



# MÉXICO

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

## CONAGUA

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA  
GERENCIA DE AGUAS SUPERFICIALES E  
INGENIERÍA DE RÍOS

PROGRAMAS CONTRA CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS  
POR ORGANISMOS DE CUENCA Y PARA LAS PRINCIPALES  
CIUDADES DEL PAÍS (ETAPA 1)  
SGT-GASIR-DF-15-OP-01-RF-AD-CC

PROGRAMA CONTRA CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS  
PARA LA ZONA URBANA DE ACOLMAN, ESTADO DE  
MÉXICO.  
REGIÓN HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA XIII, AGUAS  
DEL VALLE DE MÉXICO

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Programa Contra Contingencias Hidráulicas  
para la Zona Urbana de Acolman, Estado de  
México

Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas  
del Valle de México

## Contenido

1.	Introducción .....	1
2.	Gestión integrada de crecidas .....	2
2.1	La perspectiva a largo plazo .....	3
2.2	Políticas y estrategias de gestión integrada de crecidas .....	3
2.3	Declaratoria de Desastre Natural por fenómenos hidrometeorológicos.....	6
2.4	Matriz de análisis de la ley estatal de protección civil.....	8
2.5	Instituciones involucradas en la gestión de crecidas .....	10
2.5.1	Atribuciones de las instituciones involucradas con la atención a fenómenos hidrometeorológicos.....	12
3.	Caracterización de la cuenca y de las zonas inundables .....	18
3.1	Identificación de zonas potencialmente inundables.....	19
3.2	Socioeconómica.....	20
3.3	Fisiografía, meteorología e hidrología.....	20
3.4	Características geomorfológicas de los cauces y planicies de inundación .....	34
3.5	Descripción de inundaciones históricas relevantes .....	38
4	Diagnóstico de las zonas inundables.....	41
4.1	Monitoreo y vigilancia de variables hidrometeorológicas .....	41
4.2	Pronóstico de avenidas y sistemas de alerta temprana .....	42
4.3	Funcionalidad de las acciones estructurales y no estructurales existentes.....	43
4.4	Identificación de los actores sociales involucrados en la gestión de crecidas ....	44
4.5	Identificación de la vulnerabilidad a las inundaciones.....	45
5	Evaluación de riesgos de inundación .....	48
5.1	Estimación de caudales y tormentas de entrada al sistema .....	48
5.1.1	Cálculo de la precipitación media de diseño.....	48
5.1.2	Construcción de tormentas hipotéticas .....	52
5.1.3	Modelo lluvia-escurrimiento .....	53
5.1.4	Resultados.....	54
5.2	Modelo hidráulico .....	57

5.2.1	Condiciones de frontera.....	57
5.2.2	Procesamiento del modelo digital de elevaciones .....	58
5.2.3	Infraestructura.....	60
5.3	Simulación en las condiciones actuales .....	60
5.4	Resultados.....	63
5.5	Análisis de los resultados .....	68
5.6	Elaboración del mapa de severidad.....	77
GLOSARIO .....		85
ANEXOS.....		91
REFERENCIAS.....		94

