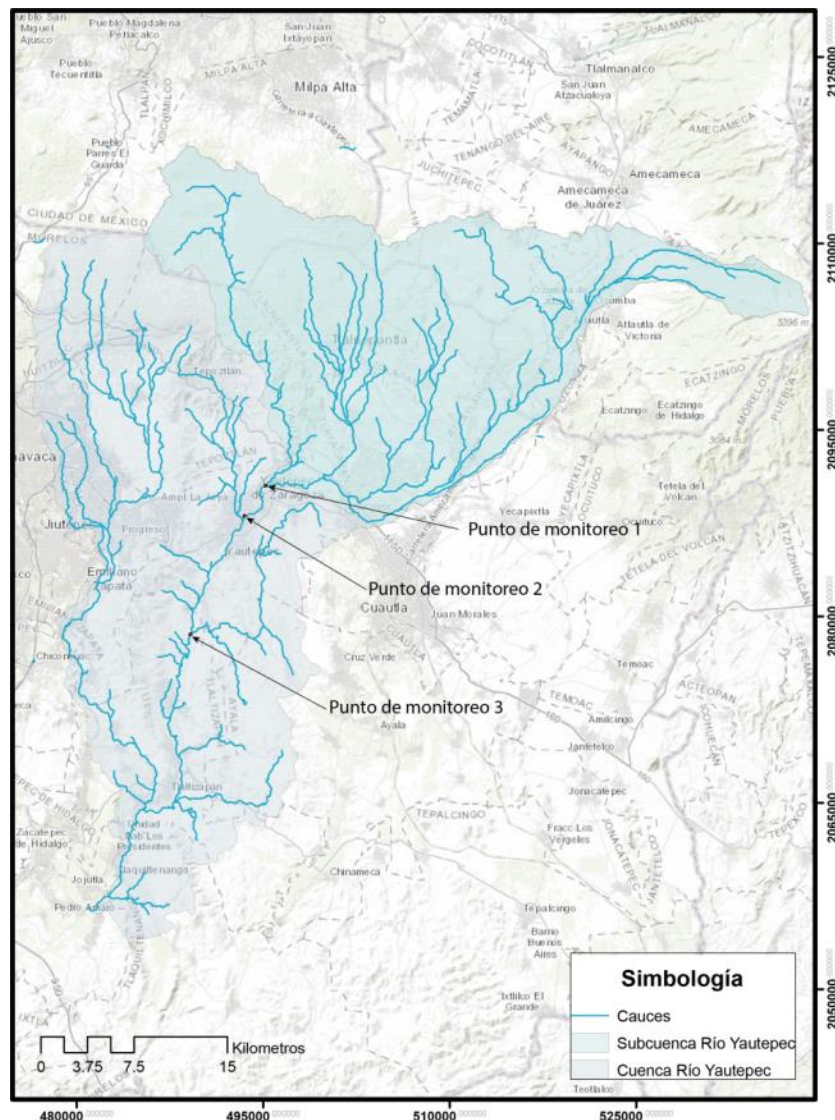


Ilustración 5.1 Ubicación de los tres puntos de medición de niveles



5.1.1. Punto de medición 1 Oaxtepec

El primer punto se identificó en el puente, que cruza el río en las coordenadas 2089621.00N, 501792.00E, en UTM 14N (Ilustración 5.2). En este punto confluyen los cauces que vienen de la parte alta de la cuenca, desde la zona de los volcanes Popocatepetl e Iztacihuatl y los escurrimientos desde Atlatlauacan.

De acuerdo con la información proporcionada por la Coordinación de Protección Civil el tiempo de respuesta del cauce, desde este punto hasta la cabecera municipal de Yautepec, es de dos horas, por lo que tener medición de nivel en este sitio, permitirá anticipar cualquier posible desbordamiento del río en la zona urbana del municipio.

5.1.2. Punto de medición 2 Yautepec

El segundo punto se identificó en el puente, que cruza el río en las coordenadas 2089736.00N, 494643.00E, en UTM 14N (Ilustración 5.3). En este punto se encuentra una estación de aforo de Conagua.

De acuerdo con la información proporcionada por la Coordinación de Protección Civil este punto se considera el inicio de la zona urbana de Yautepec, por lo que tener medición de nivel en este sitio, permitirá anticipar cualquier posible desbordamiento del río en la zona urbana del municipio.

A partir de este punto, el tiempo de respuesta hasta la comunidad de Ticuman es de tres horas, por lo que tener medición de nivel en este sitio, permitirá anticipar cualquier posible desbordamiento del río en la zona urbana del municipio de Tlaltizapan.

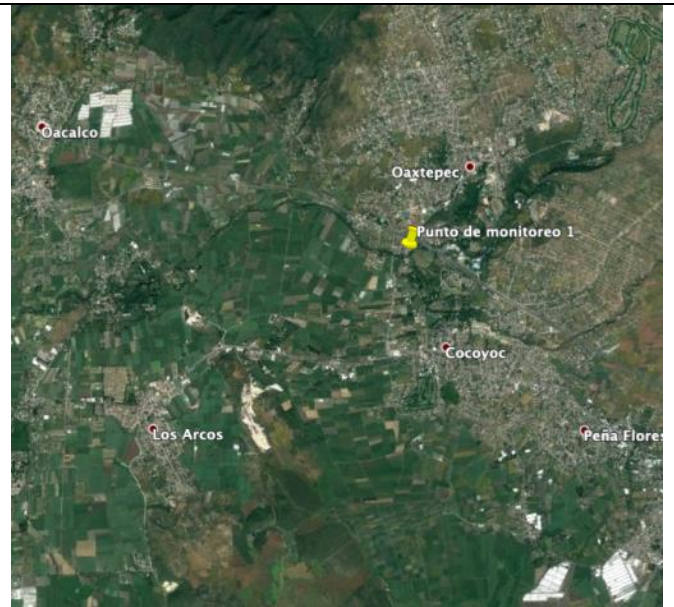
5.1.3. Punto de medición 3 Ticuman

El tercer punto se identificó en el puente, que cruza el río en las coordenadas 2078163.00N, 488985.00E, en UTM 14N (Ilustración 5.4). En este punto se encuentra una estación de aforo de Conagua.

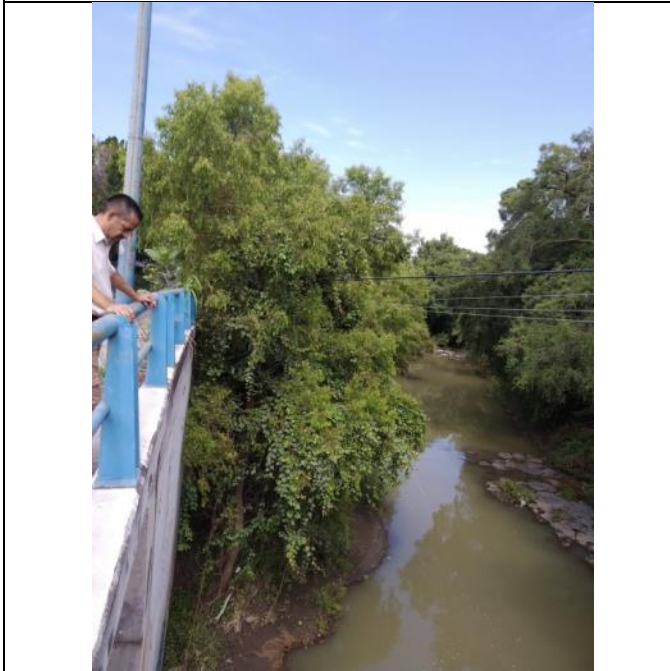
De acuerdo con la información proporcionada por la Coordinación de Protección Civil en este punto, el tiempo de respuesta hasta la comunidad de Tlaltizapan es de una hora, por lo que tener medición de nivel en este sitio, permitirá anticipar cualquier posible desbordamiento del río en la zona urbana del municipio de Tlaltizapan.



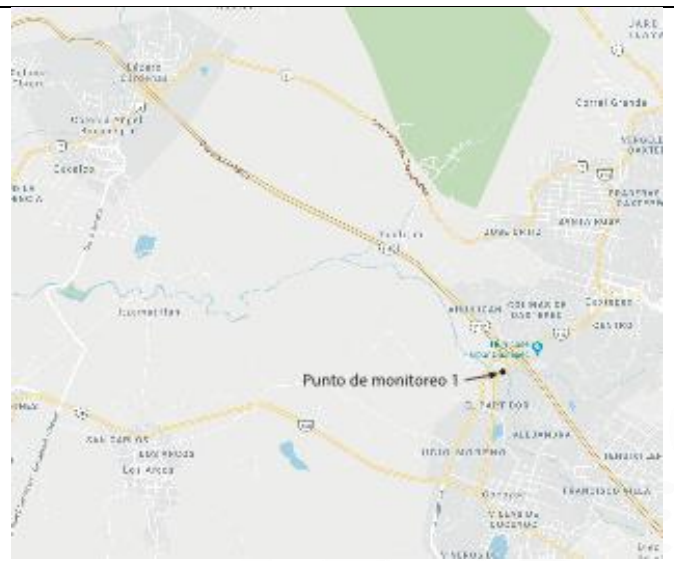
Puente para instalar punto de monitoreo 1



Vista aérea



Puente para instalar punto de monitoreo 1



Croquis de ubicación

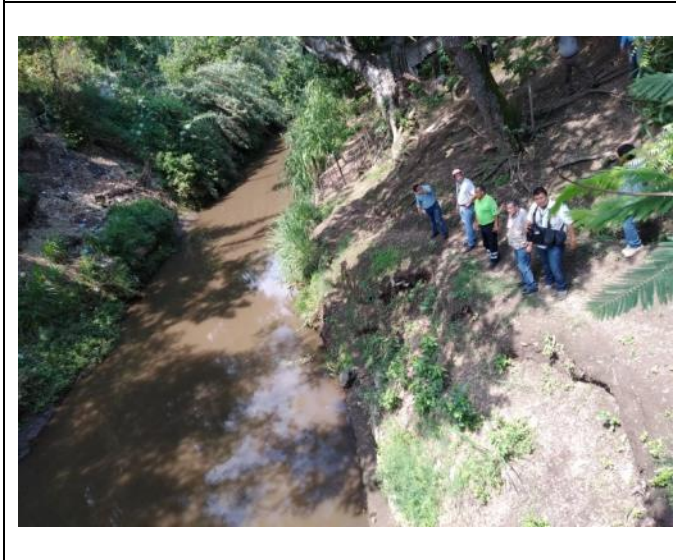
Ilustración 5.2 Punto de monitoreo 1



Puente para instalar punto de monitoreo 2



Vista aérea



Cauce en el punto de monitoreo 2



Croquis de ubicación

Ilustración 5.3 Punto de monitoreo 2

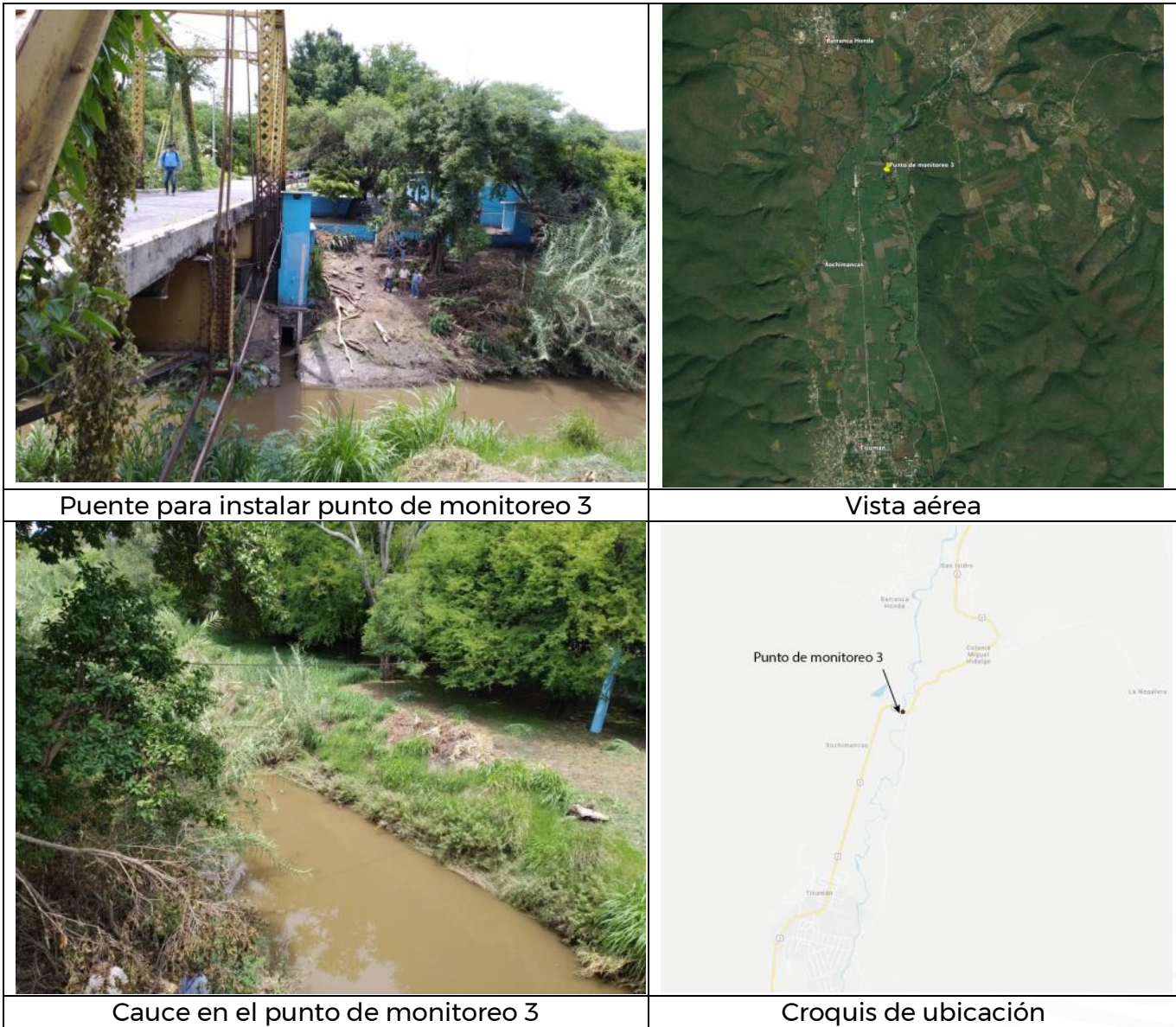


Ilustración 5.4 Punto de monitoreo 3

En función de las características de los sensores seleccionados, se adecuara el sitio para la correcta instalación de los dispositivos, para lo cual deberá considerarse un soporte metálico ajustable. Dependiendo las condiciones propias del sitio se definirá la configuración más adecuada.

Adicionalmente deberá instalarse los sistemas eléctricos y de comunicación necesarios para la operación, de acuerdo con las características específicas de los sensores.

El medidor de nivel a utilizar deberá ser de principio del tiempo de retorno (ToF), que mida la distancia entre el punto de referencia (conexión a proceso) y la superficie del agua. La

antena del equipo emite pulsos de microondas hacia la superficie del producto donde se reflejan y el sistema de radar detecta seguidamente dichos pulsos reflejados.

5.2. Estaciones de medición de nivel

5.2.1. Arreglo físico

El arreglo general consiste en un sensor de distancia conectado a una placa de programación, la cual está alimentada desde una batería recargable y un panel solar de 9 W (Ilustración 5.5). Esta placa contendrá el código para la operación y transmisión de información vía GPRS y para almacenar los datos en un dispositivo portátil.

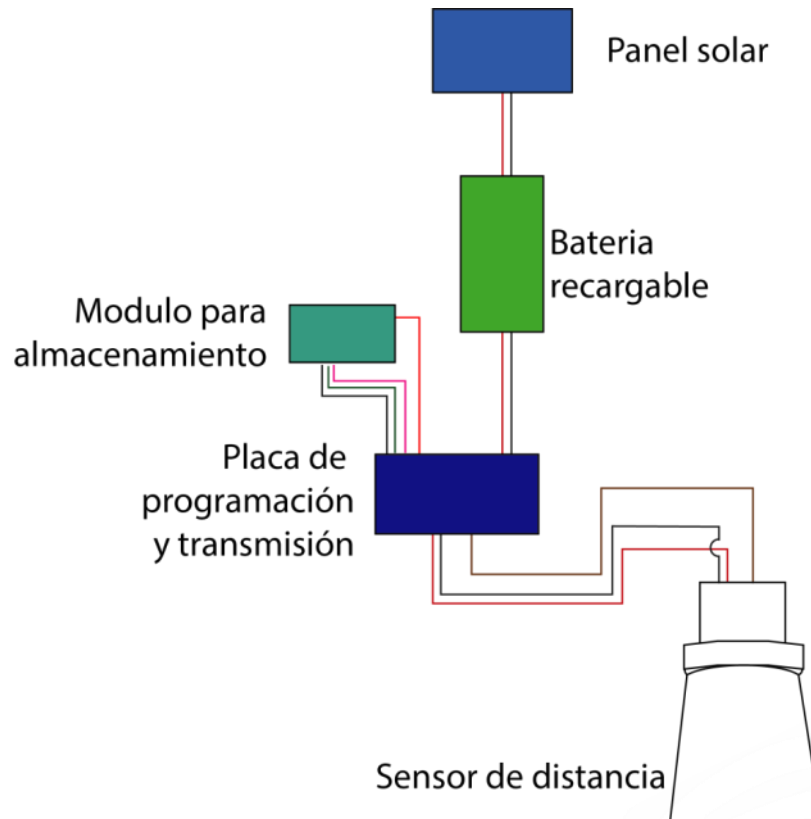


Ilustración 5.5 Esquema general de la estación de medición de nivel

5.2.2. Programado de las estaciones

Se desarrolló un algoritmo que permite la lectura de la distancia entre el sensor y la superficie del agua, esta, con base en parámetros constantes característicos de cada punto se convertirá a nivel del cauce, en metros (Ilustración 5.6) y dependiendo del comportamiento del nivel será enviado por señal GPRS a una estación de monitoreo.

Entonces:

$$N = F_B - L$$

Donde:



N	=	Nivel de agua en el río
F_B	=	Distancia entre el sensor y el fondo base del río
L	=	Distancia medida por el sensor

Así mismo se generaran dos alertas, una preventiva y otra de emergencia, las cuales serán utilizadas para generar avisos del estado del cauce. Estas alertas se generarán a través de condicionantes en el algoritmo de la siguiente manera:

Si:

$$N < LimPrev$$

entonces

$$Est = 0$$

Si:

$$LimEmer > N \geq LimPrev$$

entonces

$$Est = 1$$

Si:

$$N \geq LimEmer$$

entonces

$$Est = 2$$

Donde:

N	=	Nivel de agua en el río
$LimPrev$	=	Nivel de agua en el río establecida como valor límite preventivo para el cual se deben iniciar los protocolos de un posible desbordamiento del cauce
$LimEmer$	=	Nivel de agua en el río establecida como valor límite para el cual el cauce desbordará aguas abajo
Est	=	Variable que indica el estado del cauce, 0 para normal. 1, para nivel preventivo y 2 para desborde inminente

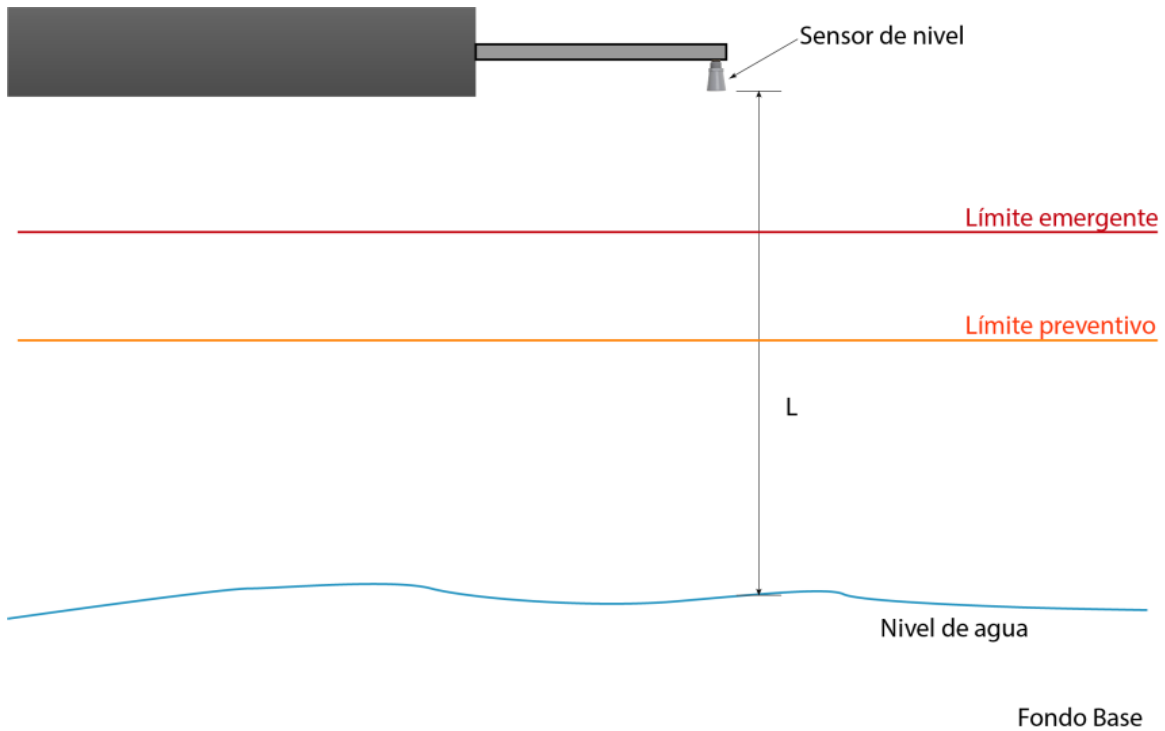


Ilustración 5.6 Definición de niveles para la estación de medición

Con estos valores el sistema deberá enviar, vía GPRS los datos registrados en una línea compuesta del nivel (N) y el estado (Est) de una forma selectiva, es decir, dependiendo del comportamiento del nivel, será la periodicidad con la que se envíen los valores, de acuerdo con lo siguiente:

- Si $Est = 0$ Entonces si $\begin{cases} N_i - N_{i-1} \leq 0.5 \\ N_i - N_{i-1} > 0.5 \end{cases}$ Envía datos cada 6 horas
 Envía datos cada 1 hora
- Si $Est = 1$ Envía datos cada 30 minutos
- Si $Est = 2$ Envía datos cada 10 minutos

La línea que será enviada en cada caso se compondrá de dos datos separados por una coma, de la siguiente manera:

Nivel	Estado
4.35	, 0
4.45	, 0
5.2	, 1
5.7	, 1
6.3	, 2

De forma paralela en el dispositivo de almacenamiento portátil, la línea será guardada en un archivo de texto, junto con el día y la hora.

5.2.3. Construcción del sistema

Una vez definido el arreglo del sistema y conociendo el sitio de instalación de cada uno de los equipos, se diseñó el soporte tomando en consideración la seguridad e integridad del sistema, tal como se presenta en la Ilustración 5.8, la Ilustración 5.9 y la Ilustración 5.10. A partir de estos diseños se construyó en acero por medio de perfiles estructurales, lo cual garantiza su protección y durabilidad. Por su parte los circuitos se alojaron dentro de un gabinete de protección tipo NEMA con grado de protección IP66, tal como se muestra en la Ilustración 5.7.



Ilustración 5.7 Proceso constructivo de las estaciones de medición de nivel

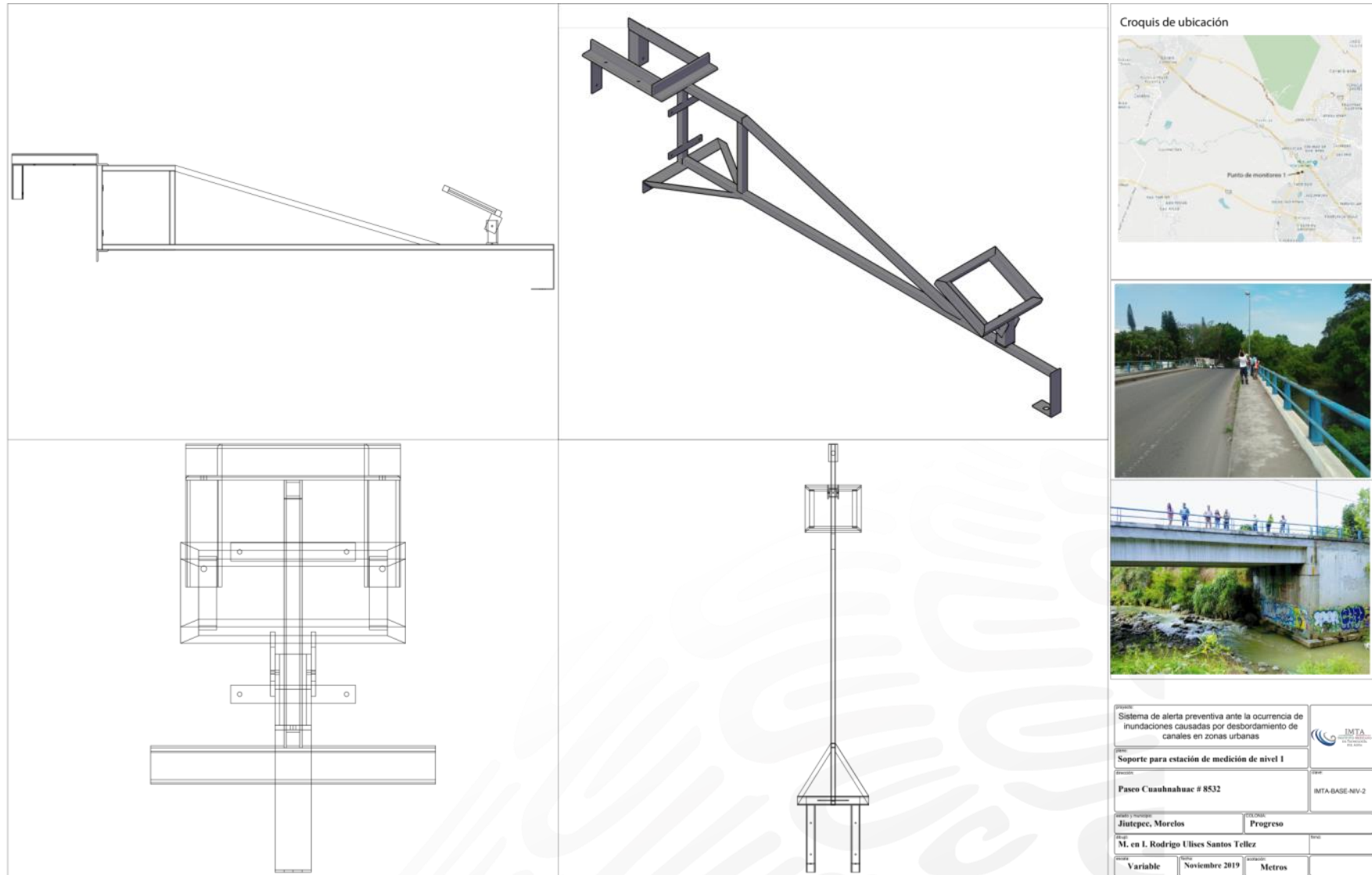


Ilustración 5.8 Plano del sistema de monitoreo de nivel para el punto 1 Oaxtepec

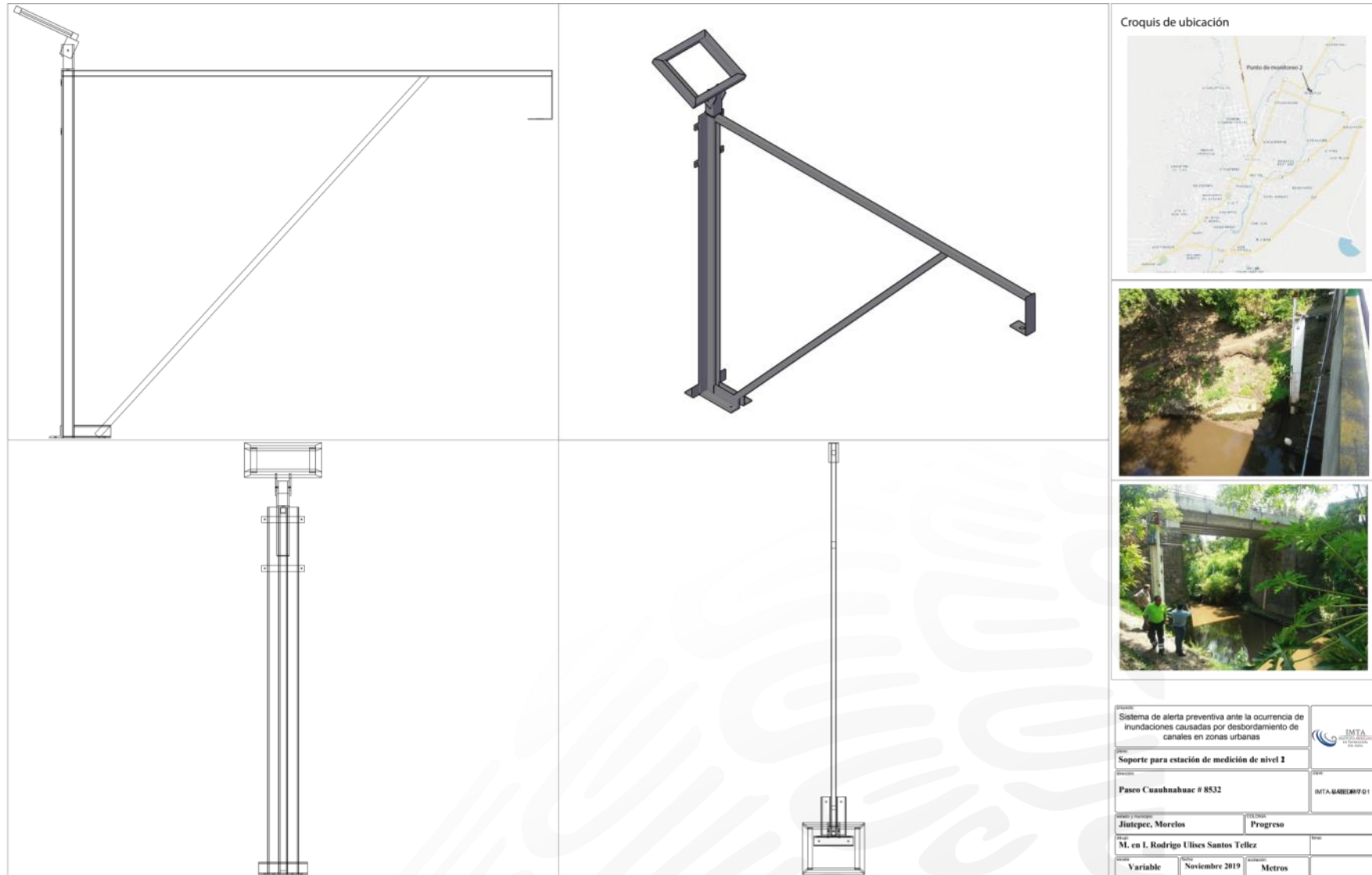


Ilustración 5.9 Plano del sistema de monitoreo de nivel para el punto 2 Yautepec



Cada arreglo fue diseñado para instalarse en un sitio en particular, el primero se instalará sobre el puente Oaxtepec, tal como se presenta en la Ilustración 5.11, el segundo se instalará en la estación hidrométrica de Conagua 18193 Yautepec, tal como se muestra en la Ilustración 5.12, la tercera se instalara en la estación hidrométrica de Conagua 18223 Ticuman, como puede observarse en la Ilustración 5.13.



Ilustración 5.11 Ubicación del sensor 1 en sitio (Puente Oaxtepec)



Ilustración 5.12 Ubicación del sensor 2 en sitio (Estación de aforo Yautepec)



Ilustración 5.13 Ubicación del sensor 3 en sitio (Estación de aforo Ticuman)



6. Instrumentación de la cuenca

6.1. Instalación de dispositivos de medición de lluvia

Se realizarán los trabajos necesarios para instalar tres estaciones climatológicas en tres puntos estratégicos de la cuenca.

En colaboración con el personal de Conagua, Protección Civil del estado de Morelos y del ayuntamiento de Yautepec, se propuso instalar dichas estaciones en los edificios de los ayuntamientos de Atlatlahucan, Tlayacapan y Tepoztlán.

Estos sitios fueron seleccionados debido a la importancia que implican en el comportamiento de la lluvia y el escurrimiento por el río Yautepec. Adicionalmente que estando instalados en los Ayuntamientos disminuye el riesgo de daño por vandalismo.

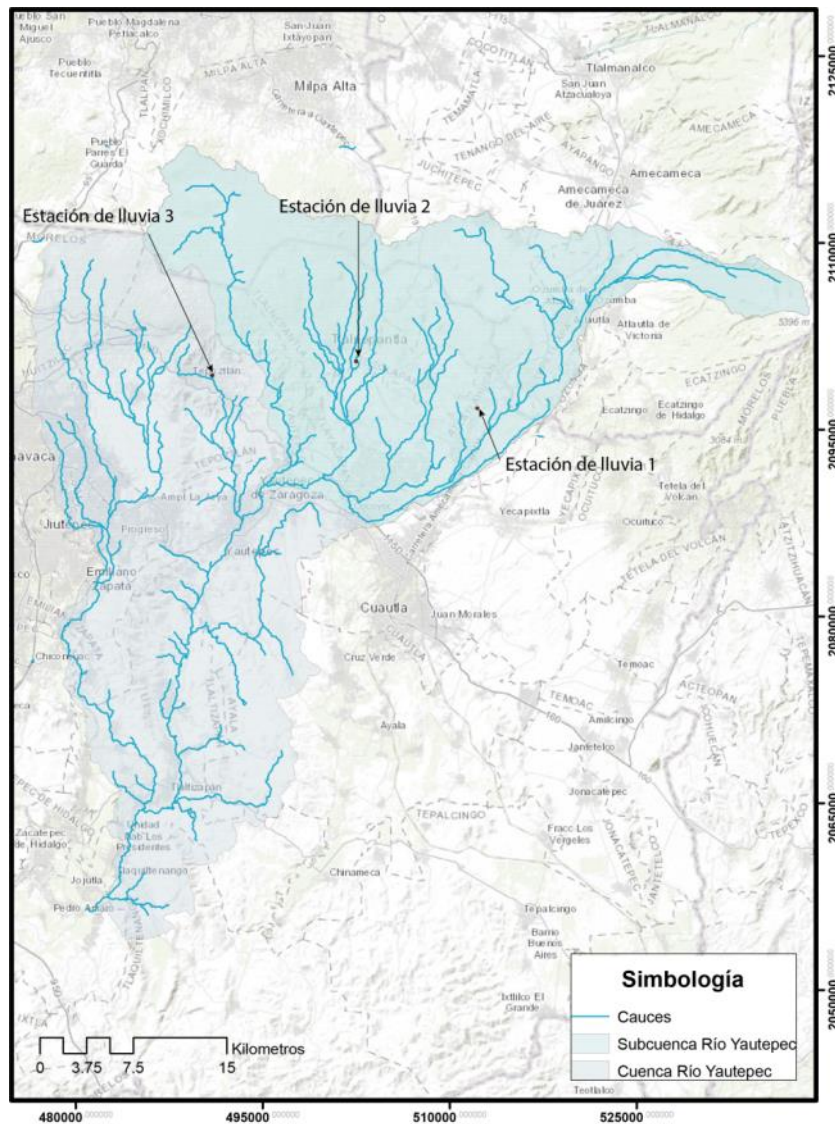


Ilustración 6.1 Ubicación de los tres puntos de medición de lluvia



6.1.1. Punto de medición de lluvia 1 Atlatlahucan

El primer punto se identificó en el ayuntamiento de Atlatlahucan en las coordenadas 2093781.00N, 510607.00E, en UTM 14N (Ilustración 6.2).

6.1.2. Punto de medición de lluvia 2 Tlayacapan

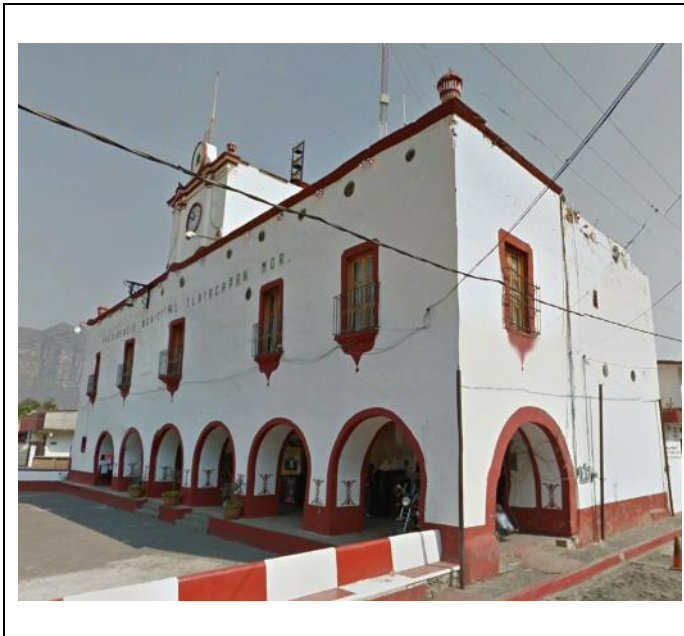
El segundo punto se identificó en el Ayuntamiento de Tlayacapan en las coordenadas 501789.00E, 2096027.00N, en UTM 14N (Ilustración 6.3).

6.1.3. Punto de medición de lluvia 3 Tepoztlán

El tercer punto se identificó en el Ayuntamiento de Tepoztlán en las coordenadas 489334.00E, 2099336.00N, en UTM 14N (Ilustración 6.4).

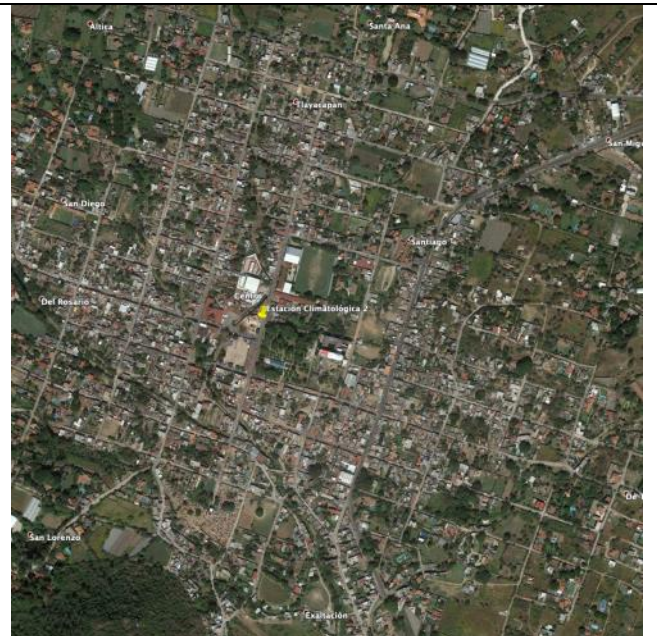


Ilustración 6.2 Estación de lluvia 1



Edificio para instalar Estación de Lluvia 2

Ilustración 6.3 Estación de Lluvia 2

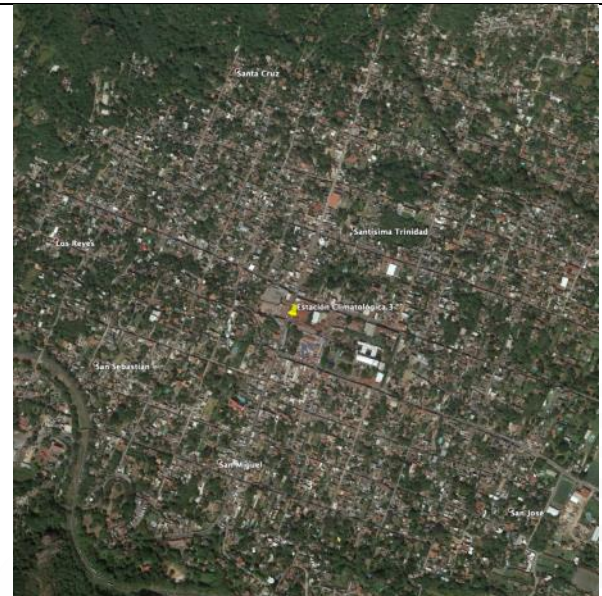


Vista aérea



Edificio para instalar Estación de Lluvia 3

Ilustración 6.4 Estación de Lluvia 3



Vista aérea

En función de las características de los sensores seleccionados, se adecuara el sitio para la correcta instalación de los dispositivos, para lo cual deberá considerarse un soporte metálico ajustable. Dependiendo las condiciones propias del sitio se definirá la configuración más adecuada.

Adicionalmente deberá instalarse los sistemas eléctricos y de comunicación necesarios para la operación, de acuerdo con las características específicas de los sensores.

La estación meteorológica permite medir la velocidad y dirección del viento y la cantidad de lluvia. Cuenta con tres (3) sensores: pluviómetro, anemómetro y veleta de viento. Cada sensor tiene un conector RJ-11. El pluviómetro, es un sensor de colector basculante de vaciado automático con una capacidad mínima de 0.011" (0.2794 mm) de lámina de lluvia. El anemómetro es de copas e imán cerrado. La veleta es de paleta con ocho interruptores, cada uno con su propia resistencia única.

6.2. Estaciones de medición de lluvia

6.2.1. Arreglo físico

El arreglo general consiste en tres sensores de lluvia y viento conectados a una placa de programación, la cual está alimentada desde una batería recargable y un panel solar de 9 W (Ilustración 6.5).

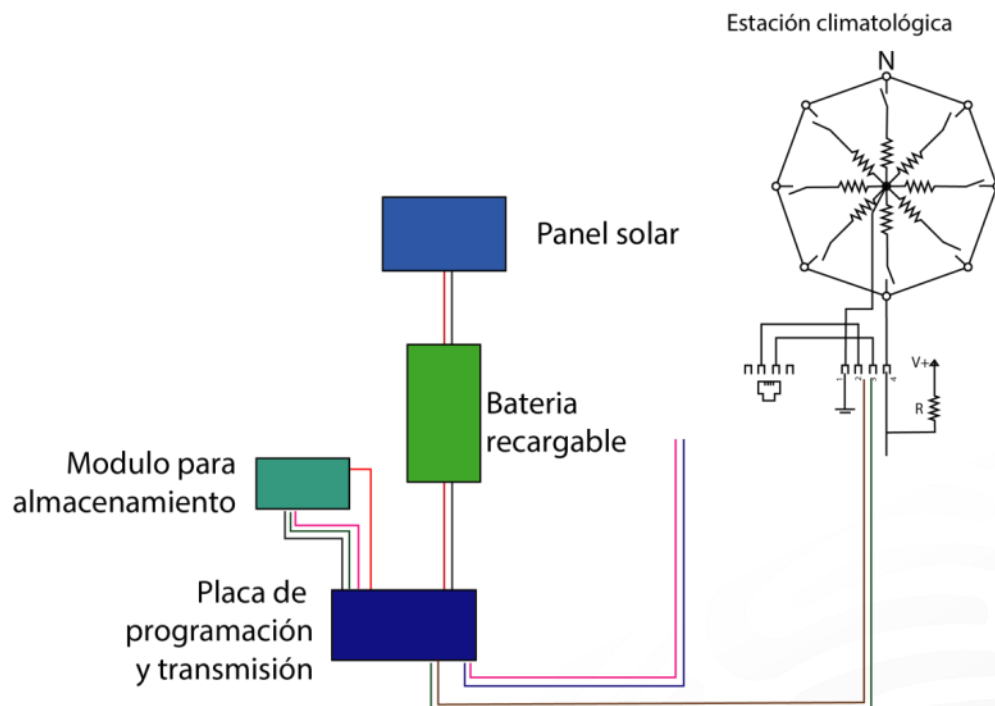


Ilustración 6.5 Esquema general de la estación climatológica

6.2.2. Programado de las estaciones

Se desarrolla un algoritmo que permite la lectura de pulsos generados por los tres sensores, estos pulsos, con base en parámetros constantes característicos de cada sensor se convertirán a volumen de lluvia, en milímetros/m³, velocidad de viento en km/h y dirección del viento; y dependiendo del comportamiento de cada parámetro, estos serán enviados por señal GPRS o wifi a una estación de monitoreo.

6.2.2.1. Pluviómetro

El sensor es un colector basculante de vaciado automático que cae en el sensor, el cucharón se inclinará, tirará el agua y cerrará un contacto momentáneo. El cierre del interruptor momentáneo se puede medir utilizando pines de interrupción o un contador digital. Los conductores centrales del conector RJ-11 están conectados al interruptor del medidor.

Entonces para el pluviómetro genera un pulso por cada caída del balancín y cada pulso equivale a 0.2794 mm/m³ de lluvia. Para conocer el volumen acumulado en un lapso de tiempo t se tiene:

$$V_{ll} = \frac{N_p(0.2794)}{t}$$

Donde:

V_{ll} = Volumen de lluvia acumulado en el tiempo t , en mm/m³

N_p = Número de pulsos generados en el tiempo t

Así mismo se generaran dos alertas, una preventiva y otra de emergencia, las cuales serán utilizadas para generar avisos del comportamiento de la lluvia. Estas alertas se generarán a través de condicionantes en el algoritmo de la siguiente manera:

Si:

$$V_{ll} < 0$$

entonces

$$LLuvia = 0$$

Si:

$$Lim1 > V_{ll} > 0$$

entonces

$$LLuvia = 1$$

Si:

$$Lim2 > V_{ll} \geq Lim1$$

entonces

$$Est = 2$$

Si:

$$V_{ll} > Lim2$$

entonces

$$LLuvia = 3$$

Donde:

V_{ll} = Volumen de lluvia acumulado en el tiempo t , en mm/m³

$Lim1$ = Intensidad de lluvia límite para una lluvia normal, en mm/m³

$Lim2$ = Intensidad de lluvia límite para una lluvia fuerte, en mm/m³

$Lim3$ = Intensidad de lluvia límite para una lluvia intensa atípica, en mm/m³

$LLuvia$ = Variable que indica el estado del cauce, 0 para condición sin lluvia, 1, para ocurrencia de lluvia normal, 2 para lluvia fuerte y 3 para lluvia intensa atípica



Con estos valores el sistema deberá enviar, vía GPRS los datos registrados en una línea compuesta del volumen de lluvia (V_l) y el estado ($LLuvia$) de una forma selectiva, es decir, dependiendo del comportamiento de la precipitación, será la periodicidad con la que se envíen los valores, de acuerdo con lo siguiente:

Si	$LLuvia = 0$	Entonces	Envía datos cada 24 horas
Si	$LLuvia = 1$	Entonces	Envía datos cada 10 minutos
Si	$LLuvia = 2$	Entonces	Envía datos cada 10 minutos
Si	$LLuvia = 3$	Entonces	Envía datos cada 10 minutos

6.2.2.2. Anemómetro

El viento mueve las copas en el anemómetro, que a su vez, hace girar un imán cerrado. El imán cierra un interruptor de lámina en cada rotación, que se refleja en la salida, la cual se mide a través del conector RJ-11 (pines 2 y 3). Para convertir esto en una velocidad de viento funcional, la conversión es de $2.4 \text{ km/h} = 1 \text{ cierre de interruptor/segundo}$. Entonces se tiene:

$$V_v = 2.4N_c$$

Donde:

V_v = Velocidad de viento, en km/h

N_c = Número de pulsos generados en un segundo

6.2.2.3. Veleta de viento

Internamente en la paleta hay ocho interruptores, cada uno con su propia resistencia única. A medida que la veleta gira, un imán cierra los interruptores de láminas y puede cerrar dos a la vez debido a su proximidad entre sí. Con el uso de una resistencia externa, se puede crear un divisor de voltaje. La medición de la salida de voltaje con un convertidor analógico a digital se determina la dirección hacia la que apunta la veleta.

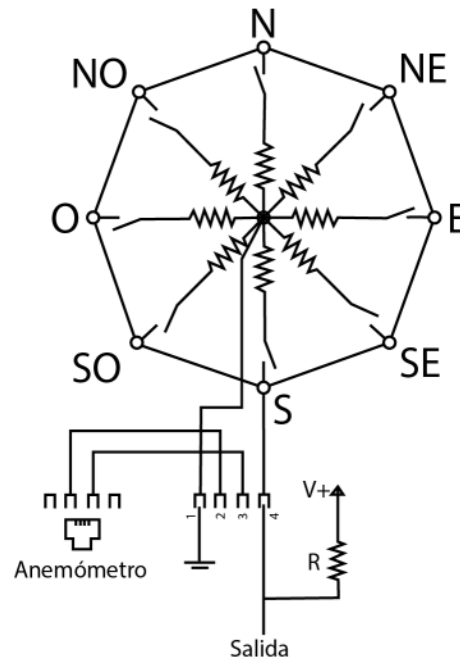


Ilustración 6.6 Los ocho interruptores y sus respectivas resistencias en la veleta

La salida de voltaje dependerá del valor de la resistencia externa utilizada, no hay una función de conversión común, pero considerando una alimentación de 5 V y una resistencia de 10 k Ω , la Tabla 6.1 presenta valores de resistencia generados para cada dirección y el voltaje de salida. Dado que los valores emitidos por la veleta están basados en grados, en teoría, cualquier valor puede representar cualquier dirección. Sin embargo, se recomienda que el valor en grado 0 represente el Norte para facilitar su uso. También hay indicadores de dirección muy pequeños, apenas visibles en los cuatro lados de la veleta. La veleta "apunta" en la dirección en que sopla el viento.

Tabla 6.1 Resistencia y voltaje esperado por la veleta con alimentación de 5V y una resistencia de 10K Ω

Dirección		Resistencia	Voltaje
grados	Dirección	K Ω	V=5v, R=10k Ω
0	N	33	3.84
22.5	NE	6.57	1.98
45	NE	8.2	2.25
67.5	NE	0.891	0.41
90	E	1	0.45
112.5	SE	0.688	0.32
135	SE	2.2	0.9
157.5	SE	1.41	0.62
180	S	3.9	1.4
202.5	SO	3.14	1.19
225	SO	16	3.08



Dirección		Resistencia	Voltaje
grados	Dirección	K Ω	V=5v, R=10k Ω
247.5	SO	14.12	2.93
270	O	120	4.62
292.5	NO	42.12	4.04
315	NO	64.9	4.33
337.5	NO	21.88	3.43

6.2.2.4. Datos para envío

La línea que será enviada en cada caso se compondrá de cinco datos separados por una coma, de la siguiente manera:

V_{II}	$LLuvia$	V_V	$grados$	$Direccion$
4.35	, 0	, 30	, 67.5	, NE
4.45	, 1	, 45	, 90	, E
5.2	, 1	, 45	, 112.5	, SE
5.7	, 2	, 50	, 135	, SE
6.3	, 3	, 60	, 157.5	, SE

De forma paralela en el dispositivo de almacenamiento portátil, la línea será guardada en un archivo de texto, junto con el día y la hora.

6.2.3. Construcción del sistema

Una vez definido el arreglo del sistema y conociendo los sitios de instalación, se diseñó el soporte tomando en consideración la seguridad e integridad del sistema, así como la condición de altura mínima para medición de viento, tal como se presenta en la Ilustración 6.8. A partir de este diseño se construyó en acero por medio de perfiles estructurales, lo cual garantiza su protección y durabilidad. Por su parte los circuitos se alojaron dentro de un gabinete de protección tipo NEMA con grado de protección IP66, tal como se muestra en la Ilustración 6.7.



Ilustración 6.7 Proceso constructivo de las estaciones de medición de lluvia



Ilustración 6.8 Plano del sistema de monitoreo de lluvia



7. Desarrollo aplicación móvil FloodAlert

Una vez ubicados los sitios representativos del comportamiento del cauce, se diseñarán los arreglos para la comunicación de los datos del sitio al centro de monitoreo y control. Por lo cual se deben ubicar los puntos cercanos a registros eléctricos o postes de alumbrado, esto para facilitar el suministro de energía eléctrica. De no existir se deberá considerar la tecnología para la autosuficiencia energética de los arreglos.

Se construirán los arreglos para la medición y comunicación.

Se desarrollara un algoritmo que permita la captura y transmisión de datos desde los puntos vía inalámbrica para ser monitoreados de forma automática.

Se desarrollara tecnología para sensores de medidores de nivel con señal de salida serial, basada en una placa electrónica Raspberry Pi (o similar) y en una plataforma de manejo de datos en la nube, preferentemente gratuita.

Se deberá poner en marcha cada uno de los sistemas instalados verificando el funcionamiento óptimo de su instrumentación y proceso.

Para el éxito de este apartado, se considera realizar tres comisiones menores a 24 horas pero de horario de trabajo completo, por parte de tres tecnólogos. Además de realizar el curso de Curso Especializado de programación en PYTHON para la medición de niveles y transmisión de datos para tres tecnólogos en cuatro comisiones menores a 24 horas.

7.1. Establecimiento de la estación de control y monitoreo

7.1.1. Introducción

Con el surgimiento de los teléfonos inteligentes, también conocidos como Smartphones, se ampliaron las capacidades básicas de los primeros celulares, hacer llamadas o mandar mensajes, permitiendo ejecutar tareas que solo se realizaban en computadoras, como envío de correo electrónico, navegación por Internet, edición de fotografías, entre otras capacidades. Por su parte, las aplicaciones móviles, también llamadas apps, surgieron en los años 90 con funciones muy elementales y su diseño era bastante simple. La evolución de las apps se dio rápidamente gracias al surgimiento de la tecnología GAP (por sus siglas en inglés, Generic Access Profile) y la transmisión de datos EDGE (por sus siglas en inglés, Enhanced Data Rates for GSM Evolution), que en conjunto con el surgimiento y rápida evolución de los Smartphones permitieron que hoy en día se disponga de apps de todo tipo.