## Lista de figuras

Figura 2.1 Gestión integrada de crecidas.....	2
Figura 3.1 Ubicación de la zona de estudio .....	18
Figura 3.2 Zonas potencialmente inundables.....	19
Figura 3.3 Zona urbana de Acolman.....	20
Figura 3.4 Subcuencas de aportación .....	21
Figura 3.5 Relieve.....	22
Figura 3.6 Uso de suelo.....	24
Figura 3.7 Edafología.....	27
Figura 3.8 Estaciones climatológicas.....	28
Figura 3.9 Oscilación de la precipitación mensual durante el año 2000.....	30
Figura 3.10 Estaciones climatológicas en la zona urbana de Acolman .....	31
Figura 3.11 EMA's.....	32
Figura 3.12 Ríos principales y estación hidrométrica.....	36
Figura 3.13 Variación del número de escurrimiento por subcuenca.....	38
Figura 3.14 Zonas inundables de la ciudad de Acolman identificadas en la visita de campo .....	40
Figura 4.1 Densidad de estaciones climatológicas.....	42
Figura 4.2 Grados de marginación en la zona urbana de Acolman, Estado de México .....	47
Figura 5.1 Interfaz del programa VELL elaborado por el CENAPRED .....	51
Figura 5.2 Hietograma adimensional para distribución de la precipitación de diseño .....	53
Figura 5.3 Esquema del modelo hidrológico en la plataforma HEC-HMS.....	54
Figura 5.4 Hidrogramas de Entrada 1 (subcuencas 1, 2 y 4) .....	55
Figura 5.5 Hidrogramas de Entrada 2 (subcuenca 3) .....	55
Figura 5.6 Hidrogramas de Entrada 3 (subcuenca 5) .....	56
Figura 5.7 Hidrogramas de salida.....	56
• Figura 5.8 Vectores que delimitan el ancho de los ríos.....	59
Figura 5.9 Malla final obtenida en el modelo IBER, para una zona del Río Chico.....	60

Figura 5.10 Variación del coeficiente de rugosidad de Manning en la zona de Acolman .	62
Figura 5.11 Esquema del modelo hidráulico .....	63
Figura 5.12 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años .....	64
Figura 5.13 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años .....	64
Figura 5.14 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años .....	65
Figura 5.15 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años .....	65
Figura 5.16 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años .....	66
Figura 5.17 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años .....	66
Figura 5.18 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años .....	67
Figura 5.19 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años .....	67
Figura 5.20 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años.....	68
Figura 5.21 Zona de desbordamientos sobre el Río Chico (TR= 5 años) .....	69
Figura 5.22 Fotografía de obstáculos sobre el cauce del Río Chico .....	69
Figura 5.23 Pasos vehiculares sobre el cauce del Río Chico .....	70
Figura 5.24 Alcantarillas sobre el Río Chico cruce con la carretera México-Pirámides.....	70
Figura 5.25 Zona de desbordamientos sobre el Río Chico hacia el Río Grande (TR= 100 años) .....	71
Figura 5.26 Fotografía de la sección transversal del Río Grande o San Juan.....	71
Figura 5.27 Zona de desbordamientos sobre el Río Grande y encharcamientos por lluvia (TR= 100 años).....	72
Figura 5.28 Ex-Convento de Acolman ubicado en una zona baja .....	73
Figura 5.29 Vista del cauce del Río Grande o San Juan a la altura del puente Acolman...	73
Figura 5.30 Zona de desbordamientos sobre el Canal derecho y encharcamientos por lluvia (TR= 50 años) .....	74
Figura 5.31 Inundación en colonia La Laguna, calle Fresno (TR= 100 años) .....	75

Figura 5.32 Zona de desbordamientos sobre el Canal derecho y encharcamientos por lluvia (TR=100 años) .....	75
Figura 5.33 Terrenos agrícolas en la zona este de Acolman .....	76
Figura 5.34 Evolución de los tirantes en el Río Grande o San Juan a la salida de la zona urbana.....	76
Figura 5.35 Diagrama de Dórrigo .....	77
Figura 5.36 Código de colores para elaborar mapas de severidades.....	78
Figura 5.37 Envolverte de tirantes máximos .....	79
Figura 5.38 Envolverte de velocidades máximas .....	79
Figura 5.39 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años .....	79
Figura 5.40 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 2 años.....	80
Figura 5.41 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 5 años.....	81
Figura 5.42 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 10 años.....	81
Figura 5.43 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años.....	82
Figura 5.44 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años.....	82

## Lista de tablas

Tabla 2.1 Estrategias y opciones para la gestión de crecidas.....	5
Tabla 2.2 Matriz de análisis de la Ley de Protección Civil del Estado de México.....	9
Tabla 2.3 Ámbito de competencia de las instituciones involucradas .....	12
Tabla 3.1 Subcuencas.....	21
Tabla 3.2 Uso de suelo.....	25
Tabla 3.3 Edafología.....	27
Tabla 3.4 Estaciones climatológicas (* operando) .....	28
Tabla 3.5 Precipitación promedio mensual en milímetros.....	30
Tabla 3.6 Estación hidrométrica .....	34
Tabla 3.7 Descripción de los cuatro grupos de suelo .....	37
Tabla 3.8 Valores del número de escurrimiento N por subcuenca .....	37
Tabla 4.1 Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie, en km <sup>2</sup> por estación) .....	41
Tabla 4.2 Densidad de estaciones climatológicas en el área de estudio .....	41
Tabla 4.3 Dimensiones e indicadores del índice de marginación urbana por AGEB, 2010 .....	46
Tabla 4.4 Complemento del IMU.....	46
Tabla 4.5 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Acolman, Estado de México.....	47
Tabla 5.1 Distribución de estaciones pluviométricas con más de 20 años completos, en la República Mexicana .....	50
Tabla 5.2 Lluvia máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno.....	52
Tabla 5.3 Profundidades máximas alcanzadas a la salida del Río Grande o San Juan.....	77



## 1. Introducción

México está expuesto cotidianamente a episodios hidrometeorológicos severos, como huracanes, ciclones y precipitaciones intensas que, si bien contribuyen de manera positiva a incrementar el almacenamiento de agua de las presas y lagos, también provocan estragos en la población, la infraestructura, los servicios y los sistemas de producción.

El mayor impacto histórico y la propensión futura a inundaciones se concentra en 17 entidades federativas, que acumulan el 62% de la población nacional, entre las que se encuentran el Estado de México, el Distrito Federal, Veracruz, Tabasco y Chiapas (PNH, 2014-2018). No obstante, las inundaciones no se presentan sólo en las áreas con precipitaciones abundantes: también ocurren en zonas bajas, áreas urbanas e incluso en zonas áridas.

En la actualidad, la atención a inundaciones carece de acciones efectivas como la alerta oportuna sobre riesgos por fenómenos hidrometeorológicos extremos, el desarrollo de planes de prevención, la construcción de obras de protección, el mantenimiento de la infraestructura, y la coordinación interinstitucional, entre las más relevantes, lo que acentúa la vulnerabilidad de las poblaciones que habitan en condiciones de precariedad.

Dadas las condiciones actuales y con el fin de atender anticipadamente los impactos de la ocurrencia de estos eventos para minimizar los daños provocados por las inundaciones, en enero del 2013 el presidente de la república instruyó la puesta en marcha del Programa Nacional de Prevención contra Contingencias Hidráulicas (PRONACH) para proteger a la población, a sus bienes y a zonas productivas. En una primera etapa, la Conagua procedió a la formulación de programas de medidas de prevención y mitigación contra inundaciones para cada organismo de cuenca con una visión integral dentro de la Gestión Integrada de Crecidas (GIC). Bajo este mismo enfoque, este tercer año de actividades del Programa, el interés se centra en la atención a las zonas urbanas del país, en programas que contemplan la ejecución de acciones medioambientales, de planeación urbana, prevención, alerta temprana y protocolos de emergencia, elementos y estrategias necesarias para evitar la pérdida de vidas humanas ante la presencia de fenómenos hidrometeorológicos severos.

En este documento se presenta el *Programa Contra Contingencias Hidráulicas para la Zona Urbana de Acolman, Estado de México*, perteneciente a la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. Contiene la caracterización de la zona urbana, considerando los aspectos económicos, sociales y ambientales, el diagnóstico de la problemática existente, y un análisis de riesgo en el que se encuentra la población y zonas productivas. Finalmente se presenta una propuesta de acciones que ayuden a prevenir y mitigar los daños causados por inundaciones.