Como parte de los entregables de este proyecto, se desarrolló una aplicación móvil para Smartphone que permite conocer el nivel de agua en el cauce y la lluvia en tiempo real en los seis sitios de observación, tres de nivel y tres de lluvia. Así como alertas preventivas ante la ocurrencia de niveles cercanos al desbordamiento y avisos de desbordamientos. Esta app fue denominada FloodAlert (alerta de inundación).

7.1.2. Esquema de operación de la App FloodAlert

La App FloodAlert requiere para su funcionamiento de seis componentes principales: 1) App FloodAlert; 2) Internet; 3) Servidor físico (galileo.imta.mx); 4) Servicios Web; 5) Base de datos; y 6) Estaciones de observación de lluvia y de nivel (Ilustración 7.1).

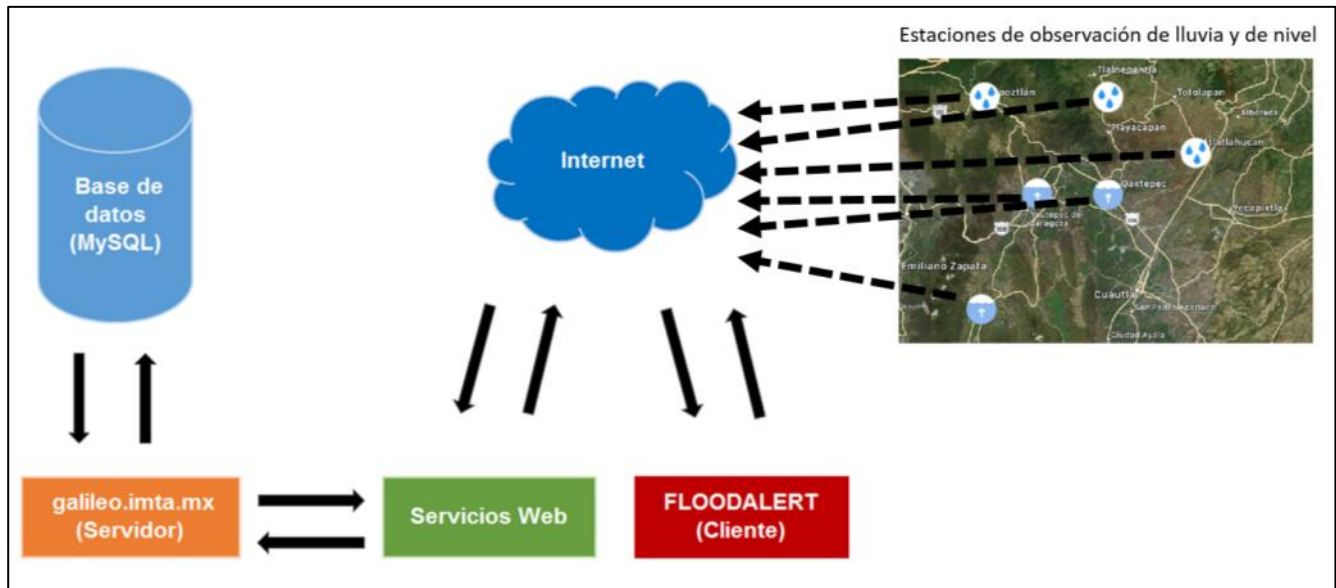


Ilustración 7.1 Esquema de operación de la App FLOODALERT

7.1.3. Enfoque de desarrollo de la App

Para el desarrollo de Apps existen tres estrategias de desarrollo: nativa, Web o híbrida. Cada uno de estos enfoques tiene sus propios beneficios y limitaciones asociadas.

Las aplicaciones nativas tienen archivos ejecutables binarios que se descargan directamente al dispositivo y se almacenan localmente. Una vez que la aplicación ha sido instalada en el dispositivo, el usuario la ejecuta como cualquier otro servicio del dispositivo. Tras la inicialización, la aplicación nativa se conecta directamente con el Sistema Operativo (SO) del dispositivo móvil, sin ningún intermediario ni contenedor. La aplicación nativa puede acceder libremente a todas las APIs que el proveedor del SO ponga a disposición y, en muchos casos, tiene características y funciones únicas que son típicas de ese SO móvil en particular.

Los dispositivos móviles modernos cuentan con poderosos navegadores que dan soporte a muchas funcionalidades nuevas de HTML5, Cascading Style Sheets 3 (CSS3) y JavaScript de avanzada. Una de las principales ventajas de una aplicación Web es su soporte para múltiples plataformas. Pese al potencial y la promesa de las tecnologías Web en el espacio móvil, estas aún conllevan importantes limitaciones. Para comprender estas limitaciones es necesario explicar cómo funcionan las aplicaciones Web. A diferencia de las aplicaciones nativas, que son ejecutables independientes que se conectan directamente con el sistema



operativo, las aplicaciones Web requieren ser ejecutadas dentro de un navegador Web, este último interviene como contenedor de la app.

El enfoque híbrido combina desarrollo nativo con tecnología Web. Usando este enfoque, los desarrolladores escriben gran parte de su aplicación en tecnologías Web para múltiples plataformas, y mantienen el acceso directo a APIs nativas cuando lo necesitan. La porción nativa de la aplicación emplea APIs de sistemas operativos para crear un motor de búsqueda HTML incorporado que funcione como un puente entre el navegador y las APIs del dispositivo. Este puente permite que la aplicación híbrida aproveche todas las características que ofrecen los dispositivos modernos. La porción nativa de la aplicación se puede desarrollar independientemente, pero algunas soluciones del mercado ofrecen este tipo de contenedor nativo como parte de su producto, lo que brinda al desarrollador formas de crear una aplicación avanzada que utilice todas las funciones del dispositivo usando únicamente lenguajes Web (IBM, 2012).

La App FLOODALERT se desarrolló bajo el enfoque nativo para las dos plataformas líderes del mercado, iOS y Android, trabajando de esta manera en dos proyectos independientes, pero que hacen uso de la misma base de datos y servicios Web, manteniendo su completa funcionalidad, aunque con algunas variaciones en el aspecto visual asociadas a las diferencias de los entornos de desarrollo y elementos propios de los lenguajes de programación seleccionados en cada plataforma.

7.1.4. Desarrollo para la plataforma Android

El lenguaje de programación para el desarrollo nativo para la plataforma Android es Java¹, aunque recientemente fue incorporado Kotlin² como una alternativa que está en plena aceptación y crecimiento. El entorno de desarrollo integral para la plataforma es Android Studio³. Para el desarrollo de FLOODALERT se utilizó Java en su versión 10.0.1 y Android Studio en su versión 3.5.2. En la Ilustración 7.2 se presenta la vista general del IDE Android Studio.

¹ Java es un lenguaje de programación y una plataforma informática comercializada por primera vez en 1995 por Sun Microsystems

² Kotlin es un lenguaje de programación de tipado estático que corre sobre la máquina virtual de Java y que también puede ser compilado a código fuente de JavaScript.

³ Android Studio es el entorno de desarrollo integrado oficial para la plataforma Android. La primera versión estable fue publicada en diciembre de 2014 con lo cual se sustituyó a Eclipse como el IDE oficial.

El desarrollo de la aplicación además de incorporar las mejoras que tiene Java como un lenguaje robusto, la implementación de la biblioteca AndroidX⁴ de Jetpack, que sustituye todas las mejoras de compatibilidad que Android tenía dentro de su paquete original, esta biblioteca proporciona compatibilidad con las versiones anteriores de Android a la API nivel 28.

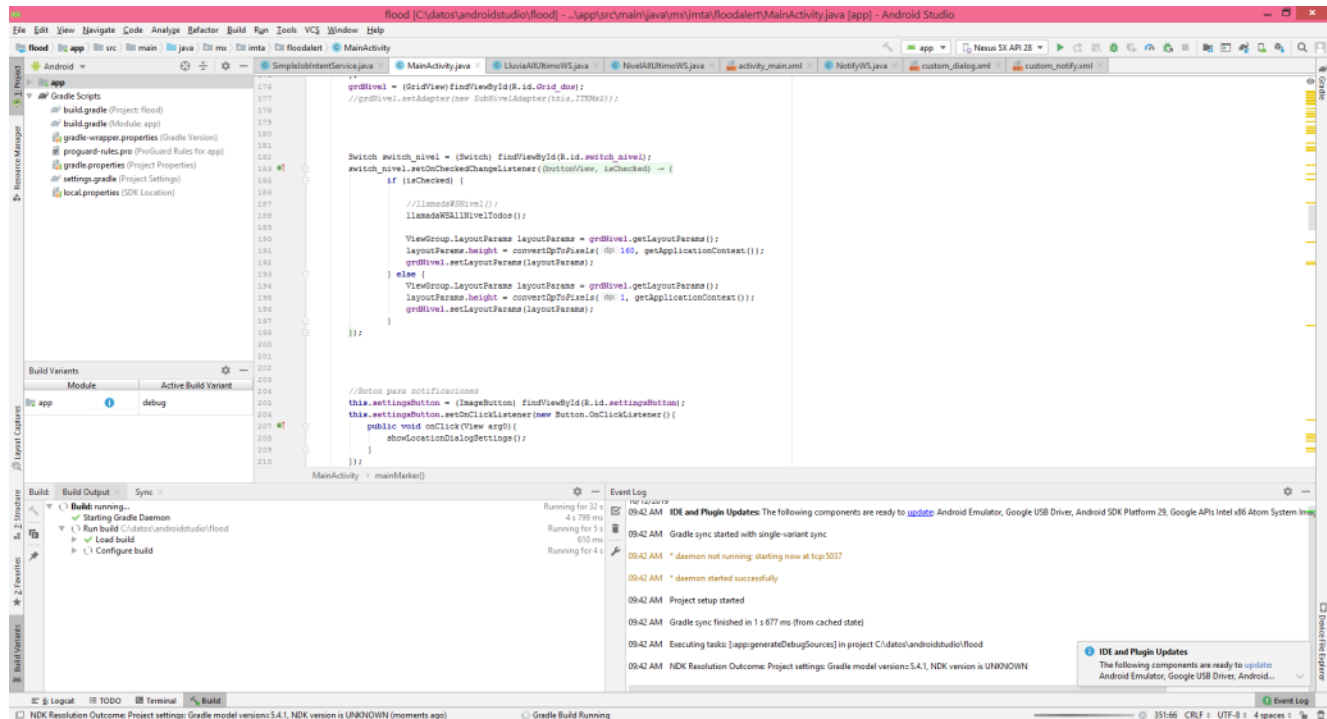


Ilustración 7.2 Vista general del IDE Android Studio

En las Ilustración 7.3 se presentan las vistas de la App FLOODALERT para la plataforma Android. En el Anexo 1 se incluye el código fuente de la clase principal “MainActivity.java”. El proyecto completo del desarrollo para Android se incluye en un CD como se describe en el Anexo 1.

⁴ AndroidX biblioteca de compatibilidad utilizada para desarrollar, probar, empaquetar y crear versiones de las bibliotecas de Jetpack (Developers Google, 2019).

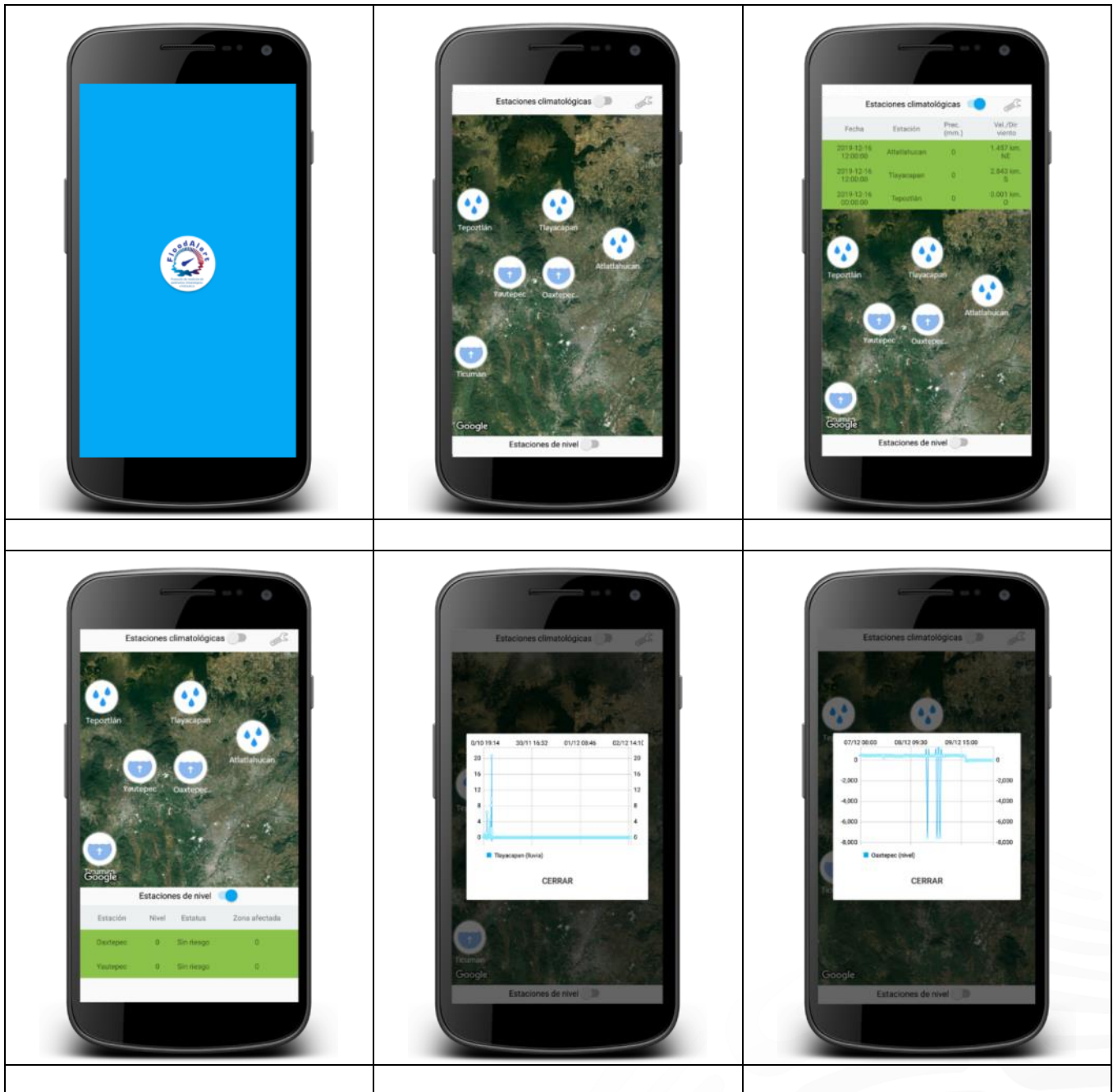


Ilustración 7.3 Vistas de la App FLODALERT para la plataforma Android

7.1.5. Desarrollo para la plataforma IOS

Para el desarrollo nativo en la plataforma iOS se puede utilizar Objective-C⁵ y SWIFT⁶. Este último es un lenguaje moderno, potente y con mayor legibilidad para los desarrolladores. El entorno de desarrollo integral para esta plataforma es XCODE⁷. Para el desarrollo de FLOODALERT se utilizó SWIFT en su versión 5.1.2 y XCODE en su versión 11.2.1. En la Ilustración 7.4 se presenta la vista general del IDE XCODE.

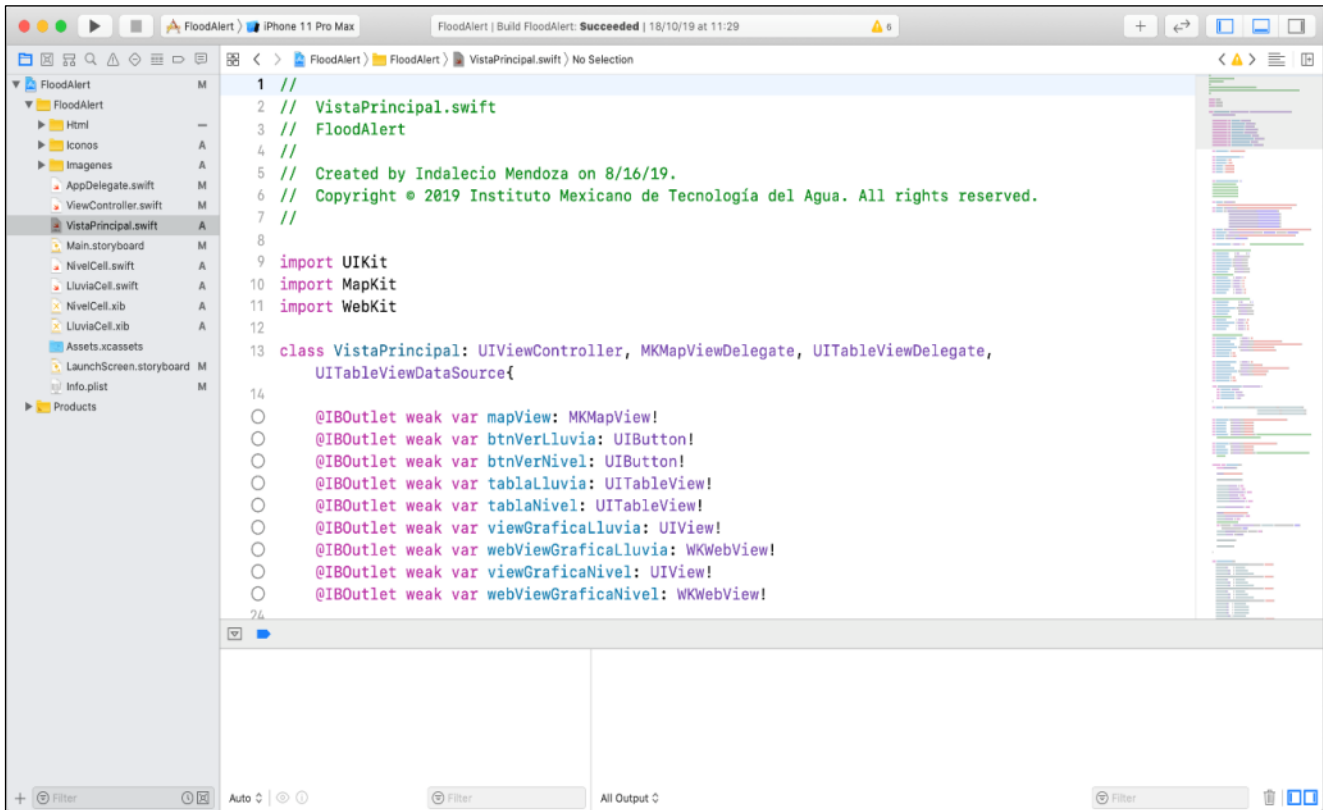


Ilustración 7.4 Vista general del IDE XCODE

En las Ilustración 7.5 se presentan las vistas de la App FLOODALERT para la plataforma IOS. En el Anexo 1 se incluye el código fuente de la clase principal “VistaPrincipal”. En proyecto completo del desarrollo para IOS se incluye en un CD como se describe en el Anexo 1.

⁵ Objective-C es un lenguaje de programación orientado a objetos creado como un superconjunto de C para que implementase un modelo de objetos parecido al de Smalltalk. Originalmente fue creado por Brad Cox y la corporación StepStone en 1980.

⁶ Swift es un lenguaje de programación multiparadigma creado por Apple enfocado en el desarrollo de aplicaciones para iOS y macOS. Fue presentado en WWDC 2014 y está diseñado para integrarse con los Frameworks Cocoa y Cocoa Touch, puede usar cualquier biblioteca programada en Objective-C y llamar a funciones de C.

⁷ Xcode es un entorno de desarrollo integrado para macOS que contiene un conjunto de herramientas creadas por Apple destinadas al desarrollo de software para macOS, iOS, watchOS y tvOS.

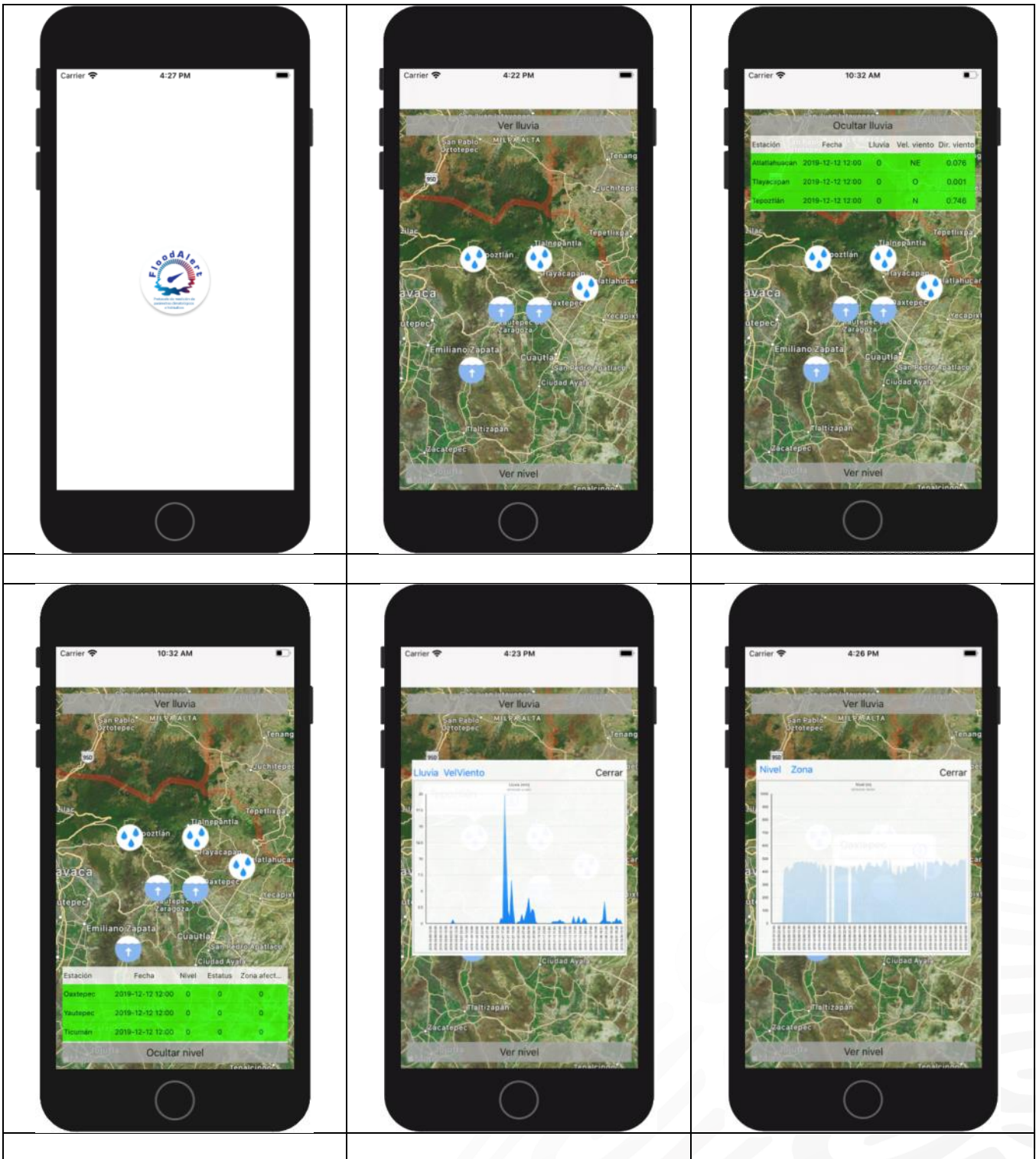


Ilustración 7.5 Vistas de la App FLODALERT para la plataforma Android

7.1.6. Servidor y cuenta de usuario

Para almacenar los datos de lluvia y de nivel, así como alojar el conjunto de programas que proveen los servicios Web para insertar y consultar los datos, se requiere contar con un servidor Web que cuente con un nombre de dominio público y accesible desde Internet. Este servidor almacenara los datos de las estaciones de observación y proveerá a los usuarios de de FLOODALERT los datos solicitados. Para este proyecto se proporcionó acceso al servidor galileo.imta.mx que cuenta con sistema operativo Linux Centos⁸ 7.0, servidor Web Apache⁹ 2.4.6, manejador de bases de datos MySQL¹⁰ 5.7.20 y PHP¹¹ 5.6.36. Se creó por parte del administrador del servidor una cuenta de usuario específica para la creación de los servicios Web denominado “ufa”. Definiendo como directorio de trabajo /home/ufa y como directorio para alojar los servicios Web /var/www/html/FLOODALERT/ws (Ilustración 7.6). Por seguridad la contraseña de acceso se proporcionó de forma personal.

```
# useradd ufa -d /home/ufa
# mkdir -p /var/www/html/FLOODALERT/ws
# chown -R ufa:ufa /var/www/html/FLOODALERT
# passwd ufa
Cambiando la contraseña del usuario ufa
(actual) contraseña de LINUX: *****
Nueva contraseña: *****
```

Ilustración 7.6 Comandos de creación de la cuenta ufa y directorio de trabajo

7.1.6.1. Creación de la base de datos y tablas

Para alojar los datos en el servidor, fue necesario solicitar al administrador del sistema la creación de la base de datos denominada FLOODALERT en el manejador de bases de datos MySQL. Además, se creó el usuario “usrfa” con todos los privilegios para administrar la base de datos (Ilustración 7.7). Por seguridad la contraseña de acceso se proporcionó de forma personal.

```
Mysql> CREATE DATABASE FLOODALERT
```

⁸ CentOS (Community ENTerprise Operating System). (García-Mediavilla et al. 2015) Es una distribución del sistema operativo Linux de código libre y abierto mantenida por la comunidad y derivada de los paquetes fuentes liberados al público por la empresa Red Hat en su distribución “Red Hat Enterprise Linux” (RHEL).

⁹ Apache es un servidor Web (HTTP) de software libre desarrollado por la Apache Software Foundation (Gómez-Montoya *et al.*, 2013).

¹⁰ MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional, fue creada por la empresa MySQL AB, es de código abierto, el principal objetivo de este software es la velocidad y robustez, soporta gran cantidad de tipos de datos para las columnas gran portabilidad entre sistemas, se puede trabajar en distintas plataformas y sistemas operativos (Oracle, 2014).

¹¹ PHP es un lenguaje de programación interpretado de propósito general ampliamente usado, diseñado especialmente para el desarrollo web y que puede ser incrustado dentro de código HTML (Pascagaza-Gutierrez, 2018; Vázquez-Mariño, 2018).

```

Mysql> use FLOODALERT;
Mysql> CREATE USER 'usrfa'@'localhost' IDENTIFIED BY '*****';
Mysql> CREATE USER 'usrfa'@'galileo.imta.mx' IDENTIFIED BY '*****';
Mysql> GRANT ALL PRIVILEGES ON FLOODALERT.* TO 'usrfa'@'localhost';
Mysql> GRANT ALL PRIVILEGES ON FLOODALERT.* TO 'usrfa'@'galileo.imta.mx';
Mysql> FLUSH PRIVILEGES;
    
```

Ilustración 7.7 Código fuente para crear una base de datos denominada FLOODALERT

7.1.6.2. Estructura de tablas en la base de datos y modelo Entidad-Relación

Se definieron tres tablas para almacenar los datos, tbl_Estacion para almacenar los datos que identifican las estaciones de medición (Tabla 7.1), tbl_Lluvia para almacenar los registros de las estaciones de lluvia (Tabla 7.2) y tbl_Nivel para almacenar los registros de las estaciones de nivel (Tabla 7.3).

Tabla 7.1 Estructura de la tabla tbl_Estacion

Nombre del campo	Tipo de dato	Llave primaria
id	int(4)	*
clave	character(6)	
nombre	character(30)	
tipo	character(6)	
lat	float	
lon	float	

Tabla 7.2 Estructura de la tabla tbl_Lluvia

Nombre del campo	Tipo de dato	Llave primaria
id	int(4)	*
fecha	datetime	
clave	character(6)	
lluvia	float	
velViento	float	
driViento	character(2)	
graViento	float	
estatus	int	

Tabla 7.3 Estructura de la tabla tbl_Nivel

Nombre del campo	Tipo de dato	Llave primaria
id	int(4)	*
fecha	datetime	
clave	character (6)	
nivel	float	
zona	float	
estatus	int	

El modelo Entidad-Relación permite representar cualquier abstracción, percepción y conocimiento en un sistema de información formado por un conjunto de objetos denominados entidades y relaciones, incorporando una representación visual conocida como diagrama Entidad-Relación. En la Ilustración 7.8 se presenta el diagrama Entidad-Relación de la base de datos FLOODALERT.

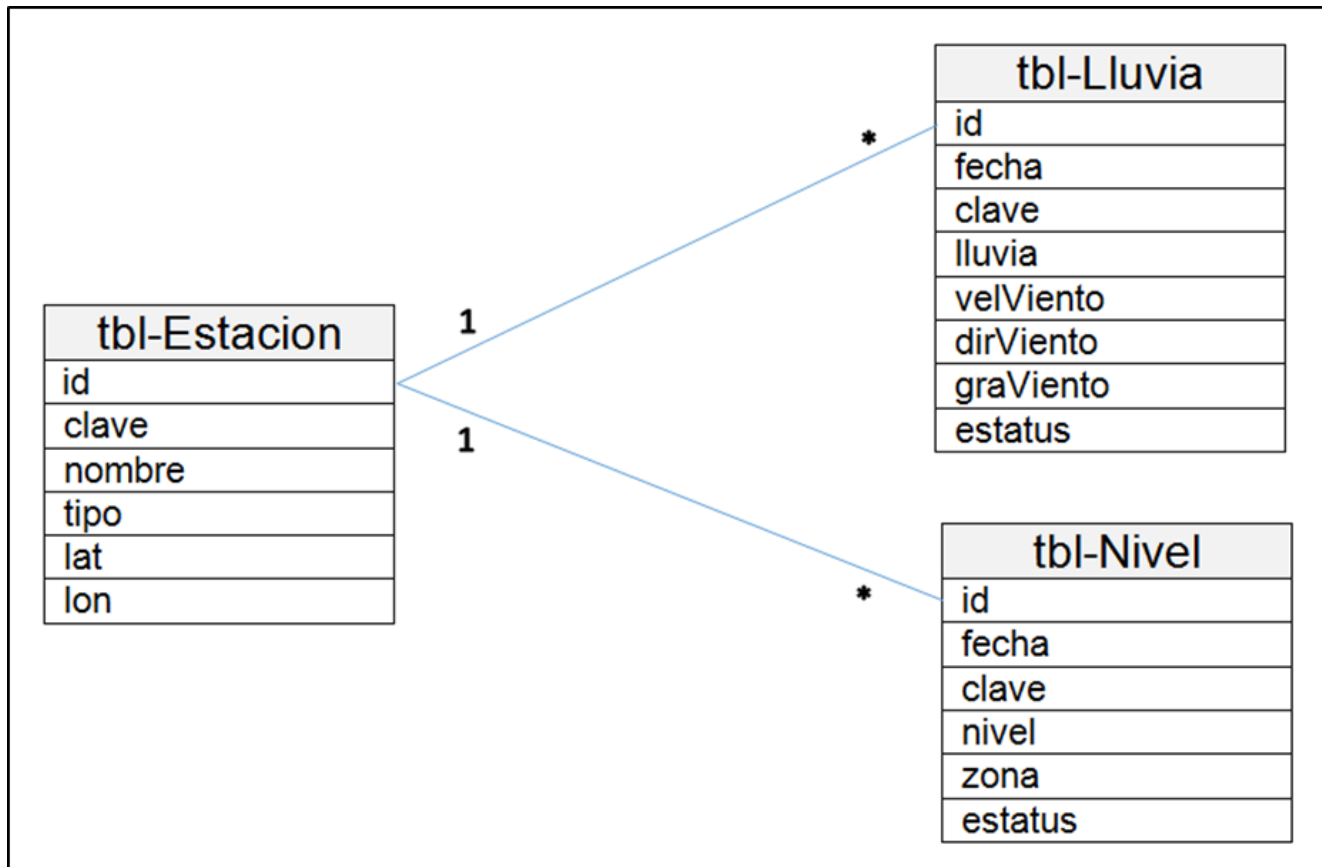


Ilustración 7.8 Diagrama Entidad-Relativa de la base de datos FLOODALERT

La Relación de 1 a * (varios), define que un registro dado de una tabla auxiliar o secundaria (tbl-Lluvia o tbl-Nivel) solo puede estar vinculado con un único registro de la tabla principal (tbl-Estacion) con la que está relacionada (Blázquez-Ochando, 2014).

7.1.6.3. Creación de tablas

Las tablas tbl_Estacion, tbl_Lluvia y tbl_Nivel se crearon de forma manual desde la consola de MySQL como se muestra de la Ilustración 7.9 a la Ilustración 7.11.

```

Mysql> CREATE TABLE IF NOT EXISTS `tbl_Estacion` (
  `id` int(4) NOT NULL auto_increment,
  `clave` character(6) default NULL,
  `nombre` character(30) default NULL,
  `tipo` character(6) default NULL,

```

```

`lat`      float default NULL,
`lon`      float default NULL,
PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE = MyISAM;

```

Ilustración 7.9 Creación de la tabla tbl_Estacion desde la consola de MySQL

```

Mysql> CREATE TABLE IF NOT EXISTS `tbl_Lluvia` (
  `id` int(4) NOT NULL auto_increment,
  `fecha` datetime default NULL,
  `clave` character(6) default NULL,
  `lluvia` float default NULL,
  `velViento` float default NULL,
  `dirViento` character(2) default NULL,
  `graViento` float default NULL,
  `estatus` int default NULL,
  PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE = MyISAM;

```

Ilustración 7.10 Creación de la tabla tbl_Lluvia desde la consola de MySQL

```

Mysql> CREATE TABLE IF NOT EXISTS `tbl_Nivel` (
  `id` int(4) NOT NULL auto_increment,
  `fecha` datetime default NULL,
  `clave` character(6) default NULL,
  `nivel` float default NULL,
  `zona` float default NULL,
  `estatus` int default NULL,
  PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE = MyISAM;

```

Ilustración 7.11 Creación de la tabla tbl_Nivel desde la consola de MySQL

7.1.6.4. Alta de estaciones de medición en la base de datos

Las seis estaciones de monitoreo, de lluvia y nivel, se dieron de alta en la base de datos de forma manual desde la consola de MySQL como se muestra en el Ilustración 7.12.

```

Mysql> INSERT INTO tbl_Estacion(clave,nombre,tipo,lat,lon) VALUES ('NIV001','
Oaxtepec','Nivel', 18.898718,-98.982984);
Mysql> INSERT INTO tbl_Estacion(clave,nombre,tipo,lat,lon) VALUES
('NIV002','Yautepec','Nivel', 18.899751,-99.050867);
Mysql> INSERT INTO tbl_Estacion(clave,nombre,tipo,lat,lon) VALUES
('NIV003','Ticuman','Nivel', 18.795134,-99.104528);
Mysql> INSERT INTO tbl_Estacion(clave,nombre,tipo,lat,lon) VALUES
('LLU001','Atlatlahuacan','Lluvia', 18.936288,-98.899259);
Mysql> INSERT INTO tbl_Estacion(clave,nombre,tipo,lat,lon) VALUES
('LLU002','Tlayacapan','Lluvia', 18.986614,-98.983006);
Mysql> INSERT INTO tbl_Estacion(clave,nombre,tipo,lat,lon) VALUES

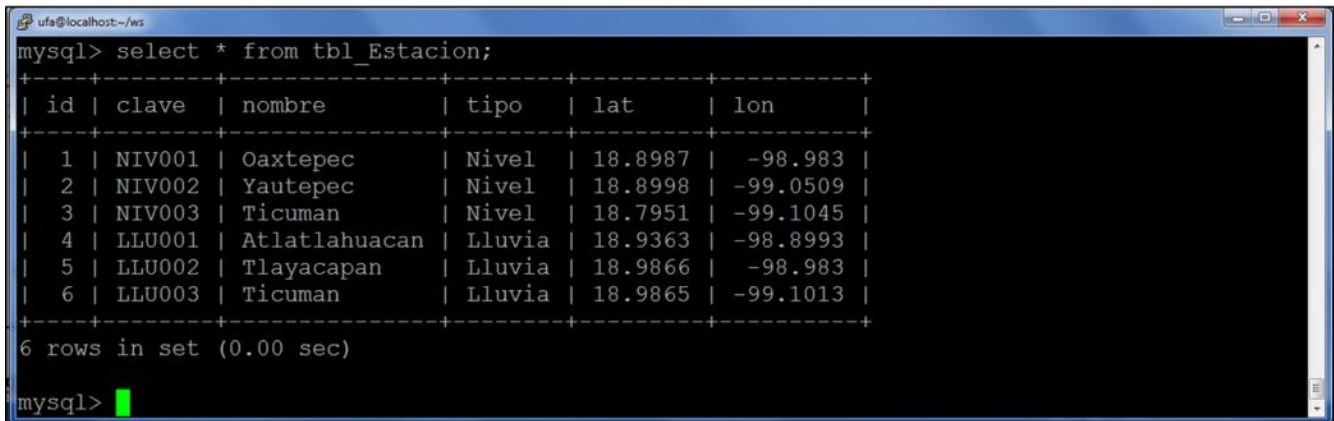
```



```
('LLU003','Ticuman','Lluvia', 18.986492,-99.101331);
```

Ilustración 7.12 Alta de estaciones en la tabla tbl_Estacion desde la consola de MySQL

Se verificó que los registros fueran dados de alta en la base de datos desde la consola de MySQL como se muestra en la Ilustración 7.13.



```
mysql> select * from tbl_Estacion;
+----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id | clave | nombre      | tipo  | lat   | lon   |
+----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1  | NIV001 | Oaxtepec    | Nivel | 18.8987 | -98.983 |
| 2  | NIV002 | Yautepec    | Nivel | 18.8998 | -99.0509 |
| 3  | NIV003 | Ticuman     | Nivel | 18.7951 | -99.1045 |
| 4  | LLU001 | Atlatlahuacan | Lluvia | 18.9363 | -98.8993 |
| 5  | LLU002 | Tlayacapan  | Lluvia | 18.9866 | -98.983 |
| 6  | LLU003 | Ticuman     | Lluvia | 18.9865 | -99.1013 |
+----+-----+-----+-----+-----+-----+
6 rows in set (0.00 sec)

mysql>
```

Ilustración 7.13 Consulta de la tabla tbl_Estacion

Para verificar la funcionalidad de la base de datos se insertaron desde la consola de MySQL registros de prueba en las tablas tbl_Lluvia y tbl_Nivel (Ilustración 7.14). Posteriormente se comprobó que los registros se almacenaron mediante una consulta como se muestra en la Ilustración 7.15.

```
mysql> INSERT INTO tbl_Lluvia (fecha,clave,lluvia,velViento,
dirViento,graViento,estatus) VALUES ('2019-09-1400:00',
'LLU001',12.41,23.4,
'NE',260.0,2);
mysql> INSERT INTO tbl_Lluvia (fecha,clave,lluvia,velViento,dirViento,
graViento,estatus) VALUES ('2019-09-15 00:00','LLU002',5.20,15.9, 'NO',30.0,1);
mysql> INSERT INTO tbl_Lluvia (fecha,clave,lluvia,velViento,dirViento,
graViento,estatus) VALUES ('2019-09-11 00:00','LLU003',0.0,2.2, 'S',180.0,0);
mysql> INSERT INTO tbl_Nivel (fecha,clave,nivel,zona, estatus) VALUES ('2019-09-11
00:00','NIV001',10.2,60.0, 0);
mysql> INSERT INTO tbl_Nivel (fecha,clave,nivel,zona, estatus) VALUES ('2019-09-12
00:00','NIV002',30.3,150.0, 1);
mysql> INSERT INTO tbl_Nivel (fecha,clave,nivel,zona, estatus) VALUES ('2019-09-13
01:00','NIV003',54.5,250.8, 2);
```

Ilustración 7.14 Inserción de datos de prueba en la base de datos

```

ufa@localhost~
Query OK, 1 row affected (0.00 sec)

mysql> INSERT INTO tbl_Nivel(fecha,clave,nivel,zona, estatus) VALUES ('2019-09-13 00:00','NIV002',30.3,150.0, 1);
Query OK, 1 row affected (0.00 sec)

mysql> INSERT INTO tbl_Nivel(fecha,clave,nivel,zona, estatus) VALUES ('2019-09-13 00:00','NIV003',54.5,250.8, 2);
Query OK, 1 row affected (0.00 sec)

mysql> select * from tbl_Lluvia;
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id | fecha                | clave | lluvia | velViento | dirViento | estatus |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | 2019-09-13 00:00:00 | LLU001 | 12.41 | 23.4 | 260 | 2 |
| 2 | 2019-09-13 00:00:00 | LLU002 | 5.2 | 15.9 | 250 | 1 |
| 3 | 2019-09-13 00:00:00 | LLU003 | 0 | 2.2 | 120 | 0 |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
3 rows in set (0.00 sec)

mysql> select * from tbl_Nivel;
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id | fecha                | clave | nivel | zona | estatus |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | 2019-09-13 00:00:00 | NIV001 | 10.2 | 60 | 0 |
| 2 | 2019-09-13 00:00:00 | NIV002 | 30.3 | 150 | 1 |
| 3 | 2019-09-13 00:00:00 | NIV003 | 54.5 | 250.8 | 2 |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
3 rows in set (0.00 sec)

mysql>

```

Ilustración 7.15 Consulta de registros de prueba en la base de datos

7.1.6.5. Instalación de framework Slim

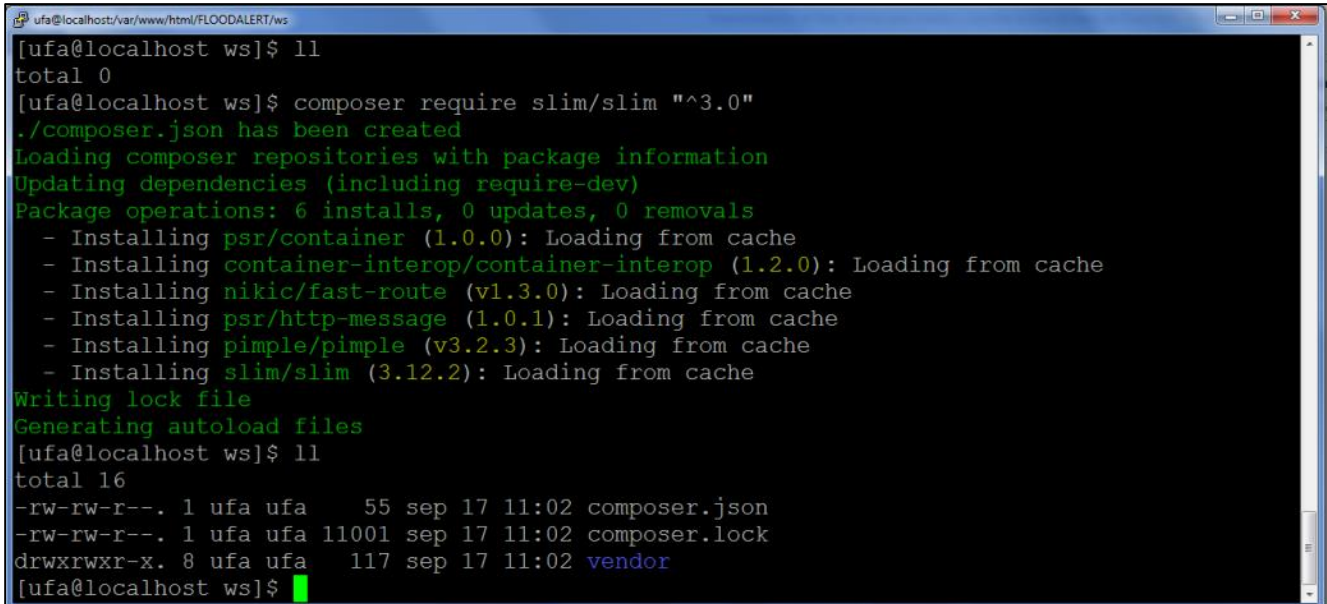
Slim es un framework¹² escrito en lenguaje de programación PHP que permite la implementación de servicios Web, entre otras aplicaciones. Entre sus bondades se encuentra la libre distribución y su facilidad de uso, por este hecho fue seleccionado como herramienta para el desarrollo de los servicios Web requeridos por la aplicación FLOODALERT correspondientes a la inserción y consulta de datos.

Se utilizó Slim en su versión 3.0, para descargar el framework se requirió la ejecución del comando “composer” (Arjunphp, 2017) de PHP, el cual permite gestionar los paquetes de software en los que se basa el proyecto. Los gestores de paquetes ayudan a facilitar y resumir las tareas de descarga y mantenimiento de las diferentes versiones de librerías, y de esta manera estén siempre actualizadas. En la Ilustración 7.16 se presentan los comandos utilizados para la instalación de Slim en el servidor y en la Ilustración 7.17 la captura de pantalla del proceso de instalación.

¹² Un framework es una estructura software compuesta de componentes personalizables e intercambiables para el desarrollo de una aplicación. En otras palabras se puede considerar como una aplicación genérica incompleta y configurable a la que podemos añadirle las últimas piezas para construir una aplicación concreta (Pascagaza-Gutiérrez, 2018).

```
$ cd /var/www/html FLOODALERT/ws  
$ composer require slim/slim "^3.0"
```

Ilustración 7.16 Código fuente para la ejecución del comando composer



```
[ufa@localhost ws]$ ll  
total 0  
[ufa@localhost ws]$ composer require slim/slim "^3.0"  
./composer.json has been created  
Loading composer repositories with package information  
Updating dependencies (including require-dev)  
Package operations: 6 installs, 0 updates, 0 removals  
- Installing psr/container (1.0.0): Loading from cache  
- Installing container-interop/container-interop (1.2.0): Loading from cache  
- Installing nikic/fast-route (v1.3.0): Loading from cache  
- Installing psr/http-message (1.0.1): Loading from cache  
- Installing pimple/pimple (v3.2.3): Loading from cache  
- Installing slim/slim (3.12.2): Loading from cache  
Writing lock file  
Generating autoload files  
[ufa@localhost ws]$ ll  
total 16  
-rw-rw-r--. 1 ufa ufa    55 sep 17 11:02 composer.json  
-rw-rw-r--. 1 ufa ufa 11001 sep 17 11:02 composer.lock  
drwxrwxr-x. 8 ufa ufa   117 sep 17 11:02 vendor  
[ufa@localhost ws]$
```

Ilustración 7.17 Ejecución del comando composer

7.1.7. Diseño de servicios Web

Un servicio Web tiene el propósito de proporcionar una interfaz que permita la interacción entre el consumidor (cliente) y el proveedor de los servicios proporcionados (servidor), mediante un punto o extremo accesible a través de una red. Tanto los usuarios como los proveedores del servidor, utilizan mensajes para intercambiar información, la interacción se basa en el envío de solicitudes y respuestas entre un cliente y un servidor, que incluyen datos. El cliente solicita información, enviando datos al servidor para que procese su solicitud, el servidor genera una respuesta que envía de vuelta al cliente (Vázquez-Mariño, 2008).

La secuencia se inicia con el envío de una petición por parte del cliente Web (FLOODALERT) por medio de un servicio Web alojado en el servidor, el servidor recibe la petición del cliente a través de Internet, consulta de manera interna la base de datos y regresa los datos solicitados por el mismo canal. El cliente debe especificarle al servicio información sobre cada una de las fuentes de datos que se van a utilizar, de esta forma el cliente puede visualizar los datos de entrada.

Para proporcionar la funcionalidad requerida por la aplicación FLOODALERT se diseñaron seis servicios Web, dos para insertar los datos y cuatro para consultas específicas.

7.1.7.1. Diseño del servicio Web para insertar datos de lluvia

El diagrama de flujo de la secuencia de ejecución del servicio Web insertaLluvia se describe en la Ilustración 7.18.

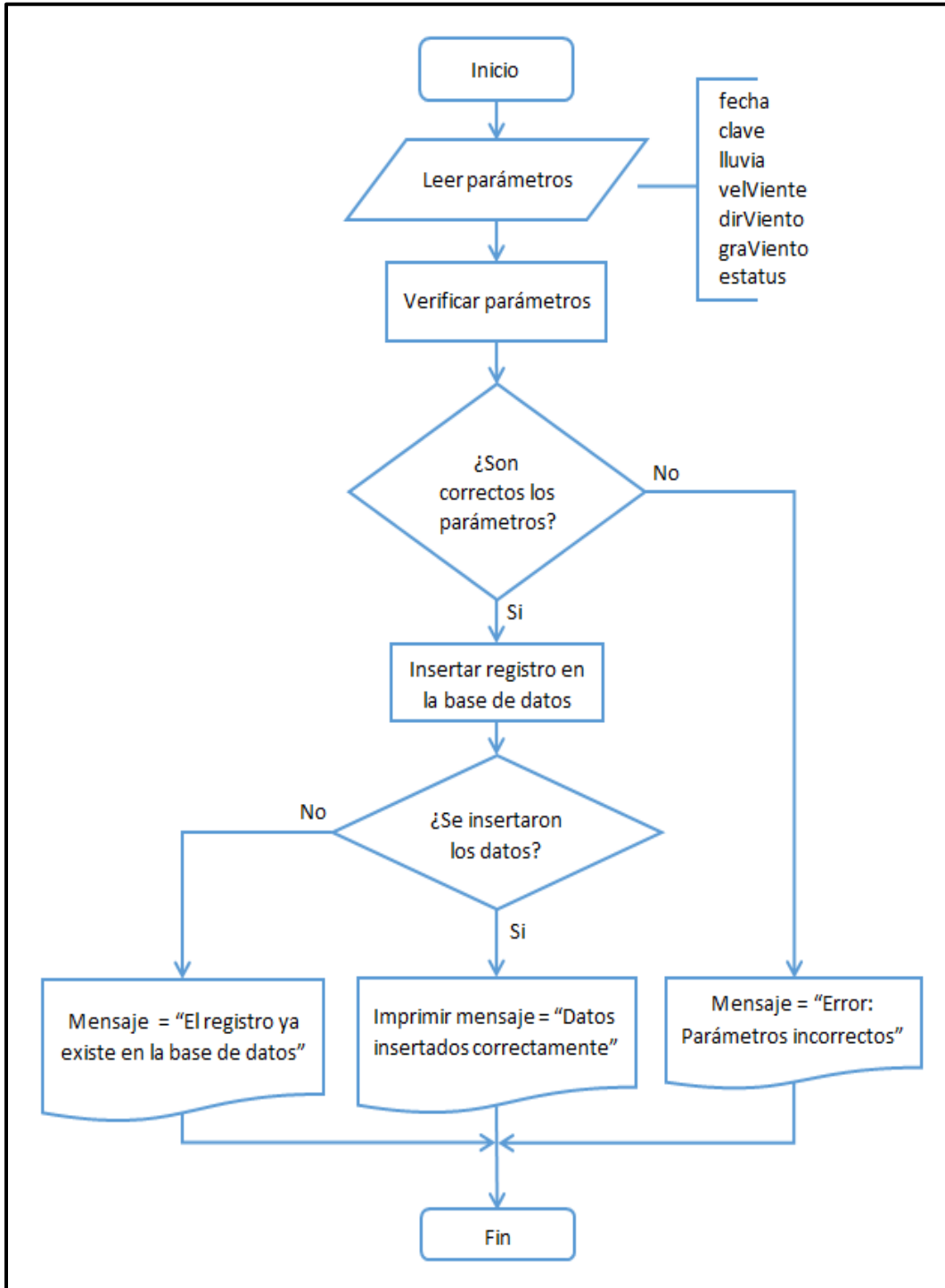


Ilustración 7.18 Diagrama de flujo del servicio Web insertaLluvia

7.1.7.2. Diseño del servicio Web para insertar datos de nivel

El diagrama de flujo de la secuencia de ejecución del servicio Web insertaNivel se describe en la Ilustración 7.19.