## 2. Gestión integrada de crecidas

La necesidad de mitigar los efectos de las inundaciones fue planteada desde el 2002 en el Plan de Aplicación de las Decisiones de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible –celebrada en Sudáfrica<sup>1</sup>– en la que la comunidad internacional se comprometió a adoptar un enfoque integrado e integrador para hacer frente a la gestión de riesgos y a la vulnerabilidad, incluidas la prevención, la atenuación, la preparación, la respuesta y la recuperación.

Posteriormente, en Hyogo, Japón<sup>2</sup> (2005) se definió un Marco de Acción con objetivos estratégicos hacia una integración más eficaz de las consideraciones sobre los riesgos de desastre en las políticas, los planes y los programas de desarrollo sostenible, en los que la prevención, la atenuación, la preparación y la reducción de la vulnerabilidad son nuevamente elementos centrales, al igual que la creación y el fortalecimiento de instituciones, de mecanismos y de capacidad a todos los niveles.

A últimas fechas, el marco de acción para la reducción de desastres post 2015 resultante de la Conferencia de Sendai, Japón<sup>3</sup> (2015) incorpora el compromiso para la reducción sustantiva de la mortalidad y una disminución de los damnificados y pérdidas económicas por desastres para el año 2030, así como un descenso de los daños de infraestructura crítica y servicios básicos, entre ellos la salud y la educación.

En materia de inundaciones, sigue siendo vigente el documento conceptual “Gestión Integrada de Crecidas” (GIC), No. 1047 en su edición 2009 que junto con el Programa Asociado de Gestión de crecidas (WMO – GWP), plantea que el problema de la gestión de inundaciones en forma aislada resulta necesariamente en un enfoque limitado y poco sistemático. Por ello, la GIC procura cambiar el paradigma del enfoque fragmentado tradicional y fomenta la utilización eficiente de los recursos de la cuenca fluvial como un todo, empleando estrategias para mantener o aumentar la productividad de las llanuras de inundación, al tiempo que se adoptan medidas de protección contra las pérdidas causadas por las inundaciones.

En ambos se contempla un enfoque participativo abierto, transparente, integrador y comunicativo, que alienta la participación de usuarios, los encargados de la planificación y las instancias normativas en todos los niveles. Un esfuerzo de este tipo requiere de la descentralización del proceso de la toma de decisiones y abarca amplias consultas con la población así como la participación de las partes interesadas en las actividades de planificación y aplicación.



Figura 2.1 Gestión integrada de crecidas

1 Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, 2002.

2 Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de los Desastres, 2005.

3 Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Reducción del Riesgo de Desastres, 2015.

## 2.1 La perspectiva a largo plazo

Diversas estimaciones coinciden en prever, hacia finales del siglo XXI, incrementos de la temperatura a nivel mundial de dos a cuatro grados centígrados. Entre los escenarios generados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), se espera que dicho aumento en la temperatura impacte de manera significativa el ciclo hidrológico, generando mayor variabilidad en patrones tradicionales de precipitación, humedad del suelo y escurrimiento –entre otras afectaciones– lo que dificultará la actividad de otros sectores económicos que dependen de la disponibilidad de los recursos hídricos, como la producción alimentaria, generación de energía y conservación ambiental, además del suministro de agua potable y saneamiento. Por tanto, los desastres, tanto en número como en sus consecuencias previsiblemente se incrementarán como resultado del cambio climático (Conagua, 2012).

Para encarar esta problemática, es indispensable entonces desarrollar estrategias de prevención y adaptación que consideren el agua como un eje toral en un enfoque multisectorial.