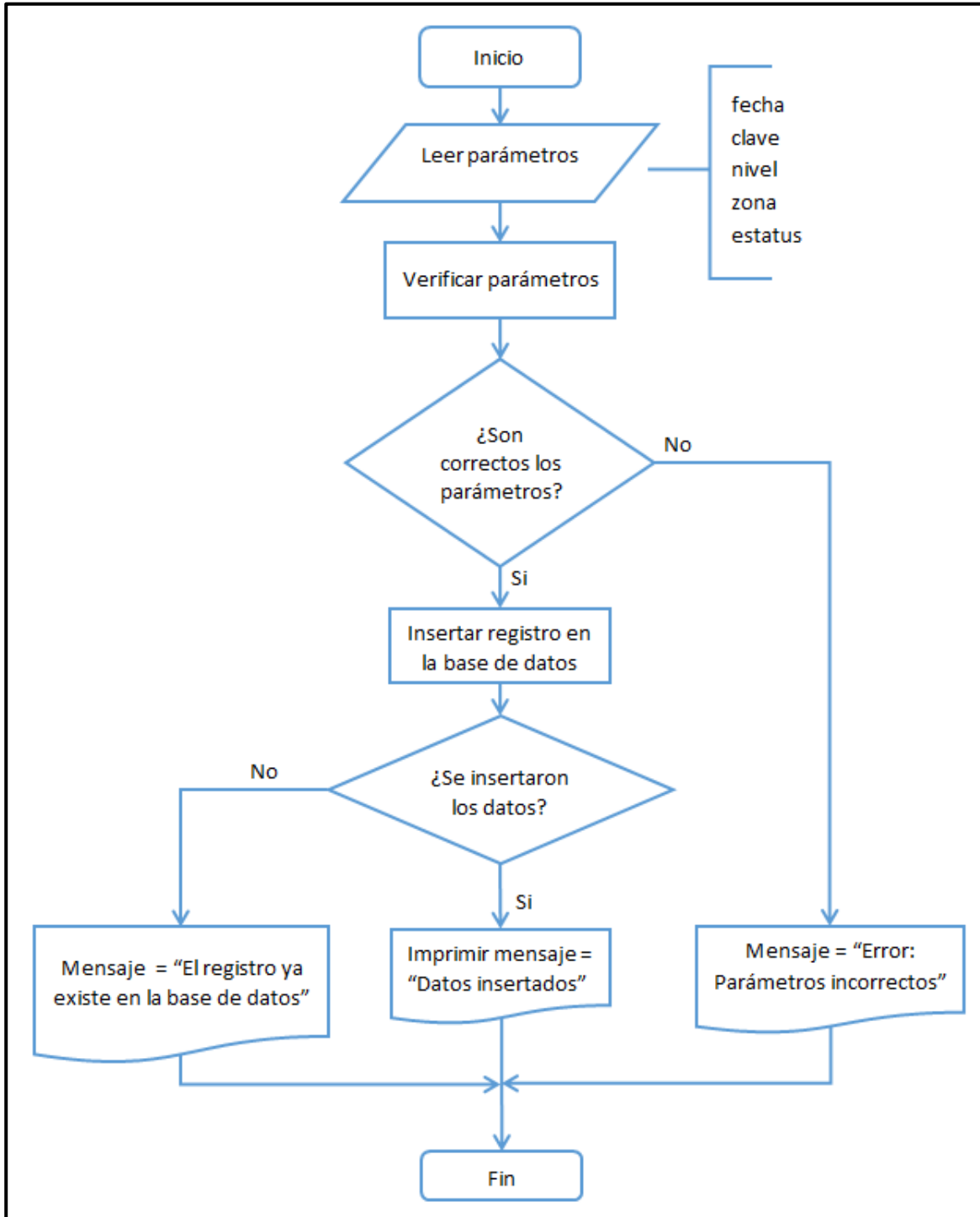


Ilustración 7.19 Diagrama de flujo del servicio Web insertaNivel

7.1.7.3. Diseño del servicio Web para consultar datos de lluvia

El diagrama de flujo de la secuencia de ejecución del servicio Web consultaLluvia se describe en la Ilustración 7.20.

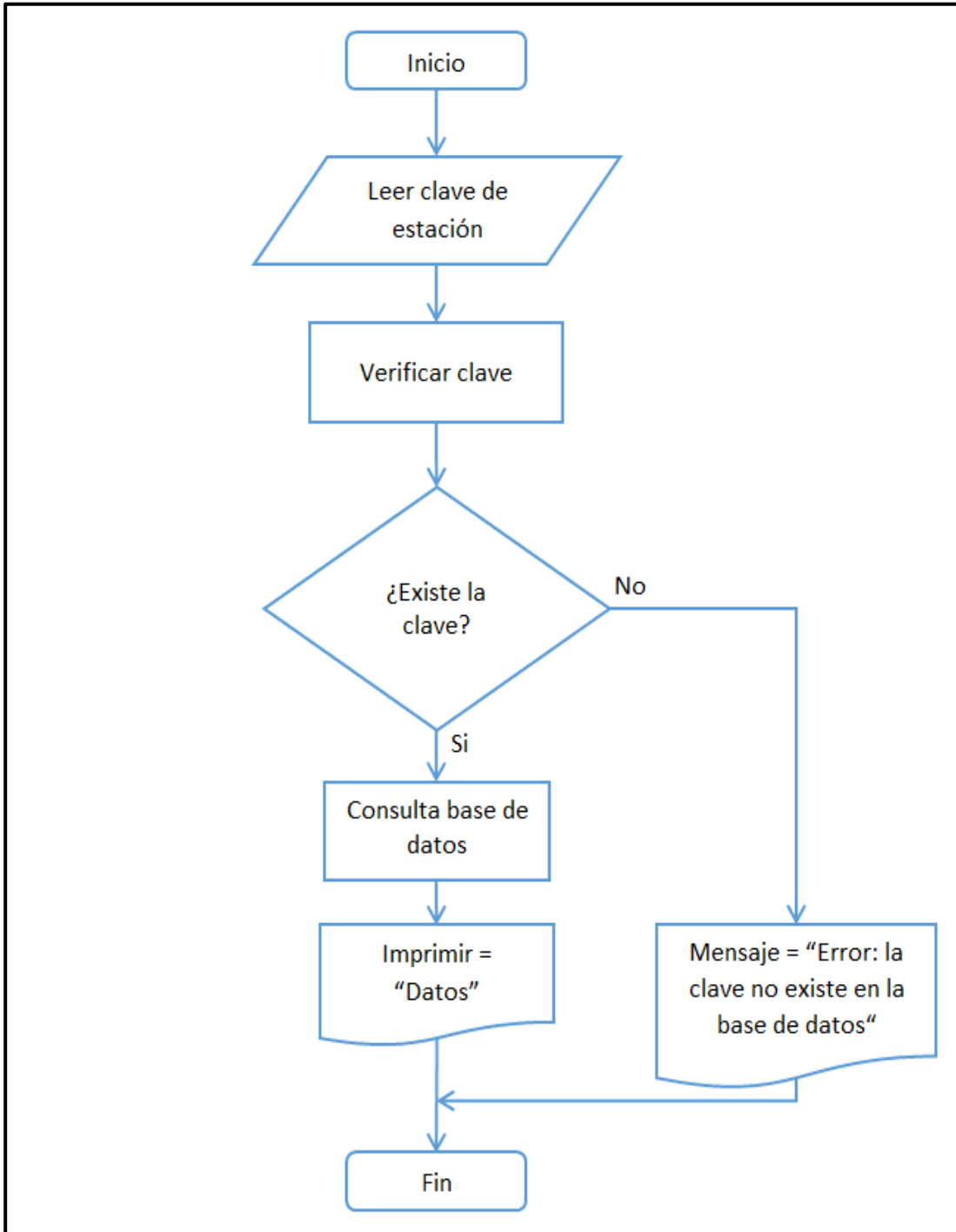


Ilustración 7.20 El diagrama de flujo del servicio Web consultaLluvia

7.1.7.4. Diseño del servicio Web para consultar datos de nivel

El diagrama de flujo de la secuencia de ejecución del servicio Web consultaNivel se describe en la Ilustración 7.21.

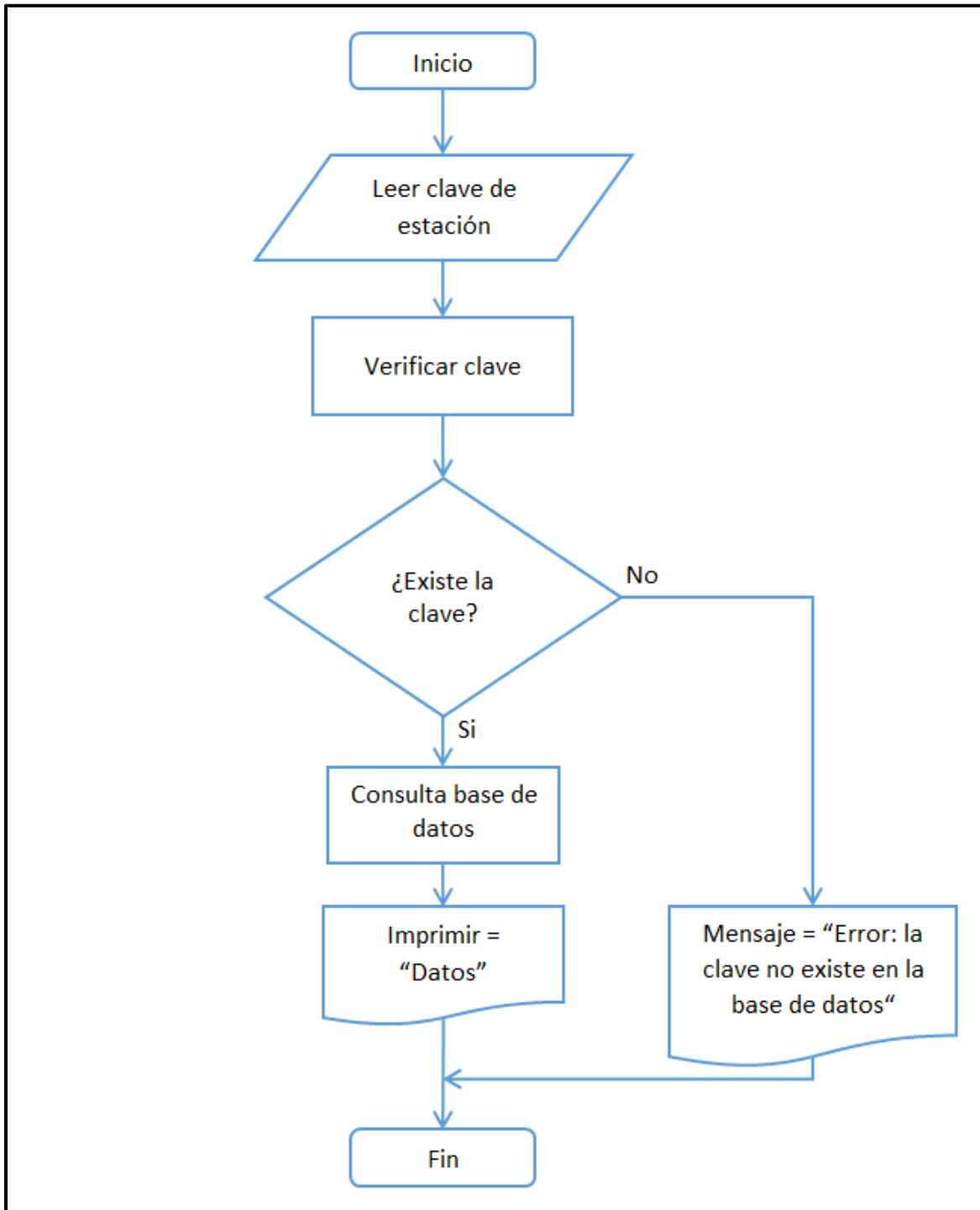


Ilustración 7.21 El diagrama de flujo del servicio Web consultaNivel

7.1.7.5. Diseño del servicio Web para consultar datos del último registro de lluvia

El diagrama de flujo de la secuencia de ejecución del servicio Web consultaLluviaUltimo se describe en la Ilustración 7.22.

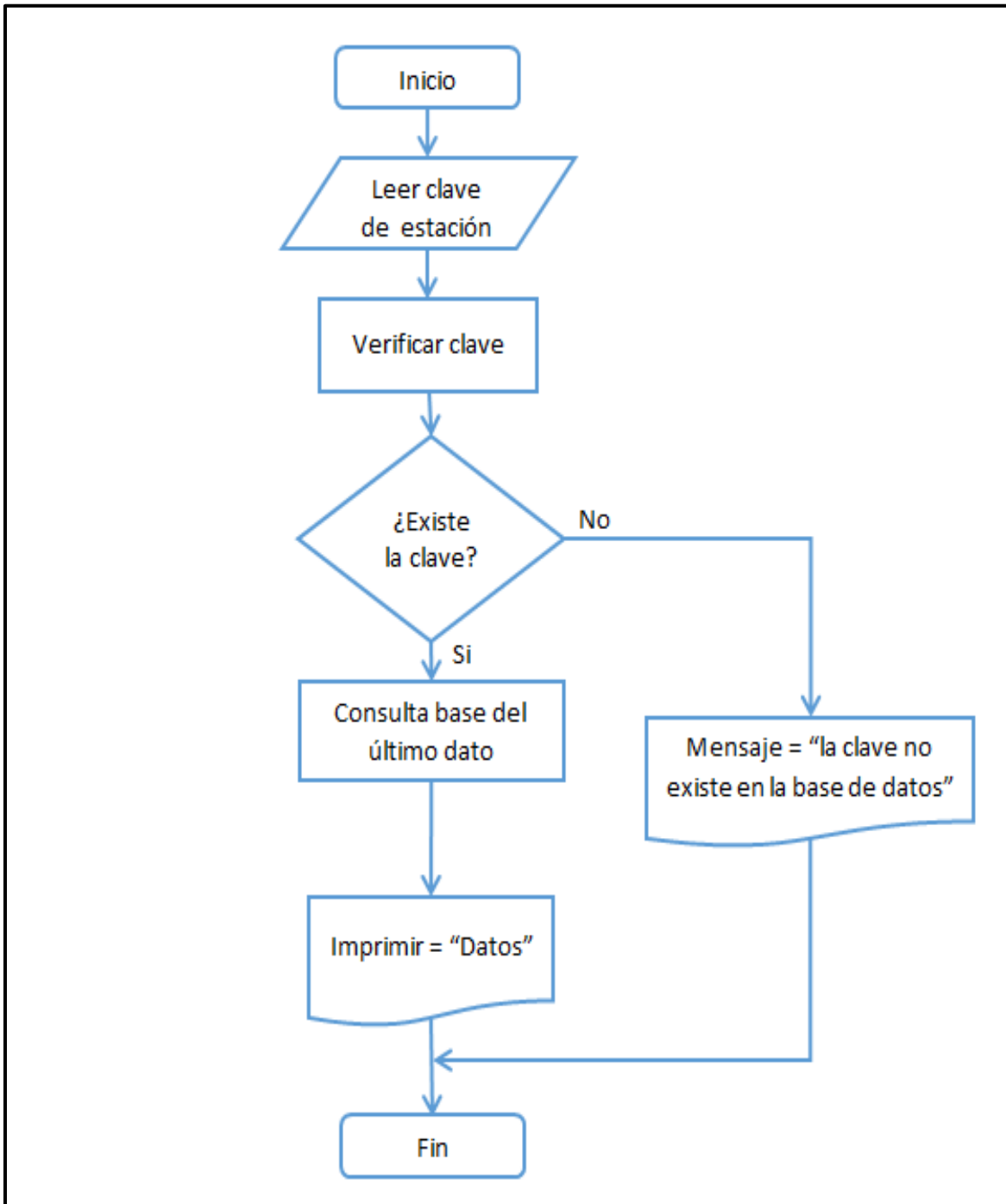


Ilustración 7.22 Diagrama de flujo del servicio Web consultaLluviaUltimo

7.1.7.6. Servicio Web para consultar datos del último registro de nivel

El diagrama de flujo de la secuencia de ejecución del servicio Web consultaNivelUltimo se describe en la Ilustración 7.23.

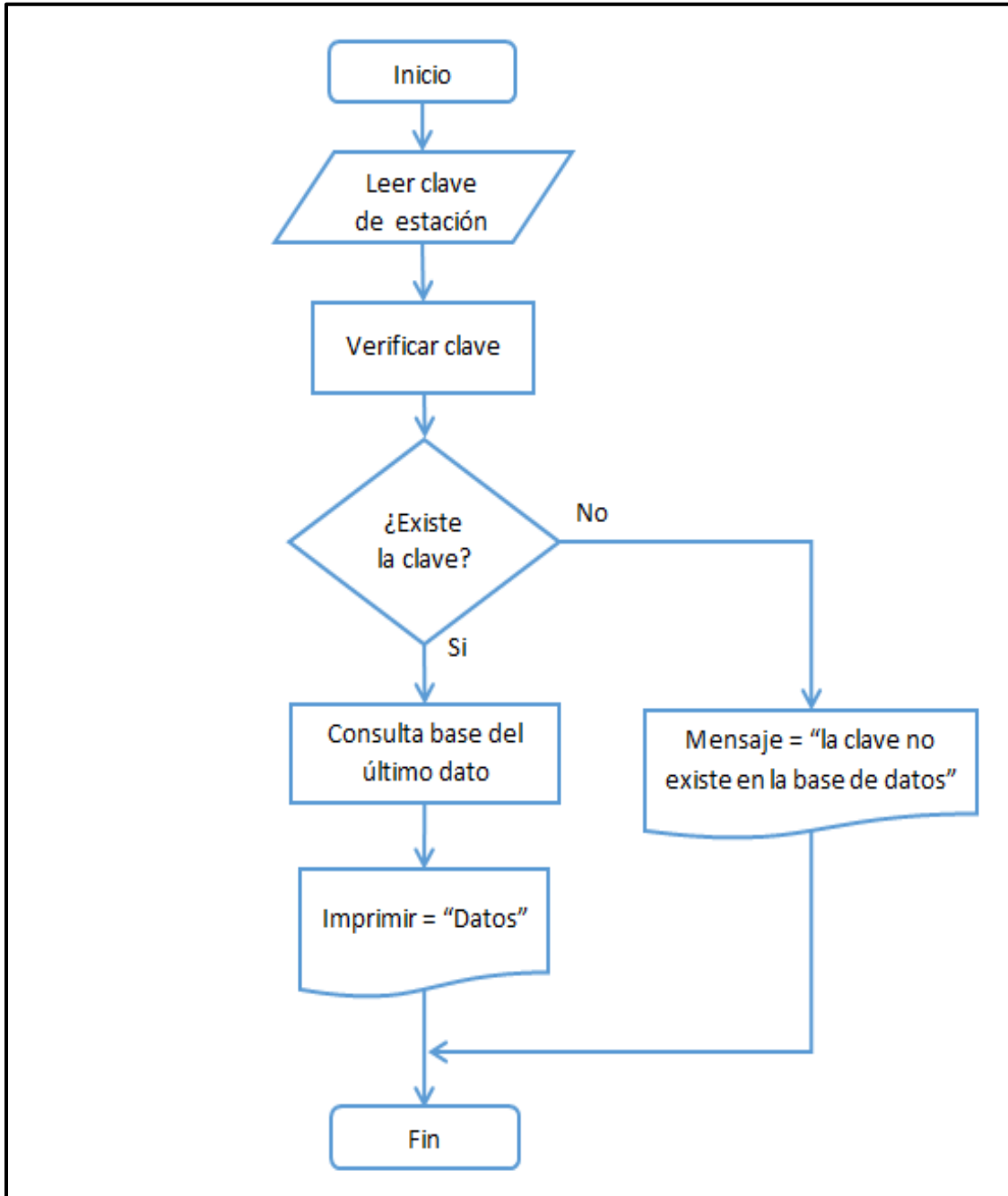


Ilustración 7.23 Diagrama de flujo del servicio Web consultaNivelUltimo

Los códigos asociados a los diagramas se encuentran en los anexos correspondientes.

7.1.8. Uso de los servicios Web

7.1.8.1. Ruta del request para insertar datos de lluvia

La ruta del request para insertar datos de la estación de lluvia se presenta en el Ilustración 7.24.

```
http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/insertaLluvia.php/Clave/FechaHoraMinuto/Lluvia/velViento/dirViento/graViento/Estatus
```

Ilustración 7.24 Ruta del request para insertar datos de las estaciones de lluvia

Dónde:

Clave	Clave de la estación de lluvia en formato de 6 caracteres (ejemplo: LLU001, LLU002, etc.)
FechaHoraMinuto	Fecha con hora y minuto en 12 caracteres con el siguiente formato: AAAAMMDDhhmm Donde AAAA corresponde al año en cuatro dígitos, MM al mes en dos dígitos, DD al día en dos dígitos, hh a la hora en dos dígitos y mm al minuto en dos dígitos.
Lluvia	Lluvia observada, puede ser entero o flotante.
velViento	Velocidad del viento, puede ser en entero o flotante.
dirViento	Dirección del viento en uno o dos caracteres (N,NO,O,SO,S,SE,E o NE)
graViento	Dirección del viento en grados, puede ser entero o flotante
Estatus	Número entero que corresponde al estatus (0, 1, 2 o 3)

En el Ilustración 7.25 se presenta un ejemplo de uso del request de lluvia.

```
http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/insertaLluvia.php/LLU001/201909200005/10.2/27.8/NE/290.0/1
```

Ilustración 7.25 Ejemplo de uso del request de lluvia

7.1.8.2. Ruta del request para insertar datos de nivel

La ruta del request para insertar datos de la estación de nivel se presenta en el Ilustración 7.26.

```
http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/insertaNivel.php/Clave/FechaHoraMinuto/Nivel/ZonaAfectada/Estatus
```

Ilustración 7.26 Ruta del request para insertar datos de las estaciones de nivel

Dónde:

Clave	Clave de la estación de nivel en formato de 6 caracteres (ejemplo: NIV001, NIV002, etc.)
FechaHoraMinuto	Fecha con hora y minuto en 12 caracteres con el siguiente formato: AAAAMMDDhhmm



Nivel	Donde AAAA corresponde al año en cuatro dígitos, MM al mes en dos dígitos, DD al día en dos dígitos, hh a la hora en dos dígitos y mm al minuto en dos dígitos.
ZonaAfectada	Nivel del río, puede ser entero o flotante.
Estatus	Zona afectada, puede ser en entero o flotante. Número entero que corresponde al estatus (0, 1 o 2).

En el Ilustración 7.27 se presenta un ejemplo de uso del request de nivel.

```
http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/insertaNivel.php/NIV001/201909200005/23.4/458.6/2
```

Ilustración 7.27 Ejemplo de uso del request de nivel

7.1.8.3. Ruta del request para consultar datos de lluvia

Para consultar los registros correspondientes a la estación de lluvia (Ilustración 7.28) se implementó un servicio Web, que regresa en formato JSON¹³, los datos correspondientes a la estación consultada. En la Ilustración 7.29 se presenta un ejemplo de consulta para el registro de lluvia.

```
http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/consultaLluvia.php/Clave
```

Ilustración 7.28 Ruta del servicio Web para consultar la base de datos

Dónde:

Clave	Clave de la estación de lluvia en formato de 6 caracteres (ejemplo: LLU001, LLU002, etc.)
-------	---

¹³ JSON es un formato ligero para intercambio de datos que surge como alternativa a XML a AJAX. Se emplea habitualmente en entornos donde el tamaño del flujo de datos entre cliente y servidor es de vital importancia, cuando el fuente de datos es explícitamente de confianza y donde no es importante el no disponer de procesamiento XSLT para manipular los datos del cliente (Peñas-jaramillo y Reyero-Sainz, 2012).

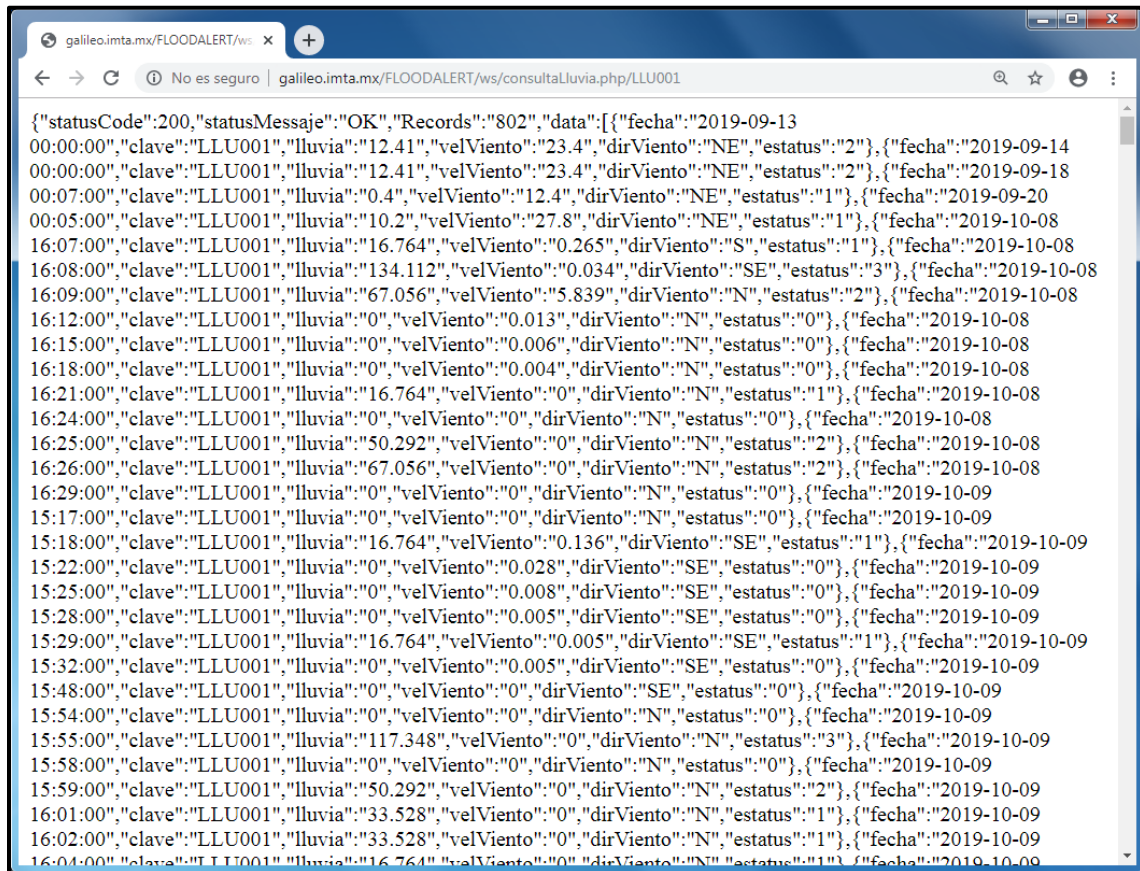


Ilustración 7.29 Consulta de registros de lluvia en base de datos del servicio Web

7.1.8.4. Ruta del request para consultar datos de nivel

Para consultar los registros correspondientes a la estación de nivel (Ilustración 7.30) se implementó un servicio Web, que regresa en formato JSON, los datos correspondientes a la estación consultada. En la Ilustración 7.31 se presenta un ejemplo de consulta para el registro de nivel.

```
http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/consultaNivel.php/Clave
```

Ilustración 7.30 Ruta del servicio Web para consultar la base de datos

Dónde

Clave Clave de la estación de nivel en formato de 6 caracteres (ejemplo: NIV001, NIV002, etc.)