En el análisis de los desastres, se encuentra que los daños estimados como porcentajes del PIB son significativamente mayores en países subdesarrollados, lo que puede acentuarse de continuar la tendencia global a la concentración de la población en localidades urbanas. Al gestionar los actuales riesgos de las inundaciones y al planificar el futuro, se debe encontrar un equilibrio entre enfoques de sentido común, que minimizan los impactos mediante una mejor gestión urbana y el mantenimiento de la infraestructura para la mitigación de las inundaciones y enfoques con visión de futuro que anticipen y defiendan contra las futuras amenazas de inundaciones construyendo nueva infraestructura o redefiniendo radicalmente el entorno urbano.

La toma de decisiones sobre la priorización apropiada de los esfuerzos de gestión de las inundaciones requiere de una comprensión de los riesgos por inundación presentes y futuros (K, Jha, A. et al. 2012).

Como el riesgo de inundaciones evoluciona con el tiempo, los diseñadores de políticas públicas también deben explorar cómo las decisiones se modifican a la luz del clima cambiante. Así, los procesos de toma de decisiones deben incorporar información sobre los modelos utilizados para proyectar el cambio climático a distintas escalas y se deberá comprender las incertidumbres relacionadas con estos resultados.

## 2.2 Políticas y estrategias de gestión integrada de crecidas

El Documento del Programa Nacional Hídrico (PNH) 2013-2018 responde a la problemática actual y a la visión de largo plazo con la definición de seis objetivos orientados para avanzar en la solución de los desafíos identificados y en el logro de la sustentabilidad y la seguridad hídrica:

Objetivo 1. Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua

Objetivo 2. Incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones

Objetivo 3. Fortalecer el abastecimiento de agua y el acceso a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento

Objetivo 4. Incrementar las capacidades técnicas, científicas y tecnológicas del sector.

Objetivo 5. Asegurar el agua para el riego agrícola, energía, industria, turismo y otras actividades económicas y financieras de manera sustentable.

Objetivo 6. Consolidar la participación de México en el contexto internacional en materia de agua.

Particularmente los dos primeros contemplan estrategias y acciones que preparan a la sociedad mexicana a fin de que pueda afrontar en mejores condiciones los posibles efectos del cambio climático, tanto en aquellas zonas donde existe la probabilidad de disminución de los regímenes pluviales como en aquéllas donde se pueden intensificar los patrones de lluvia y provocar inundaciones catastróficas.

En esta visión, la GIC interviene de manera importante, promoviendo un enfoque integrado de gestión de los recursos suelo y agua de una cuenca fluvial en el marco de la GIRH, y tiene como finalidad maximizar los beneficios netos de las planicies de inundación y reducir al mínimo las pérdidas de vidas y de infraestructura causadas por los desastres derivados de las inundaciones.

Los elementos rectores de la GIC son:

- Gestión del ciclo hidrológico en su conjunto.
- Gestión integrada de la tierra y de los recursos hídricos.
- Gestión integrada de riesgos.
- Adopción de la mejor combinación de estrategias.
- Garantía de un enfoque participativo.

Los dos primeros elementos pueden agruparse en un solo concepto, *Gestión de la cuenca hidrológica*, en este elemento se propone tomar en cuenta lo siguiente:

- Dimensionar las crecidas (pequeñas, medianas e importantes).
- Identificar aspectos positivos de las crecidas. Es decir, usar las llanuras de inundación en la agricultura, acuacultura, recarga de acuíferos, etc.
- Gestionar todo tipo de crecidas y no sólo las que llegan a un nivel máximo para la aplicación de medidas de protección.
- Identificar zonas que se puedan sacrificar para almacenar agua con el fin de proteger áreas críticas.
- Gestionar crecidas en las ciudades, en donde se considere el suministro de agua potable, aguas residuales y el vertido residual, así como la evacuación de los escurrimientos superficiales.
- Considerar en los programas para inundaciones urbanas el control tanto de la cantidad de agua proveniente de las tormentas como la contaminación de las mismas.

El tercer elemento, Gestión integrada de riesgos, ofrece alternativas para evitar que un peligro se transforme en desastre. La gestión de riesgos de crecidas consiste en una

serie de medidas sistemáticas para un periodo de preparación, respuesta y recuperación y debe formar parte de la GIRH. Las medidas adoptadas dependen de las condiciones de peligro del entorno social, económico y físico. Los resultados de este proceso continuo de gestión de riesgos pueden ser divididos en:

- Medidas para disminuir el riesgo de desastres a largo plazo (prevención), eliminando o reduciendo sus causas como la exposición o el grado de vulnerabilidad. Las estrategias son tendientes a evitar que los desastres se produzcan.
- Medidas de preparación, hacen referencia a las actividades que tienen por objeto alistar a la sociedad y a sus instituciones para responder adecuadamente ante la eventualidad de que se presente un fenómeno capaz de desencadenar un desastre. Su objeto es asegurar una respuesta apropiada en caso de necesidad, incluyendo alertas tempranas oportunas y eficaces, así como evacuación temporal de la población y bienes de zonas amenazadas.
- Medidas de respuesta o atención de la emergencia, comprende la movilización social e institucional necesaria para salvar vidas y bienes una vez que el fenómeno ya se ha presentado. Incluye la recuperación de la comunidad después del desastre, con tareas de reconstrucción.

Las medidas adoptadas dependen de las condiciones de peligro del entorno social, económico y físico y se centran principalmente en reducir la vulnerabilidad.

El cuarto elemento, *Adopción de la mejor combinación de estrategias*, propone para la selección de estrategias o combinación de estrategias, considerar tres factores correlacionados: el clima, las características de la cuenca y las condiciones socioeconómicas de la zona (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Estrategias y opciones para la gestión de crecidas

Estrategia	Opciones
Reducir las inundaciones	Presas y embalses
	Diques, malecones y obras de contención
	Desviación de avenidas
	Ordenación de cuencas
	Mejoras a los canales
Reducir la vulnerabilidad a los daños	Regulación de las planicies de inundación
	Políticas de desarrollo y reaprovechamiento
	Diseño y ubicación de las instalaciones
	Normas para viviendas y construcciones
	Protección de elementos situados en zona inundable
Atenuar los efectos de las inundaciones	Predicción y alerta de crecidas
	Información y educación
	Preparación en caso de desastres
	Medidas de recuperación después de la inundación
Preservar los recursos naturales de las llanuras de inundación	Seguro contra inundaciones
	Determinación de zonas y regulación de las planicies de inundación

Fuente. Documento OMM-N°1047

El quinto elemento, *Garantía de un enfoque participativo*, recomienda tomar en cuenta lo siguiente:

- La población debe participar en todos los niveles de la toma de decisiones.
- Se debe alentar la participación de usuarios y responsables de la planificación y las instancias normativas de todos los niveles, bajo el siguiente enfoque:
  - Abierto, transparente, integrador y comunicativo.
  - Descentralización del proceso de la toma de decisiones y debe incluir la realización de amplias consultas con la población.
  - Colaboración de representantes de todos los ámbitos afectados, de las diferentes áreas geográficas de la cuenca fluvial (aguas arriba y aguas abajo).
- Definir objetivos y responsabilidades de todos los actores involucrados en la gestión de crecidas.
- Transformar las alertas en medidas preventivas.
- Participantes de todos los sectores, especializados en diversas disciplinas, deben colaborar en el proceso y llevar a cabo las tareas necesarias para apoyar la aplicación de los planes de atenuación de los efectos de los desastres y de la gestión de los mismos: con un enfoque de abajo-hacia arriba y de arriba-hacia abajo.
- Definir las fronteras geográficas y límites funcionales de todas las instituciones involucradas en la gestión de crecidas.
- Promover la coordinación y la cooperación por encima de las barreras funcionales y administrativas.