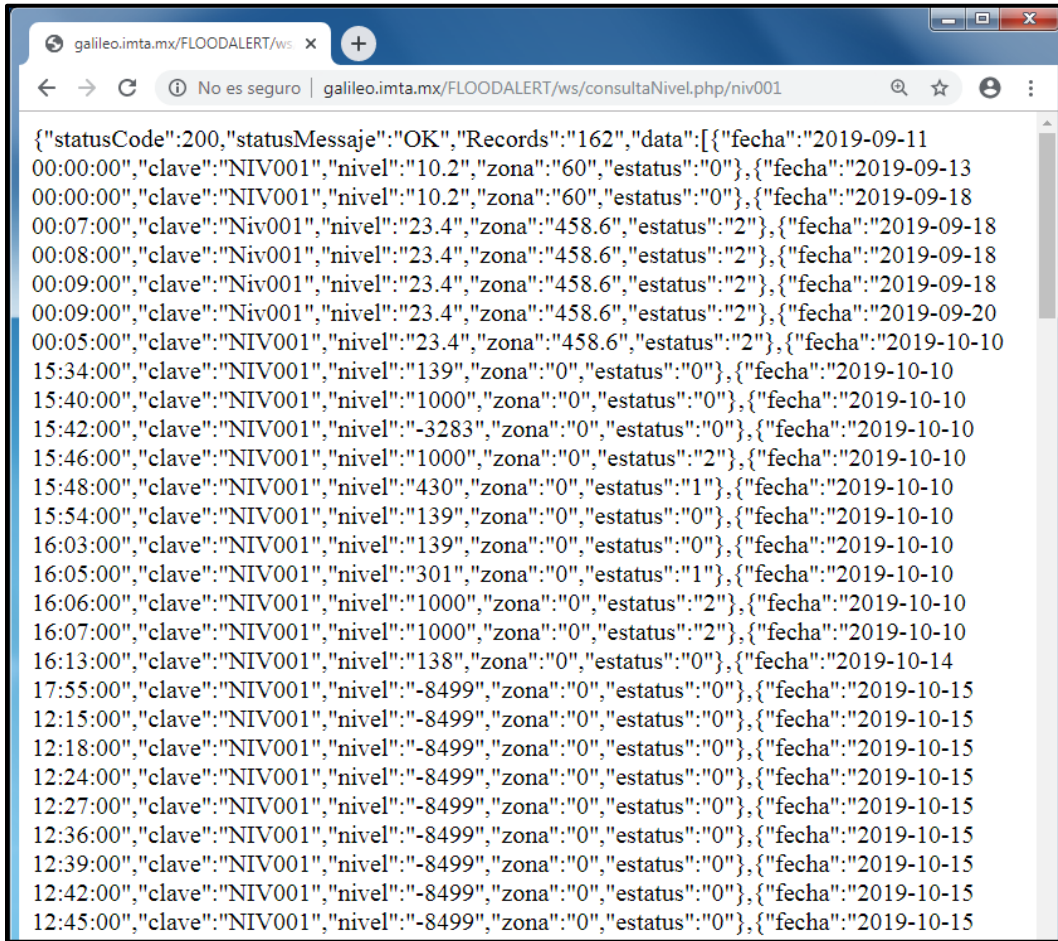


Ilustración 7.31 Consulta de registros de nivel en base de datos del servicio Web

7.1.8.5. Ruta del request para consultar último registro de lluvia

Para consultar el último registro correspondiente a la estación de lluvia (Ilustración 7.32) se implementó un servicio Web, que regresa en formato JSON, los datos correspondientes a la estación consultada. En la Ilustración 7.33 se presenta un ejemplo de consulta del último registro de la estación de lluvia.

<http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/consultaLluviaUltimo.php/Clave>

Ilustración 7.32 Ruta del servicio Web para consulta del último registro de lluvia

Dónde:

Clave Clave de la estación de lluvia en formato de 6 caracteres (ejemplo: LLU001, LLU002, etc.)



Ilustración 7.33 Ejemplo de consulta del servicio Web último registro

7.1.8.6. Ruta del request para consultar último registro de nivel

Para consultar el último registro correspondiente a la estación de nivel (Ilustración 7.34) se implementó un servicio Web, que regresa en formato JSON, los datos correspondientes a la estación consultada. En la Ilustración 7.35 se presenta un ejemplo de consulta del último registro de la estación de nivel.

```
http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/consultaNivelUltimo.php/Clave
```

Ilustración 7.34 Ruta del servicio Web para consulta del último registro de nivel

Dónde:

Clave Clave de la estación de nivel en formato de 6 caracteres (ejemplo: NIV001, NIV002, etc.)

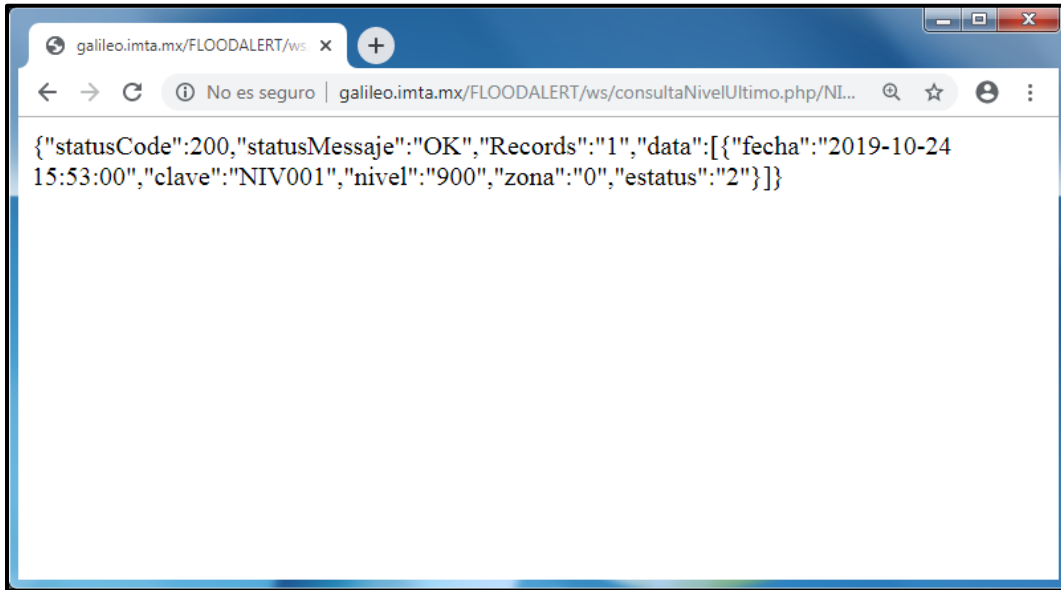


Ilustración 7.35 Ejemplo de consulta del servicio Web del último registro de nivel



8. Difusión y operación

8.1. Operación del sistema de monitoreo de lluvia

8.1.1. Pruebas iniciales

Para las pruebas iniciales se instalaron los sistemas de monitoreo de lluvia dentro del IMTA, con el objetivo de evaluar su comportamiento, estabilidad del código y duración de la batería (Ilustración 8.1).



Ilustración 8.1 Instalación de sistemas de monitoreo de lluvia dentro del IMTA

8.1.2. Calibración de los pluviómetros

Con la finalidad de conocer el funcionamiento de los pluviómetros, el 21 de noviembre se verificaron los 3 pluviómetros, lo cual consistió en determinar el volumen requerido para que el balancín gire. Los resultados se muestran en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1 Volumen (ml) para el cual giró el balancín

Evento	Lado	Estación 1	Estación 2	Estación 3
1	Lado 1	1.7	1.5	1.5
	Lado 2	1.5	1.5	1.5
2	Lado 1	1.6	1.5	1.4
	Lado 2	1.5	1.5	1.4
3	Lado 1	1.5	1.5	1.4
	Lado 2	1.5	1.5	1.4
4	Lado 1	1.5		1.4
	Lado 2			1.4
	Promedio	1.54	1.50	1.43

De acuerdo con los resultados, se concluye que para las estaciones 1 y 2 el balancín gira con un volumen de 1.5 ml, sin embargo, en la estación 3, el balancín gira con 1.4 ml.

Las dimensiones del área de captación del pluviómetro son de 11 x 5 centímetros y de acuerdo el manual del pluviómetro con los registros cada giro en el balancín equivale a 0.2794 mm. Entonces el volumen requerido para que el balancín gire es:

$$V = (110mm * 50mm) * 0.2794mm = 1536.7 mm^3$$

El volumen anterior equivale a 1.5367 ml, redondeando a dos decimales se tiene que el volumen es 1.54 ml. Este volumen es congruente con los resultados obtenidos en la calibración para las estaciones 1 y 2. Como la estación 3 giró con 1.4 ml entonces sobre estima el valor de la precipitación en un 6.7%.

Cuando se instalen las estaciones en los sitios será necesario calibrar nuevamente la estación, procurando que queden, nivelados los pluviómetros lo mejor posible, y usar factores de ajuste en el caso de ser necesario.

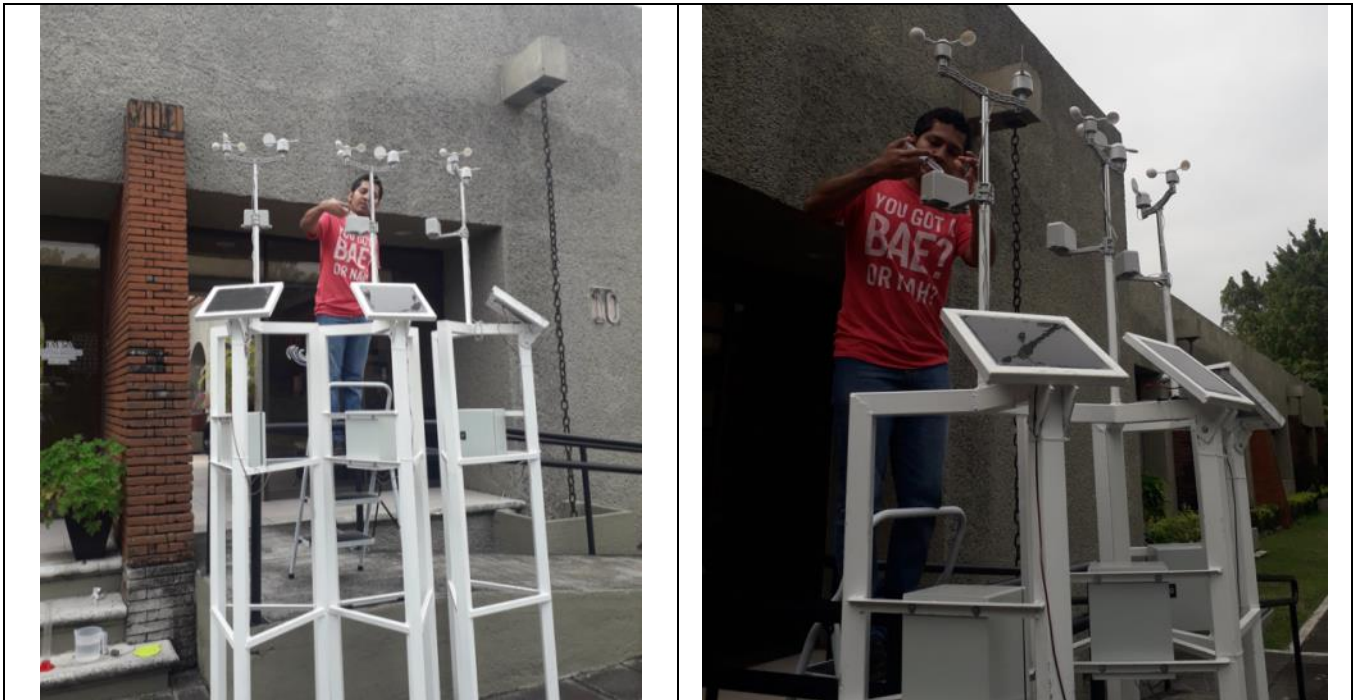


Ilustración 8.2 Pruebas de Calibración de los pluviómetros

8.1.3. Verificación del pluviómetro de la estación 3 para un volumen de 250 ml

Con la finalidad de evaluar la precisión de los pluviómetros en cuanto a la variación de la intensidad se refiere, se aplicó un volumen de 250 ml a un pluviómetro esto con el objetivo de que siempre registrará la misma precipitación acumulada.

Los 250 ml corresponden a (si estuviera perfectamente bien calibrado)

$$\text{No de giros} = \frac{(250\text{ml})}{1.5367\text{ml}} = 162.7 \text{ giros si estuviera perfectamente bien calibrado}$$

$$\text{Precipitación} = (162.7 \text{ giros}) * 0.2794 \frac{\text{ml}}{\text{giro}} = 45.45 \text{ mm}$$

Como el balancín del pluviómetro de esta estación (3) gira con 1.4 mm, entonces se esperaría que el número de giros fuera de 178.5 giros.

En Tabla 8.2 se presenta el número de giros obtenidos para diferentes ensayos.

Tabla 8.2 Número de giros del balancín para los 250 ml de agua en la estación 3

Ensayo	Tiempo en el cual se registró el volumen vaciado (250 ml)	No de giros
1	20 min	157
2	180 min	171
3	80 min	167
4	20 min	165

Ensayo	Tiempo en el cual se registró el volumen vaciado (250 ml)	No de giros
5	200 min	134
6	50 min	176
7	130 min	158
8	110 min	175
9	110 min	177
10	340 min	169
11	70 min	158
12	60 min	77
13	40 min	145
14	60 min	178
15	60 min	180
16	90 min	178
17	20 min	111
18	30 min	175
19	70 min	176

De acuerdo con los resultados anteriores se observa que el pluviómetro es sensible a la velocidad de vaciado de del agua o bien a la intensidad de la precipitación. Por lo cual es recomendable en un inicio instalar un pluviómetro adicional donde se instale la estación, el pluviómetro adicional debe tener las dimensiones estándares de los pluviómetros.



Ilustración 8.3 Sistema de verificación del funcionamiento del pluviómetro para el volumen de 250 ml

8.1.4. Autosuficiencia energética

Durante el periodo de pruebas se monitoreo el comportamiento de la carga de batería en los tres sistemas, la cual se mantuvo en promedio el 84.53 % de carga, y su comportamiento se presenta en la Ilustración 8.4 para los tres sistemas. Con lo que se puede establecer que el sistema cumple con la autonomía energética requerida.

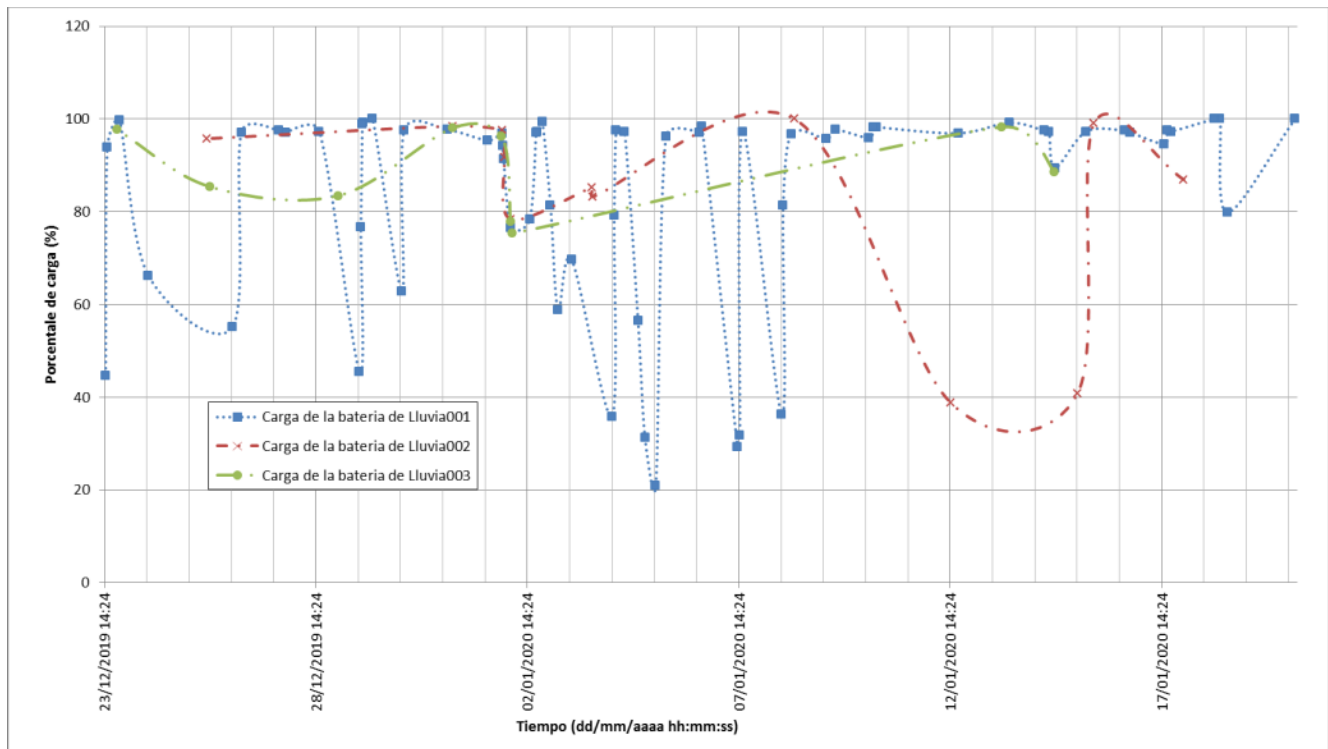


Ilustración 8.4 Carga de batería en los tres sistemas de monitoreo de lluvia

8.1.5. Transmisión de datos

Los datos medidos por el sistema se transmiten de acuerdo con el protocolo estipulado en el apartado 6.2.2.4 y pueden consultarse para cada sistema en las páginas siguientes, respectivamente:

- <http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/consultaLluvia.php/Llu001>
- <http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/consultaLluvia.php/Llu002>
- <http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/consultaLluvia.php/Llu003>

Las cuales muestran los datos medidos tal como se muestra en la Ilustración 8.5.


```

← → ↻ 🏠 ⓘ No seguro | galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/consultaLluvia.php/Llu001 ☆ 🔍 ⓘ
📱 Aplicaciones 📖 Educación a Dista... 🌐 www.airvalve-pro... ⚙️ Val-Matic AirValve 🌐 Bentley.com 🌐 SmartIMTA

{"statusCode":200,"statusMensaje":"OK","Records":201,"data":[{"fecha":"2019-10-30
19:31:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":6.06,"dirViento":"O","estatus":0},{fecha":"2019-10-30
19:41:00","clave":"LLU001","lluvia":0.5588,"velViento":2.09,"dirViento":"O","estatus":1},{fecha":"2019-10-31
03:58:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":0.565,"dirViento":"NE","estatus":1},{fecha":"2019-10-31
05:28:00","clave":"LLU001","lluvia":0.8382,"velViento":0.948,"dirViento":"N","estatus":1},{fecha":"2019-10-31
05:48:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":0.149,"dirViento":"NE","estatus":1},{fecha":"2019-10-31
06:18:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":0.018,"dirViento":"N","estatus":1},{fecha":"2019-11-02
16:29:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":1.248,"dirViento":"N","estatus":0},{fecha":"2019-11-03
05:30:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":1.272,"dirViento":"NE","estatus":1},{fecha":"2019-11-03
08:30:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":0.004,"dirViento":"NE","estatus":1},{fecha":"2019-11-06
01:29:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":9.09,"dirViento":"N","estatus":1},{fecha":"2019-11-06
01:39:00","clave":"LLU001","lluvia":3.3528,"velViento":4.968,"dirViento":"SE","estatus":1},{fecha":"2019-11-06
01:49:00","clave":"LLU001","lluvia":0.5588,"velViento":4.46,"dirViento":"E","estatus":1},{fecha":"2019-11-06
16:31:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":0.817,"dirViento":"N","estatus":1},{fecha":"2019-11-08
02:44:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":0},{fecha":"2019-11-08
14:44:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":0},{fecha":"2019-11-08
19:00:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":0},{fecha":"2019-11-09
07:00:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":0},{fecha":"2019-11-09
19:00:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":0},{fecha":"2019-11-10
07:00:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"NE","estatus":0},{fecha":"2019-11-10
19:00:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":0},{fecha":"2019-11-11
07:00:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"NE","estatus":0},{fecha":"2019-11-11
08:20:00","clave":"LLU001","lluvia":0.5588,"velViento":0,"dirViento":"NE","estatus":1},{fecha":"2019-11-11
08:30:00","clave":"LLU001","lluvia":0.8382,"velViento":0,"dirViento":"S","estatus":1},{fecha":"2019-11-11
16:20:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":1},{fecha":"2019-11-12
04:20:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":0},{fecha":"2019-11-12
05:30:00","clave":"LLU001","lluvia":1.1176,"velViento":0,"dirViento":"E","estatus":1},{fecha":"2019-11-12
05:40:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":1},{fecha":"2019-11-12
17:40:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":0},{fecha":"2019-11-12
19:30:00","clave":"LLU001","lluvia":1.1176,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":1},{fecha":"2019-11-13
07:30:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"NE","estatus":0},{fecha":"2019-11-13
19:30:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":0},{fecha":"2019-11-14
07:30:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"NE","estatus":0},{fecha":"2019-11-14
19:30:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"SO","estatus":0},{fecha":"2019-11-15
07:30:00","clave":"LLU001","lluvia":0,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":0},{fecha":"2019-11-15
09:10:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":0,"dirViento":"SE","estatus":1},{fecha":"2019-11-15
09:30:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":0,"dirViento":"O","estatus":1},{fecha":"2019-11-15
09:40:00","clave":"LLU001","lluvia":0.5588,"velViento":0,"dirViento":"N","estatus":1},{fecha":"2019-11-15
09:50:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":0,"dirViento":"NE","estatus":1},{fecha":"2019-11-15
10:40:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":0,"dirViento":"NE","estatus":1},{fecha":"2019-11-15
11:30:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":0,"dirViento":"E","estatus":1},{fecha":"2019-11-15
11:50:00","clave":"LLU001","lluvia":0.2794,"velViento":0,"dirViento":"NE","estatus":1},{fecha":"2019-11-15

```

Ilustración 8.5 Base de datos del sistema de medición de lluvia 001

8.1.6. Operación de la Aplicación para dispositivos móviles

Como parte de la verificación de funcionamiento se evaluó también el comportamiento de la aplicación para dispositivos móviles, para el sistema operativo Android® y el sistema operativo iOS®, la cual se muestra en la Ilustración 8.6, donde en la parte superior puede verse el último estatus reportado por las tres estaciones y los gráficos de las lluvias detectadas durante la fase de pruebas.

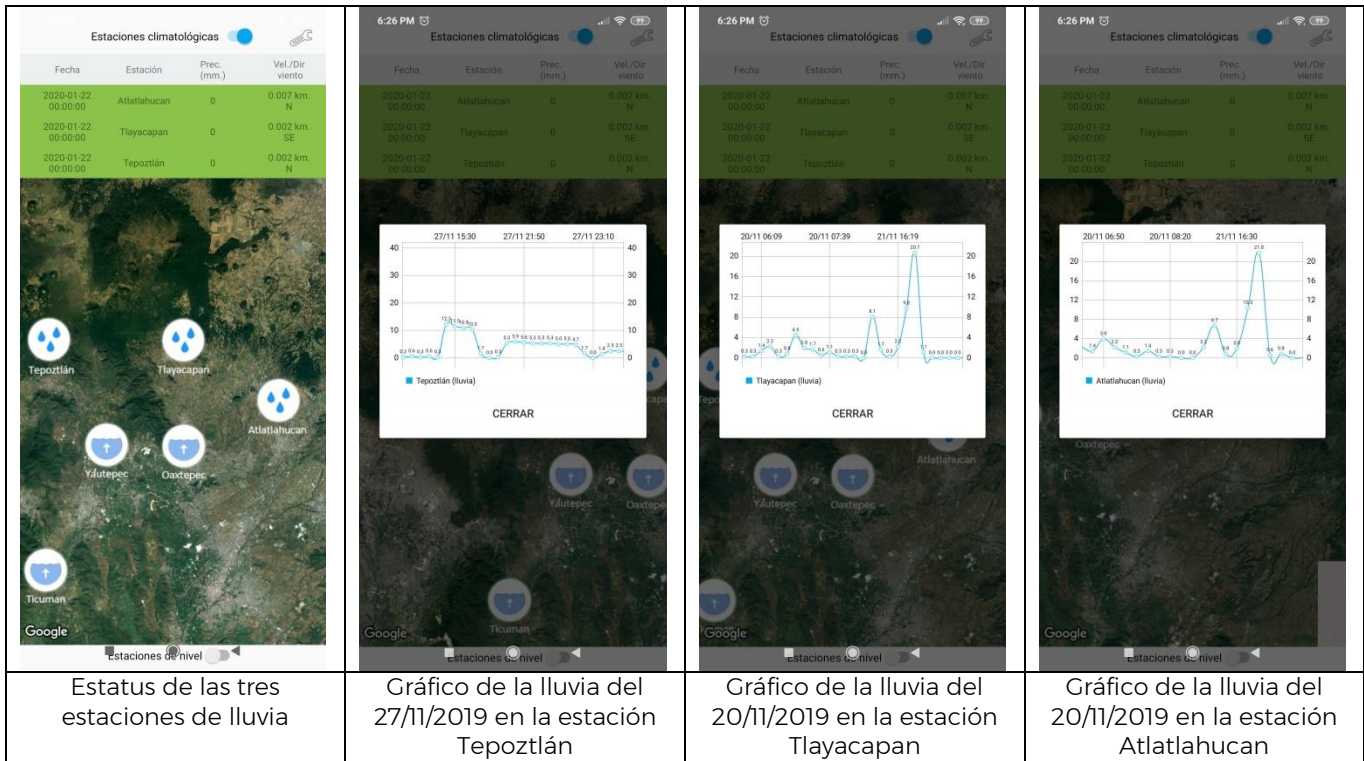


Ilustración 8.6 Funcionamiento de la aplicación para dispositivos móviles con las estaciones de lluvia

8.2. Operación del sistema de monitoreo de nivel en cauce

8.2.1. Pruebas iniciales

De la misma manera se instalaron dos de los tres sistemas de monitoreo de nivel del cauce dentro de las instalaciones del IMTA (Ilustración 8.7 e Ilustración 8.8), buscando los mismos objetivos, comportamiento, estabilidad del código y duración de la batería. La estación 3 correspondiente a Ticuman se tiene preparada (Ilustración 8.9) pero no se instaló debido a que por su propia configuración se diseñó para instalarse específicamente en el sitio.



Ilustración 8.7 Sistema de monitoreo de nivel para el punto 1 (Oaxtepec) instalado en el IMTA



Ilustración 8.8 Sistema de monitoreo de nivel para el punto 2 (Yautepec) instalado en el IMTA



Ilustración 8.9 Sistema de monitoreo de nivel para el punto 3 (Ticuman) instalado en el IMTA

8.2.2. Autosuficiencia energética

Durante el periodo de pruebas se monitoreo el comportamiento de la carga de batería en los dos sistemas instalados, la cual se mantuvo en promedio el 77.93 % de carga, y su comportamiento se presenta en la Ilustración 8.10 para los dos sistemas. Con lo que se puede establecer que el sistema cumple con la autonomía energética requerida.

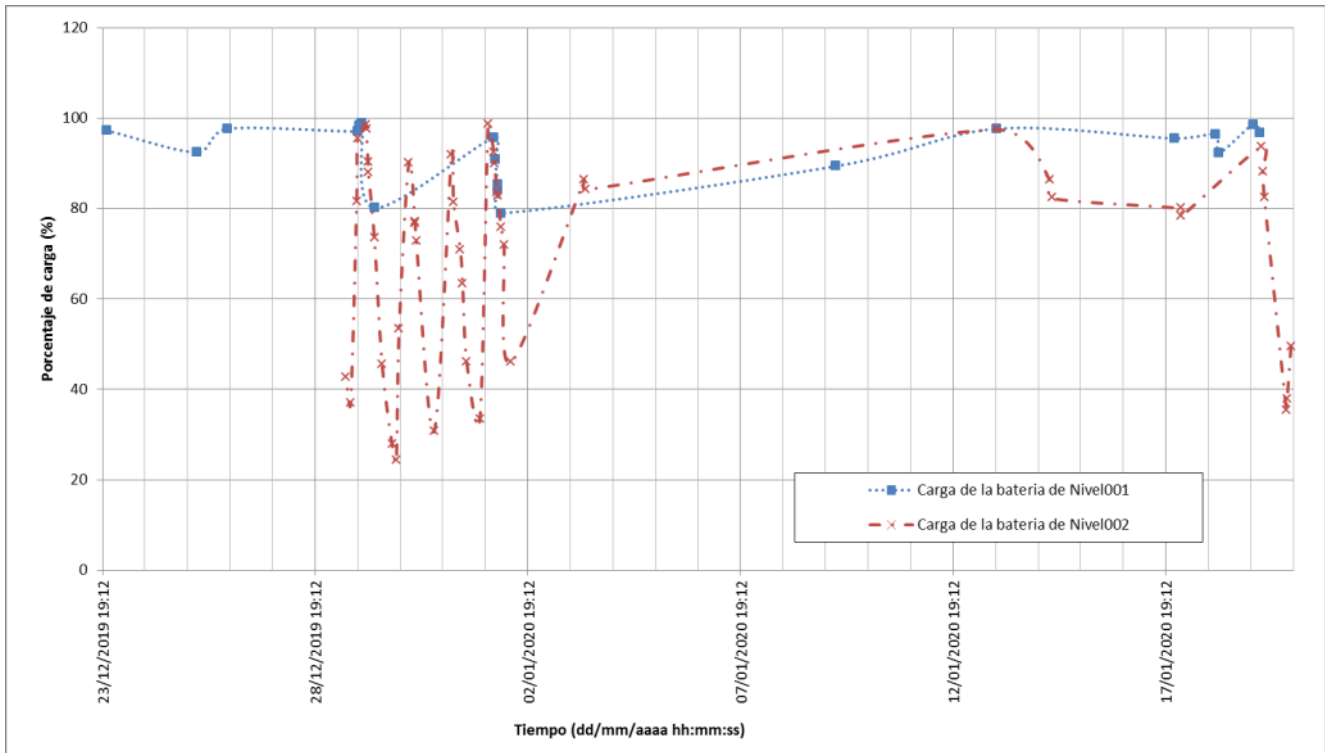


Ilustración 8.10 Carga de batería en los tres sistemas de monitoreo de nivel

8.2.3. Transmisión de datos

Los datos medidos por el sistema se transmiten de acuerdo con el protocolo estipulado en el apartado 5.2.2 y pueden consultarse para cada sistema en las páginas siguientes, respectivamente:

<http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/consultaNivel.php/Niv001>

<http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/consultaNivel.php/Niv002>

<http://galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/consultaNivel.php/Niv003>

Las cuales muestran los datos medidos tal como se muestra en la Ilustración 8.11.


```

    < > ↻ ↗ ⓘ No seguro | galileo.imta.mx/FLOODALERT/ws/consultaNivel.php/Niv
    Aplicaciones Educación a Dista... www.airvalve-pro... Val-Matic AirValve Bent
    04:20:00,"clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    04:30:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    04:40:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    04:50:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    05:00:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    05:10:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    05:20:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    06:00:00","clave":"NIV002","nivel":"0","zona":"0","estatus":"0"},{"fecha":"2020-01-12
    07:40:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    08:30:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    12:00:00","clave":"NIV002","nivel":"0","zona":"0","estatus":"0"},{"fecha":"2020-01-12
    16:40:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    16:50:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    17:10:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    17:40:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    18:00:00","clave":"NIV002","nivel":"0","zona":"0","estatus":"0"},{"fecha":"2020-01-12
    21:10:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    22:20:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    22:30:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    22:50:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    23:20:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-12
    23:59:59","clave":"NIV002","nivel":"0","zona":"0","estatus":"0"},{"fecha":"2020-01-13
    00:50:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-13
    01:30:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-13
    01:40:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-13
    01:50:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-13
    02:10:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-13
    03:30:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-13
    04:10:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-13
    04:20:00","clave":"NIV002","nivel":"1","zona":"0","estatus":"2"},{"fecha":"2020-01-13
    06:00:00","clave":"NIV002","nivel":"0","zona":"0","estatus":"0"},{"fecha":"2020-01-13
    12:00:00","clave":"NIV002","nivel":"0","zona":"0","estatus":"0"},{"fecha":"2020-01-14
    00:00:18","clave":"NIV002","nivel":"0","zona":"0","estatus":"0"},{"fecha":"2020-01-14
    06:00:00","clave":"NIV002","nivel":"0","zona":"0","estatus":"0"},{"fecha":"2020-01-14
  
```

Ilustración 8.11 Base de datos del sistema de medición de Nivel 002

8.2.4. Operación de la Aplicación para dispositivos móviles

Como parte de la verificación de funcionamiento se evaluó también el comportamiento de la aplicación para dispositivos móviles, para el sistema operativo Android® y el sistema operativo iOS®, la cual se muestra en la Ilustración 8.12, donde en la parte superior puede verse el último estatus reportado por las tres estaciones y los gráficos de las lluvias detectadas durante la fase de pruebas.

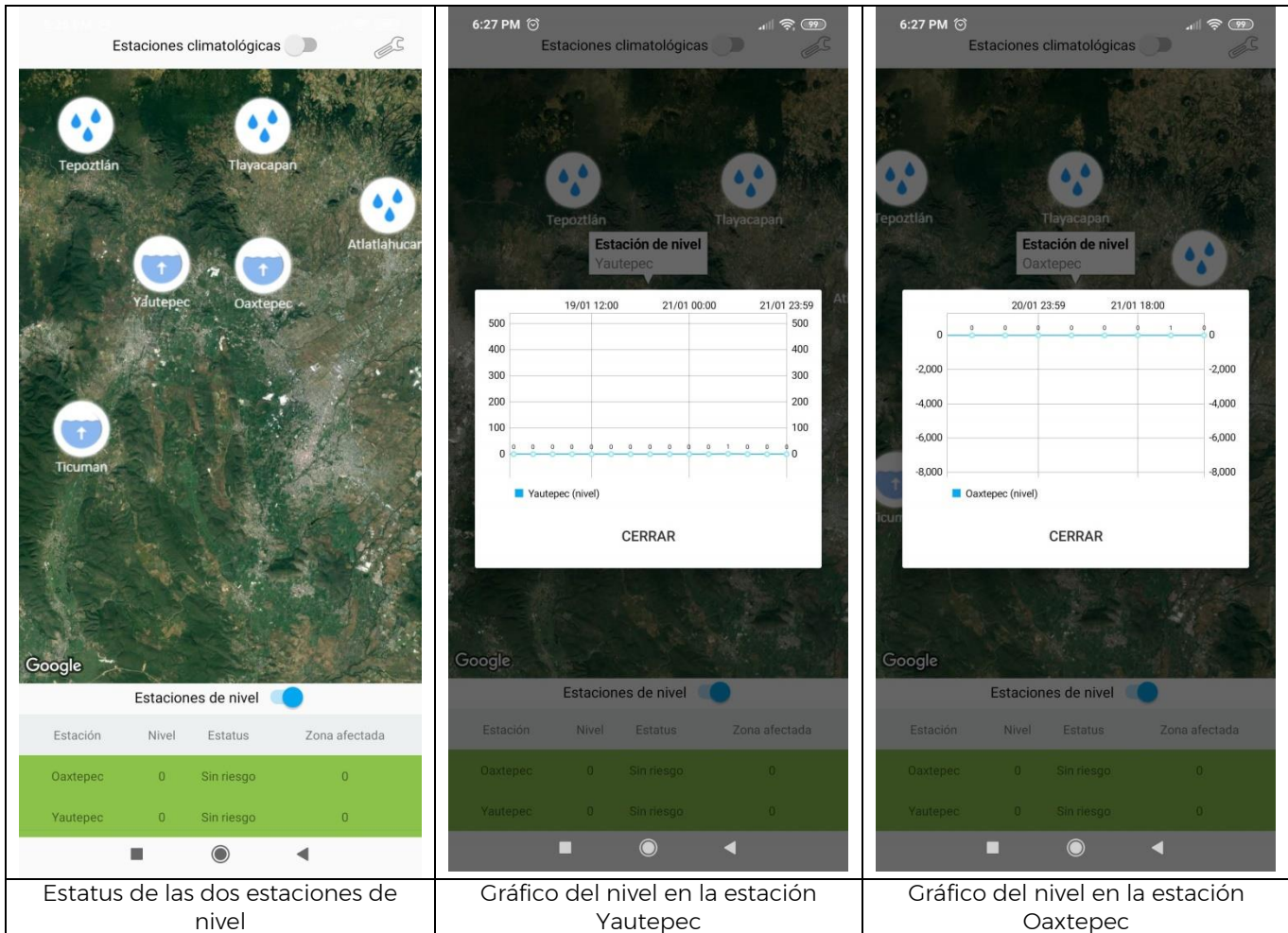


Ilustración 8.12 Funcionamiento de la aplicación para dispositivos móviles con las estaciones de nivel

8.3. Promoción y difusión de la aplicación

Debido a las modificaciones del calendario de trabajo, se programó la instrumentación del cauce en fechas posteriores a la presentación del informe, por lo que esta actividad se reconfiguró, limitando la difusión al organismo de cuenca Balsas de la Conagua, las autoridades del estado de Morelos, específicamente a Protección Civil, Comisión Estatal del Agua (CEAGUA), Secretaria de desarrollo sustentable y los ayuntamientos de Yáutepec, Atlatlahucan, Tlayacapan y Tepoztlán. Para ello, el sistema se presentó, una vez concluido al equipo de trabajo en las instalaciones del IMTA (Ilustración 8.13 e Ilustración 8.14).



Ilustración 8.13 Reunión de presentación del sistema



LISTA DE ASISTENCIA

REUNIÓN DE TRABAJO PARA LA INSTRUMENTACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO YAUTEPEC

06 DE NOVIEMBRE DE 2019.

NOMBRE	CARGO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
Indalecio Mendoza Uribe	Tecnólogo del Agua A Titular	indalecio.mendoza@tlaloc. imta.mx	
Miguel Ángel Vazquez Zavaleta	Tecnólogo del Agua A Titular	miguel.vazquez@tlaloc.imta.mx	
Gustavo Barrera Flores	coordinador Técnico, CEEGUA	gustavo.barrera@ morelos.gob.mx	
Enrique Clement Gallardo	COORDINADOR Comunicación Social	proteccion.civil@morelos.gob.mx	
Moises López Morales	Tecnólogo del Agua	cepcm@morelos.gob.mx	
Oscar Jesús Lizcano Guiberto	Tecnólogo del Agua	oscar.lizcano@tlaloc.imta.mx	
Anamaria Martínez Martínez	Residente	anamaria.martinezmtz@gmail.com	
Juan Esteban Casasa Ramírez	Residente	malosvicios@live.com.mx	
Roberto Ángel Olmos Siqueiro	Residente	ba.ta.angulo.killa@gmail.com	



LISTA DE ASISTENCIA

REUNIÓN DE TRABAJO PARA LA INSTRUMENTACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO YAUTEPEC

06 DE NOVIEMBRE DE 2019.

NOMBRE	CARGO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
Indalecio Mendoza Uribe	Tecnólogo del Agua A Titular	indalecio.mendoza@tlaloc. imta.mx	
Miguel Ángel Vazquez Zavaleta	Tecnólogo del Agua A Titular	miguel.vazquez@tlaloc.imta.mx	
Gustavo Barrera Flores	coordinador Técnico, CEEGUA	gustavo.barrera@ morelos.gob.mx	
Enrique Clement Gallardo	COORDINADOR Comunicación Social	proteccion.civil@morelos.gob.mx	
Moises López Morales	Tecnólogo del Agua	cepcm@morelos.gob.mx	
Oscar Jesús Lizcano Guiberto	Tecnólogo del Agua	oscar.lizcano@tlaloc.imta.mx	
Anamaria Martínez Martínez	Residente	anamaria.martinezmtz@gmail.com	
Juan Esteban Casasa Ramírez	Residente	malosvicios@live.com.mx	
Roberto Ángel Olmos Siqueiro	Residente	ba.ta.angulo.killa@gmail.com	

Ilustración 8.14 Lista de asistentes para presentación del sistema

Durante la mesa de trabajo con los titulares de protección civil de los municipios del estado de Morelos realizado en el municipio de Temixco el 26 de noviembre de 2019 se presentó el proyecto, sus alcances y generalidades (Ilustración 8.15).



Ilustración 8.15 Presentación del proyecto a los titulares de protección civil del estado de Morelos

8.4. Visualización y alcances del proyecto

La fase de pruebas y la instalación de los equipos en el IMTA permitieron además presentar a los diversos visitantes del instituto los sistemas desarrollados en el marco de este proyecto y con ello mostrar las capacidades, la Ilustración 8.16 muestra un par de publicaciones de Twitter referentes a estas visitas, entre las que destacan:

- Participantes del Foro de la Ley General de Aguas, el 30 de octubre de 2019
- Delegación del Valonia, Bélgica en el marco de la semana de intercambio de experiencias en gestión de recursos hídricos entre México y Bélgica con el objetivo de identificar áreas potenciales de cooperación bilateral, el 13 de noviembre de 2019
- Estudiantes del Instituto Tecnológico de Tláhuac, el 21 de noviembre de 2019
- Dr. Abdou Khouakhi de Loughborough University, UK y el Dr Ian Pattison de Heriot-Watt University, en el marco del Espacio del conocimiento IMTA, el 17 de enero de 2020.



Ilustración 8.16 Publicaciones referentes a visitantes que conocieron el sistema

Adicionalmente, derivado de las reuniones con la Coordinación de Protección Civil del Estado de Morelos y el Ayuntamiento de Yautepec, se han publicado en redes sociales notas relacionadas con el proyecto (Ilustración 8.17).



Ilustración 8.17 Publicaciones en Facebook relacionadas con el proyecto



8.5. Capacitación y transmisión de tecnología

Con el objetivo de capacitar a tecnólogos del IMTA en las tecnologías desarrolladas en el marco del proyecto, se realizó el Curso taller de programación de sensores para la determinación de parámetros hidráulicos.

El taller se realizó en línea, con una duración total de 12 horas, los días 12, 13 y 16 de diciembre de 2019 de 9:00 a 13:00 hrs, en la sala de juntas de Hidráulica (Edificio 9).

8.5.1. Curso taller de programación de sensores para la determinación de parámetros hidráulicos

8.5.1.1. Temario

- 1) Arduino
 - a) Introducción
 - b) Partes de la placa Arduino UNO
 - c) Uso de Arduino
- 2) Programación en Arduino
 - a) Estructura de un Sketch
 - b) Comentarios
 - c) Variables
 - d) Funciones
- 3) Lenguaje de Programación Arduino
- 4) Librerías
- 5) Ejemplos
 - a) Ejemplo 1 Salida digital
 - b) El potenciómetro con Arduino
 - c) Detección de distancia
 - d) Pantalla LCD JHD162A
- 6) Particle
 - a) ¿Qué es? ¿En qué se parece a Arduino y en qué es diferente?
 - b) Tarjetas - Electron
 - c) Inicio de sesión en <https://www.particle.io/> || <https://login.particle.io/login>
- 7) Configuración inicial de un electrón en <https://www.particle.io/start>
- 8) Recorrido por la consola
 - a) Dispositivos



- b) Sim
- c) Eventos
- d) IDE
- 9) Escritura y carga de primer código - Blink con led integrado
- 10) Práctica con push-button
 - a) Lectura digital
 - b) Interrupciones
- 11) Práctica con fotoresistencia
- 12) Recorrido por referencia en documentación
- 13) Práctica con sensor ultrasónico de distancia MB7383
- 14) Práctica publicación de eventos
- 15) Práctica con sensor DHT
- 16) Práctica con pantalla LCD I2C
- 17) Particle CLI <https://docs.particle.io/tutorials/developer-tools/cli/>
 - a) Instalación
 - b) Actualización de firmware
 - c) Carga de código por USB-Serial

8.5.1.2. Instructores

El Curso Taller fue impartido por:

1. Ing Antonio Marcel Díaz García
2. Ing. Saúl Artemio García Duque
3. M en I. Rodrigo Ulises Santos Tellez

8.5.1.3. Participantes

El Curso Taller fue impartido a los siguientes tecnólogos:

1. M. en I. Federico Joaquin Ochoa Alvarez
2. Dr. Mauricio de Jesús Escalante Estrada
3. M. en I. Juan Fco. Gómez Martínez
4. Dr. Gueorguiev Tzatchkov Velitchko
5. M. en I. José Javier Sánchez Chávez
6. M. en I. Jorge Luis Izurieta Dávila

La lista de asistencia se presenta en la Ilustración 8.18 y la Ilustración 8.19 muestra a los participantes del curso.

LISTA DE ASISTENCIA

CURSO DE PROGRAMACIÓN DE SENSORES PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

12 DE DICIEMBRE DE 2019.

NOMBRE	CARGO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
Federico Joaquín Ochoa Álvarez	Tecnólogo del Agua	fa.ochoa@tlaloc.imta.mx	Fub
Mauricio de Jesús Escalante Estrada	Tecnólogo del Agua	mescalante@tlaloc.imta.mx	F
Juan Fco. Gómez Martínez	Tecnólogo del Agua	juanfco.imta@tlaloc.imta.mx	Juan Fco. Gómez Martínez
Velitchko G. Tzetchikov	Tecnólogo del Agua	velitchko@tlaloc.imta.mx	BT
JAVIER SANCHEZ CHAVEZ	Tecnólogo - Agua	jisanche@tlaloc.imta.mx	JCH
Jorge Iván de J	Tecnólogo del Agua	ivord@tlaloc.imta.mx	JIV

Ilustración 8.18 Lista de asistencia al curso

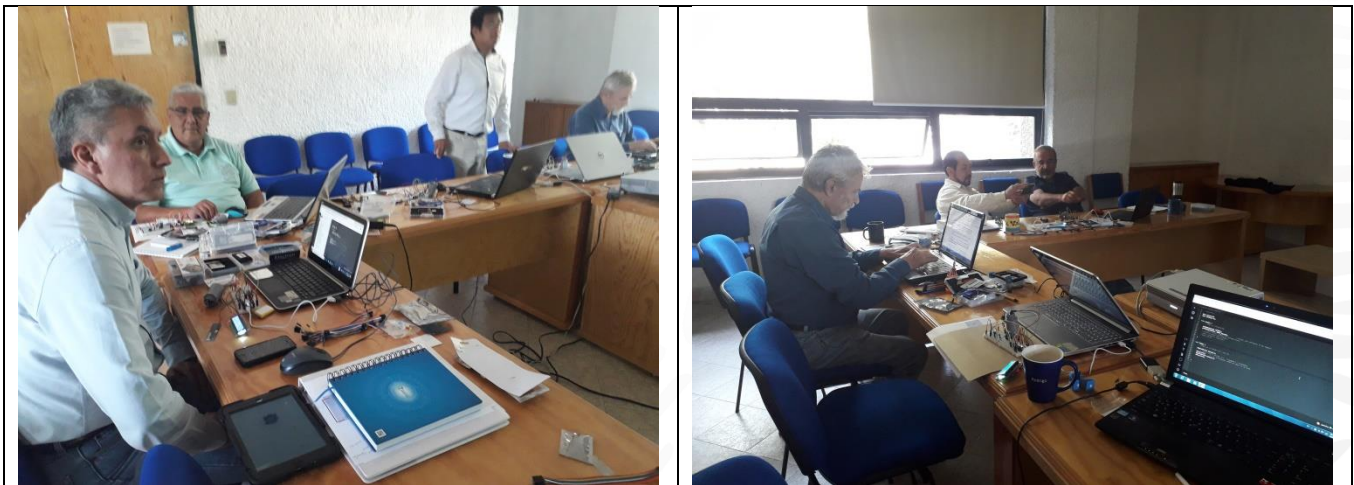


Ilustración 8.19 Participantes del curso

8.5.2. Formación de estudiantes

8.5.2.1. Prácticas profesionales de bachillerato

En el marco del proyecto se recibieron a tres estudiantes del Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios 166 “Pablo Torres Burgos”, que desarrollaron estudios de programación e instrumentación de sistemas hidráulicos y que les permitieron aprender de estos sistemas de instrumentación, a través de los cuales presentaron un proyecto denominado:

Instrumentación y automatización de una conducción de agua potable

Objetivos:

- Diseñar y construir un modelo físico para experimentación
- instrumentar 3 parámetros hidráulicos para la operación y control de la conducción
- programar algoritmos para la operación de válvulas piezas especiales

Participantes:

- Jesús Bahena Guadarrama
- Adolfo Ángel Nájera Jaimes
- Mauricio Yavé Rodríguez Senoya

En este proyecto los estudiantes aprendieron a elaborar figuras isométricas en la herramienta llamada AutoCAD, tanto como sus principios básicos y comandos principales, también aprendimos a crear figuras 3D en la misma para posteriormente elaborar unos modelos físicos a escala en una impresora 3D para así poderlos utilizar en el proyecto.

Posteriormente ensamblaron e instrumentaron una conducción a escala para poder desarrollar los circuitos electrónicos que operan el sistema.

La Ilustración 8.20 muestra imágenes del desarrollo del proyecto y la Ilustración 8.21 presenta un cartel ilustrativo desarrollado por los estudiantes.

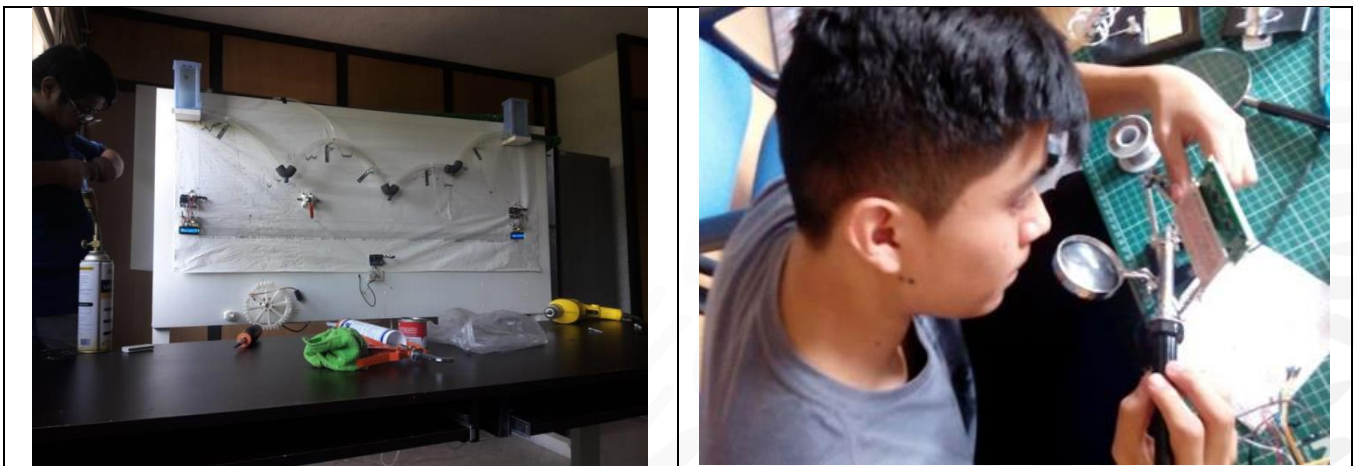


Ilustración 8.20 Modelo a escala de la conducción e integración de los circuitos electrónicos

 		
Proyecto	Instrumentación y automatización de una conducción de agua potable	
Objetivo	Generar mecanismos para la operación, control y protección de una conducción de agua potable	
Plano	Prototipos de los tanques del Sistema Cutzamala	
Dirección de proyecto	Rodrigo Ulises Santos Tellez	
Diseño	Mauricio Rodríguez Sendoya, Adolfo Najera Jaimes, Jesús Bahena Guadarrama	
Impresión 3D	Fidel Rafael Gómez Mendoza	
Fecha	04/06/2019	
Objetivo de la impresión	Realizar la impresión de los prototipos para experimentar los desbordes de agua en tanques	

Se realiza un modelo físico de una conducción de agua potable, la cual conecta dos tanques. La conducción de 0.0254 metros de diámetro representa una tubería real de 2.54 metros de diámetro y conduce un caudal de 12 m³/s.

A través de tabletas de control se pretende instrumentar un sistema que permita controlar por nivel el gasto conducido a los tanque de forma automática para el sistema, ante la ocurrencia de una situación fuera de lo convencional y, al mismo tiempo, permita el desfogue y llenado de la conducción.

Para la construcción del modelo físico se usó una impresora 3D, la cual se programó con los diseños realizados con el software AutoCAD, y tienen como objetivo, simular los tanques a escala real.



Ilustración 8.21 Cartel informativo del proyecto realizado por estudiantes de bachillerato

Al término de su trabajo los estudiantes presentaron un informe con las siguientes conclusiones:

Una vez habiendo conseguido los resultados deseados, se puede concluir que el trabajo realizado por el equipo fue emprender un nuevo camino de aprendizaje, ya que desconocíamos el uso de las herramientas, y en casos desconocíamos la existencia de las mismas, herramientas que sin saber su uso no podrían haberse obtenido los resultados esperados, el trabajar considerando que el sistema el cual se pretendió automatizar es considerado como una de las obras de ingeniería civil más grandes en el mundo, algo de esa magnitud es tomado con mucho cuidado, se espera que con los resultados obtenidos a través de las pruebas se consideren para algo más, el proceso de aprendizaje fue enriquecedor y brindó experiencia para resolver los problemas que surgieron durante el proceso además que se pudo observar la importancia de un sistema de agua. Se realizó la introducción de la tecnología al sistema, con el fin de tener un mejor control del agua, previniendo el desperdicio de agua y desastres. Durante el proceso hubo problemas y errores, algunos requirieron días para ser resueltos satisfactoriamente, sin embargo, hubo algunos que se resolvieron en un periodo de tiempo corto, nuestros objetivos se cumplieron, pero no creo que sean los últimos, a futuro habrá la necesidad de cambiar y modificar, ya



que con el paso del tiempo la tecnología se vuelve obsoleta, tal vez deba de realizarse una actualización a futuro. Se necesitó de material para poder cumplir los objetivos, el cual fue proporcionado y se logró avanzar. Se hace la observación de que el equipo de trabajo fue dirigido por el Profesor Rodrigo Ulises Santos Tellez, el cual sin duda logro resolver dudas, así como dirigir todo de una gran manera, demostrando su capacidad de enseñar y mostrar el camino. Sin más que expresar, se espera que este proyecto sea de mucha utilidad para la obra sobre la cual se trabajó y tal vez, porque no, a futuras obras (Rodríguez-Sendoya, Bahena-Guadarrama, & Najera-Jaimes, 2019).

8.5.2.2. Prácticas profesionales de licenciatura

Se recibió a un estudiante de licenciatura del Instituto Tecnológico de Tapachula, que desarrolló estudios de programación e instrumentación de parámetros climatológicos y que le permitió aprender de estos sistemas de instrumentación, a través de los cuales presentó un proyecto denominado:

Sistema de Alerta Preventiva Ante la Ocurrencia de Inundaciones Causadas por Desbordamiento de Canales en Zonas Urbanas

Objetivo general

Generar un sistema de alerta preventiva ante la inminencia de un desbordamiento del cauce del río Yautepec para las poblaciones cercanas o en zonas de riesgo por inundación, a través de una red de sensores de nivel instalados en puntos estratégicos del cauce, la medición de la precipitación en la cuenca de aporte y el pronóstico del comportamiento de la misma, que permita a las autoridades, cuerpos de emergencia y población en general conocer en tiempo real, a través de una aplicación para Smartphone, el comportamiento del nivel en dicho cauce que pudieran causar afectaciones a la comunidad y poner en riesgo la vida de los habitantes.

Objetivos específicos

- Implementar sistemas de medición de niveles en tres puntos representativos de un cauce.
- Sistema de almacenamiento y transmisión de datos de niveles en el cauce instrumentado
- Sistema de almacenamiento y transmisión de datos de condiciones meteorológicas
- Sistema de recepción y procesamiento de información de los niveles en el cauce y los datos de precipitación en la cuenca del cauce.

Participantes:

- Eddy Francisco Hernández Briones

En este proyecto desarrolló una investigación completa para el análisis hidrológico de la cuenca del río Yautepec, apoyo en el desarrollo de los sistemas de monitoreo de lluvia y niveles en el cauce y en coordinación con otros estudiantes desarrolló un pluviómetro

instrumentado. La Ilustración 8.24 muestra imágenes del desarrollo del proyecto desarrollado por los estudiantes y la Ilustración 8.23 presenta un cartel ilustrativo desarrollado por los estudiantes.

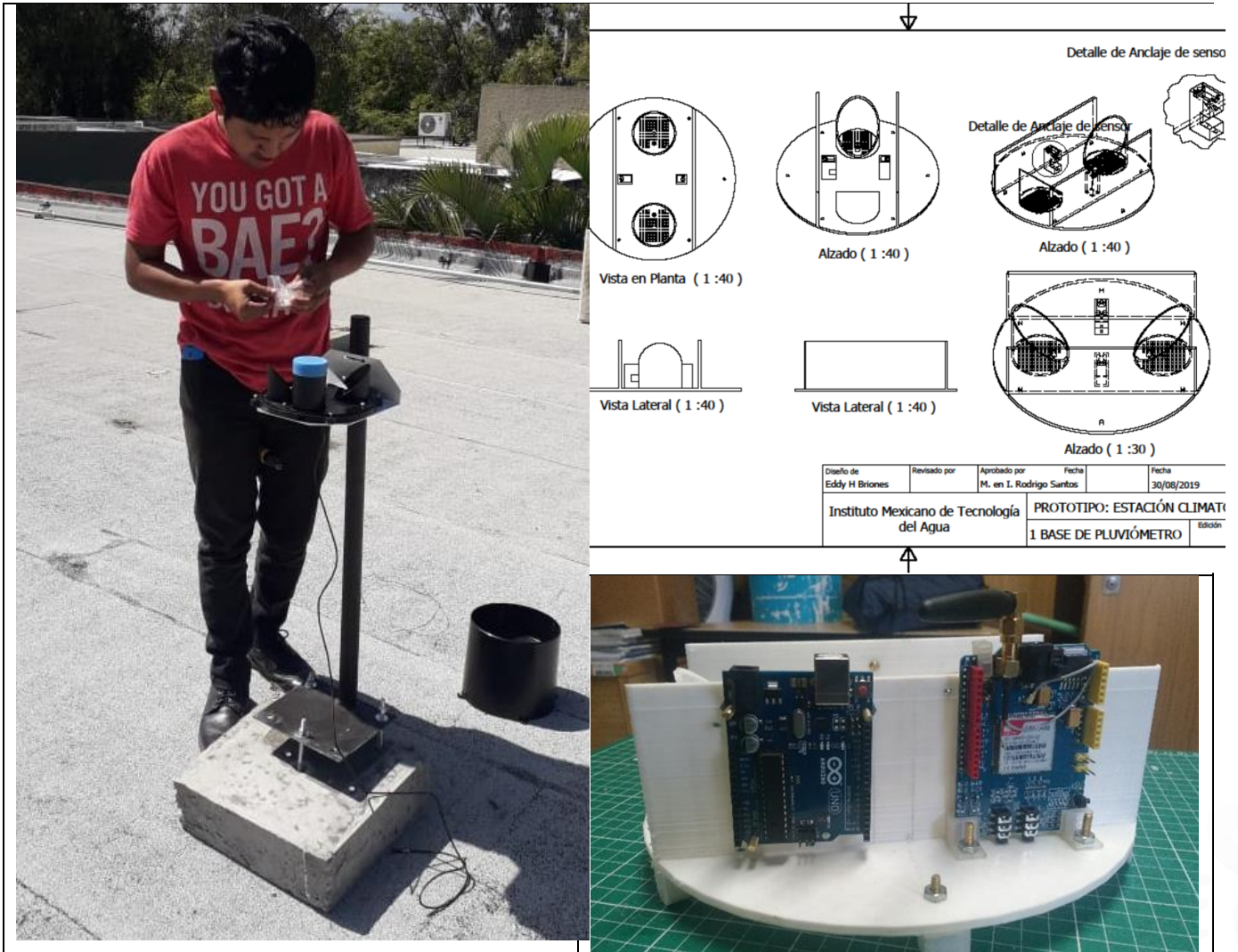


Ilustración 8.22 Trabajos realizados por el estudiante

 SEMARNAT SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES		 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA		Coordinación de Hidráulica Hidráulica Urbana			
Proyecto		Sistema de alerta preventiva ante la ocurrencia de inundaciones causadas por desbordamiento de canales en zonas urbanas					
Objetivo	Generar un sistema de alerta preventiva ante la ocurrencia de un desbordamiento en cauces para zonas urbanas						
Plano	Prototipos de pluviómetros para instrumentación de estaciones Meteorológicas						
Dirección de proyecto	M.I. Rodrigo Ulises Santos Tellez						
Diseño	Eddy Francisco Hernández Briones						
Impresión 3D	Fidel Rafael Gómez Mendoza						
Fecha	24/09/2019						
Objetivo de la impresión	Realizar la impresión de prototipos de pluviómetro para la instrumentación y equipamiento de las estaciones meteorológicas						
Descripción							
Desarrollo de un pluviómetro de balancín que permite conocer la cantidad de lluvia que se presenta en una zona determinada, provisto de mecanismos autónomos que permiten que la estación sea capaz de almacenar y transmitir la información en tiempo real para su análisis y tratamiento.							
Para la construcción del modelo digital se utilizó el software Autodesk Inventor Professional. Para la realización del modelo físico (prototipo), se utilizó una impresora 3D.							
El prototipo de pluviómetro consta de 3 piezas principales: base, balancín y un captador normalizado que en conjunto permiten cuantificar la lámina de lluvia.							
Fotos del modelo							
							
Modelo digital en Autodesk Inventor Professional		Modelo digital en Autodesk Inventor Professional (Tipo 1)		Modelo digital en Autodesk Inventor Professional (Tipo 2)			
							
Prototipo impreso		Prototipo impreso (Tipo 1)		Prototipo impreso (Tipo 2)			

Ilustración 8.23 Cartel informativo del proyecto realizado por estudiantes de licenciatura

Al término de su trabajo el estudiante presentó un informe con las siguientes conclusiones:

El proyecto me permitió conocer de manera aplicada la importancia acerca del comportamiento de un cauce y su cuenca de aporte, así como las implicaciones que trae consigo su estudio, lo que considero de vital importancia debido a la interacción que como población se tiene en el medio ambiente así como la necesidad de encontrar un equilibrio para con la naturaleza.

Si bien la población se encuentra en constante crecimiento demográfico, que demanda cada vez mayor extensión territorial, existe un equilibrio natural al cual debemos ser conscientes que como sociedad debemos poder emplazarnos, por lo que se requiere información acerca del medio ambiente para una adecuada planeación de estrategias de crecimiento.

Por lo anterior, considero que conocer el comportamiento hidrológico de una cuenca nos permitirá establecer estrategias de control y prevención ante la ocurrencia de un evento que influya de forma directa en la cuenca y/o en su cauce.



Los avances tecnológicos en la actualidad nos ofrecen cada vez más de forma continua la oportunidad de innovar en la búsqueda de información y tratamiento de datos, por lo que su aprovechamiento no debe de pasar a desapercibido, buscando cada vez más la simplicidad de manejo con el propósito de poder obtener un desarrollo de la población de forma estratégica (Hernández-Briones, 2019).

Complementariamente, se recibieron a dos estudiantes de licenciatura de la Universidad Politécnica del Estado de Morelos, que desarrollaron estudios de programación e instrumentación de parámetros climatológicos y que les permitieron aprender de estos sistemas de instrumentación, a través de los cuales presentaron un proyecto denominado:

Diseño, Construcción y Programación de Sensor de Temperatura con Transmisión y Almacenamiento de Datos en Tiempo Real a un Dispositivo Portátil

Objetivo general

Diseñar un sensor de temperatura y programar para transmitir y almacenar datos en tiempo real a un dispositivo portátil para complementar una estación de prevención de inundaciones.

Objetivos específicos

- Conocer y aprender el sistema de funcionamiento la placa de programación Arduino.
- Conocer y aprender el sistema de funcionamiento del programa de diseño Autodesk Inventor.
- Diseñar el prototipo del sensor.
- Construir el prototipo.
- Llevar a cabo pruebas de funcionamiento del dispositivo.

Participantes:

- Alexis Antonio Ramos Pacheco
- Andrés David Velázquez Delgado

En este proyecto los estudiantes aprendieron a elaborar figuras isométricas en la herramienta llamada Inventor, tanto como sus principios básicos y comandos principales, también aprendimos a crear figuras 3D en la misma para posteriormente elaborar unos modelos físicos a escala en una impresora 3D para así poderlos utilizar en el proyecto.

Se desarrollaron dispositivos de medición y transmisión de parámetros climatológicos, tales como temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección de viento.

La Ilustración 8.24 muestra imágenes del desarrollo del proyecto desarrollado por los estudiantes.

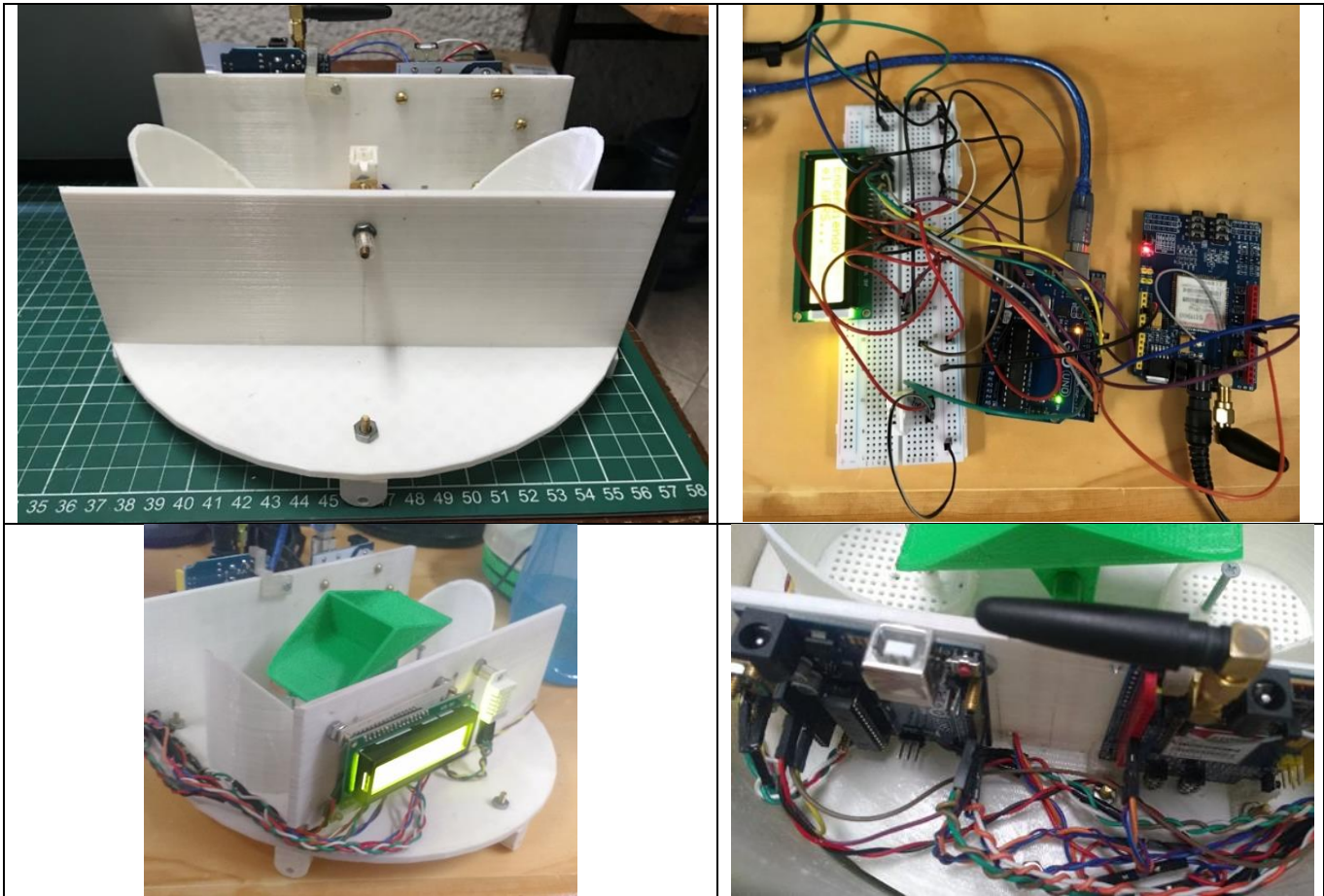


Ilustración 8.24 Prototipo de sistema e integración de los circuitos electrónicos

Al término de su trabajo los estudiantes presentaron un informe con las siguientes conclusiones:

Haber llevado el proyecto a cabo, tanto de manera teórica como práctica trae consigo ventajas aplicables no solamente para las organizaciones públicas y privadas, sino también para la población en general, destacando que las inundaciones pueden llegar a ser catastróficas para los habitantes de las zonas que sean afectadas por el desbordamiento de canales y con la aplicación y posible optimización de este dispositivo se pueden tomar medidas preventivas, obteniendo de esta manera un beneficio tanto económico como de seguridad para los habitantes de las zonas de riesgo.

Por otra parte, un sensor de temperatura además de ser implementado en prevención de inundaciones, potencialmente se podría aplicar en el campo Industrial, específicamente para medir el calor generado en las instalaciones de una empresa durante un proceso productivo, o bien para llevar un registro de las temperaturas en una área determinada, lo que proporcionaría datos para llevar a cabo un estudio de seguridad e higiene.



Lo anterior, para desarrollar estaciones de trabajo más ergonómicas y confortables para poder implementar una regulación del clima interno de una planta de producción, lo anterior con el fin de incrementar la productividad y eficiencia de los trabajadores, así como también cumplir con las disposiciones legales requeridas según el tipo de empresa.

Por otro lado, una aplicación más para el sensor de temperatura es en el transporte de alimentos o manipulación de productos químicos; en donde se requiere el control de la temperatura y/o humedad para trabajar de una manera óptima con ellos debido a su estricto de determinado calor o ausencia del mismo para mantener los componentes en buenas condiciones.

Finalmente, contar con un sensor de temperatura automatizado aporta en gran medida una agilización de toma de datos que por ende, lleva a la reducción de costos, al utilizar menos tiempo del requerido, así como un registro más rápido en comparación a la toma de mediciones de forma manual (Ramos-Pacheco & Velázquez-Delgado, 2019).

9. Conclusiones

Todo gran proyecto de investigación y desarrollo tecnológico se construye partiendo de un problema, el cual requiere solución y en la búsqueda de esta solución encontramos pequeños problemas asociados que de forma directa o indirecta se van solucionando sobre la marcha. Con la culminación de este proyecto se cierra un ciclo que inicio en 2015 con la implementación del programa IMTA Verde, el cual tuvo como objetivo diseñar, probar y validar una metodología para implementar en las instituciones públicas de los tres órdenes de gobierno, con la finalidad de educar y hacer responsables a los usuarios del agua en instituciones públicas. Derivado de este proyecto se presentó un plan de acciones enfocadas a la adecuación y mejoramiento del uso del agua en el instituto, estas las cuales se destacan:

- Recopilar información sobre los hábitos de consumo de agua del personal que labora en el instituto
- Generar un folleto de cultura del agua con información sobre el uso del agua, instalaciones y propuestas para utilizar el agua responsable dentro de la institución
- Establecer políticas de mantenimiento para la infraestructura hidráulica
- Proyecto de sustitución de la red de distribución, considerando telemetría
- Crear y digitalizar planos hidráulicos y aquellos en los que muestran zonas de riego automático, manual y sin riego en el IMTA
- Realizar una investigación en la que se defina de manera comparativa en el riego entre plantas nativas y adoptadas
- Verificar el estado físico de las cisternas y evaluar la calidad del agua
- Instalar bebederos
- Llevar a cabo reuniones con los responsables de las coordinaciones y subcoordinaciones con el objeto de establecer un mapa de responsabilidades en la operación de las instalaciones hidráulicas
- Definir la posibilidad de instalar calentadores solares en las instalaciones del centro de capacitación
- Diseñar un programa de reúso de agua tratada
- Verificar los consumos y pagos de energía eléctrica por bombeo y hacer un comparativo.

A lo largo de tres etapas consecutivas en el marco de IMTA Verde y de otros proyectos afines, se han cumplido prácticamente todos estos objetivos, algunos de ellos se han adaptado en función de las condiciones presentadas y otros se han ampliado en sus alcances.

En estos tiempos de cambio, debemos cuestionarnos la razón de nuestro existir, el IMTA como centro público de investigación del agua busca aportar herramientas para afrontar los retos asociados con el manejo de este primordial recurso; es por ello que se desarrolla y la línea de trabajo es muy clara, o al menos debería serlo y el proyecto que se presenta desde su creación buscó cumplir con esta premisa.



Con la implementación de un sistema de alerta preventiva ante la inminencia de un desbordamiento en cauces para zonas urbanas que, a través de una red de sensores de nivel instalados en puntos estratégicos del cauce, la medición de la precipitación en la cuenca de aporte, permite llevar a la población las experiencias y la tecnología desarrollada por el personal del IMTA, más aún, el desarrollo del proyecto ha permitido el acercamiento del instituto con la comunidad en la que habita y crear lazos de cooperación con las autoridades locales.

También el desarrollo de este sistema ha permitido la colaboración de cuatro coordinaciones: Hidráulica, que ha generado el sistema de medición, almacenamiento y transmisión de información; Hidrología y Desarrollo profesional que en conjunto han desarrollado las aplicaciones para dispositivos móviles que permiten tener acceso a los datos en tiempo real; y Calidad del Agua, que a través de su propio proyecto ha ampliado los alcances al monitoreo de parámetros de calidad del agua.

Si bien es cierto que la medición y transmisión de parámetros hidráulicos, hidrometeorológicos y de calidad del agua no es un tema nuevo y de cierta forma está ampliamente desarrollado y se pueden encontrar diversos sistemas comerciales que realizan esta labor, también es cierto que en la actualidad estos equipos comerciales tienen costos muy elevados, al ser equipos de importación también se encarece su operación y mantenimiento, por lo que no son muy atractivos para los usuarios mexicanos.

Por estas razones el que el IMTA, como un ente público, genere alternativas tecnológicas de bajo costo de instalación, operación y mantenimiento, permite poner al alcance de las autoridades, cuerpos de emergencia y población en general herramientas tecnológicas para prevenir afectaciones a la comunidad y poner en riesgo la vida de los habitantes.

El desarrollo del presente proyecto ha permitido cumplir con los objetivos del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua:

- Contribuir a la gestión sustentable del agua a través del conocimiento, la tecnología, la formación de recursos humanos y la innovación.
- Incorporar al sector hídrico en la sociedad del conocimiento.
- Crear un alto valor agregado para las instituciones del sector hídrico mediante el conocimiento, la creación y adaptación de tecnologías y el suministro de servicios tecnológicos altamente especializados.
- Impulsar el desarrollo de la ciencia y la tecnología del agua, en especial mediante la formación de personal altamente capacitado a nivel especialización y posgrado.

Una vez puesto en marcha el sistema se realizará un seguimiento a su funcionamiento y previo a la temporada de lluvias se realizará una campaña de difusión de la aplicación en la comunidad para que los usuarios lo descarguen en sus equipos móviles y puedan ser notificados del comportamiento del cauce.

10. Bibliografía

Aparicio, F. (1997). Fundamentos de hidrología de superficie. México: LIMUSA SA DE C.V.

Arjunphp, (2017). How to install Slim Framework 3. Página web consultada de <https://arjunphp.com/install-slim-framework-3/> el día 2 de octubre de 2019.

Blázquez-Ochando M. (2014). Modelo entidad-relación ER. Biblioteconomía y documentación. Universidad Complutense de Madrid. Página Web consultada de <http://ccdoc-basesdedatos.blogspot.com/2013/02/modelo-entidad-relacion-er.html> el día 4 de octubre de 2019.

CENAPRED. (2010). Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la república mexicana de 2000-2010. Recuperado el 02 de septiembre de 2019, de https://datos.gob.mx/busca/dataset/peligro-por-inundaciones-a-nivel-municipal/resource/a9164694-f4fb-4485-a193-97dded26ce14?inner_span=True

CONAGUA. (2010). Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Morelos. CDMX: CONAGUA.

CONAGUA. (2013). Estudio de inundaciones fluviales y mapas de peligro para el atlas nacional de riesgos por inundaciones. Recuperado el 28 de agosto de 2019, de <http://obum.zmcuernavaca.morelos.gob.mx/metadata/morelos/riesgos/informe%20Yautepec.pdf>

CONAGUA. (2015). Drenaje pluvial urbano. México: Secretaría de medio ambiente y recursos naturales.

Developers Google. Descripción general de AndroidX. Página Web consultada de <https://developer.android.com/jetpack/androidx?hl=ES> el día 29 de noviembre de 2019.

García-Mediavilla M., Garrido-Labrador J. L., Gómez-Chayán D. y Romero-Chila A. (2015). CentOS. Página web consultada de <https://mirror.jkanetwork.com/Documents/University%20works/Investigaci%C3%B3n%20CentOS.pdf> el día 4 de octubre de 2019

Gómez-Montoya C. E., Candela-Urbe C. A. y Sepúlveda-Rodríguez L. E. (2013). Seguridad en la configuración del servidor Web Apache. INGE CUC, vol. 9, no 2, pp. 31-38. Artículo de investigación científica. Universidad del Quindío, Colombia. Página Web consultada de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4868982.pdf> el día 5 de octubre de 2019.

Hernández-Briones, E. (2019). Sistema de Alerta Preventiva Ante la Ocurrencia de Inundaciones Causadas por Desbordamiento de Canales en Zonas Urbanas. Tapachula, Chiapas: Instituto Tecnológico de Tapachula.

IBM, (2012). El desarrollo de aplicaciones móviles nativas, Web o híbridas. IBM software, Thought Leadership White Paper, 12 p.

IMTA. (16 de julio de 2001). Estaciones climatológicas ERIC. Recuperado el 25 de septiembre de 2019, de http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/estclimgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no

INAFED. (2010). SISTEMA NACIONAL DE INFORMACION MUNICIPAL, INFRAESTRUCTURA. Recuperado el 02 de SEPTIEMBRE de 2019, de <http://www.snim.rami.gob.mx/>

INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos.

La jornada. (30 de septiembre de 1998). Muerte, destrucción y caos por la lluvia. Obtenido de <https://www.jornada.com.mx/1998/09/30/estados.html>

La jornada Morelos, N. A. (05 de septiembre de 2003).

Oracle (24/05/2014). Oracle MySQL. Página Web consultada <https://downloads.mysql.com/docs/refman-5.0-es.pdf> consultada el 4 de octubre de 2019.

Pascagaza-Gutiérrez J. M. (2018). Desarrollo de un sistema de información para la gestión de los proyectos de responsabilidad social del programa de ingeniería de sistemas de la Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia. Página Web consultada de https://repository.ucatolica.edu.co/jspui/bitstream/10983/16047/1/Trabajo%20de%20grado_juan%20manuel_625353.pdf el día 1 de octubre de 2019.

PCEM. (14 de Febrero de 2013). Protección civil estatal. Obtenido de www.proteccioncivilmorelos.com.mx

Peñas-Jaramillo J. y Reyero-Sainz L. (2012). JLOP (JSON LANGUAGE ARIENTED PROCESSING). Proyecto de sistemas informáticos. Facultad de informática. Universidad Complutense Madrid. Madrid, España. Página Web consultada de https://eprints.ucm.es/16693/1/Memoria_JLOPfinal.pdf el día 3 de octubre de 2019.

Ramos-Pacheco, A., & Velázquez-Delgado, A. (2019). Diseño, construcción y programación de sensor de temperatura cons transmisión y almacenamiento de datos en tiempo real a un dispositivo portatil . Jiutepec, Morelos: UPEMOR.

Rodríguez-Sendoya, M., Bahena-Guadarrama, J., & Najera-Jaimes, A. (2019). Instrumentación y automatización de una conducción de agua potable. Jiutepec, Morelos.

SCT. (10 de Diciembre de 2015). Isoyetas de intensidad- Duración- Periodo de retorno para la República Mexicana. Recuperado el 06 de noviembre de 2019, de <http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/isoyetas/>

SEDESOL. (2012). Atlas de riesgo Naturales de Yautepec, Morelos. CDMX: P&AA.



SEIARN. (octubre de 10 de 2019). Sistema Estatal de Información Ambiental y de Recursos Naturales, SEIARN. Obtenido de http://obum.zmcuernavaca.morelos.gob.mx/metadata/morelos/riesgos/oes_riesgos.htm

SEMARNAT. (2012). Programa hídrico regional visión 2030. México, DF: SEMARNAT.

SMN. (s.f.). Información estadística climatológicas . Recuperado el 25 de Septiembre de 2019, de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

SNM. (s.f). Servicio Meteorológico nacional. Recuperado el 30 de agosto de 2019, de normas climatológicas 1981-2010: <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mor>

Vázquez-Mariño, C. (2008). Programación en PHP5. Nivel básico. Ferrol. Página Web consultada de http://administraciondesistemas.pbworks.com/f/Manual_PHP5_Basico.pdf el día 2 de octubre de 2019.