Bajo este contexto se formulan los Programas Contra Contingencias Hidráulicas para Zonas Urbanas, con el objetivo de plantear medidas preventivas tendientes a disminuir los daños provocados por las inundaciones en la ciudad. El ámbito urbano constituye la unidad de planeación en la que se evalúa el riesgo para identificar zonas potencialmente inundables, se propone el uso adecuado de llanuras de inundación, se evalúa y se consideran las mejores medidas para disminuir los daños (prevalenciando acciones no estructurales por encima de las estructurales), se incluyen a todos los actores involucrados en la gestión de las crecidas, definiendo fronteras geográficas y límites funcionales para evitar traslape de tareas antes, durante y después de que ocurra la inundación.

No obstante, para la aplicación efectiva del concepto de GIC en el ámbito urbano, es necesario disponer de un entorno propicio en términos de política, legislación e información; una clara definición de los papeles y las funciones institucionales; e instrumentos de gestión que permitan proceder de forma eficaz a la formulación de normas, seguimiento y cumplimiento de las leyes<sup>4</sup>.

### 2.3 Declaratoria de Desastre Natural por fenómenos hidrometeorológicos

En estado de emergencia por desastres naturales, los Gobiernos pueden verse obligados a utilizar fondos que habían sido previamente destinados a proyectos fundamentales de desarrollo económico, y esto, en el largo plazo, puede impactar negativamente el proceso de desarrollo y crecimiento económico de los países.

Los Gobiernos son cada vez más conscientes que el riesgo fiscal derivado de desastres naturales no puede seguir siendo ignorado. México se encuentra en la vanguardia de iniciativas encaminadas al desarrollo de un marco integral en gestión del riesgo de desastres, incluyendo el uso efectivo de mecanismos de financiamiento del riesgo y

---

<sup>4</sup> Gestión Integrada de Crecidas: Documento Conceptual, Organización Meteorológica Mundial, 2009

aseguramiento para manejar el riesgo fiscal derivado de los desastres. El Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) fue establecido por el Gobierno Federal de México en el marco de su estrategia de gestión integral del riesgo con el propósito de apoyar actividades de emergencia, recuperación y reconstrucción después de la ocurrencia de un desastre.

El FONDEN fue originalmente creado como un programa dentro del Ramo 23 del Presupuesto de Egresos de la Federación de 1996, y se hizo operacional en 1999 cuando se emitieron sus primeras Reglas de Operación. Los recursos del FONDEN originalmente se destinaban únicamente a la realización de actividades ex post de rehabilitación y reconstrucción de (i) infraestructura pública de los tres órdenes de gobierno - federal, estatal y municipal; (ii) vivienda de la población de bajos ingresos; y (iii) ciertos elementos del medio ambiente, tales como selvas, áreas naturales protegidas, ríos, y lagunas.

En la actualidad, el FONDEN está compuesto por dos instrumentos presupuestarios complementarios: el Programa FONDEN para la Reconstrucción y el Programa Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN), y sus respectivos fideicomisos. El instrumento original, y aún el más importante del FONDEN es el Programa FONDEN para la Reconstrucción. Sin embargo, en reconocimiento de la necesidad de promover el manejo proactivo del riesgo, el gobierno de México comenzó, a inicios de los años 2000, a asignar recursos específicamente destinados a actividades preventivas. Aunque los recursos para la prevención siguen siendo significativamente menores que para la reconstrucción, el gobierno Mexicano continúa dirigiendo esfuerzos a la transición de un enfoque del financiamiento del riesgo post-desastre a la gestión del riesgo financiero previo a la ocurrencia del desastre. La ejecución de los recursos financieros de los 2 instrumentos del FONDEN (de reconstrucción y de prevención) se realiza a través del Fideicomiso FONDEN y del Fideicomiso Preventivo (FIPREDEN), cuya institución fiduciaria en ambos casos es BANOBRAS, un banco de desarrollo del Gobierno de México.

El proceso para acceder y ejecutar los recursos del programa FONDEN para la Reconstrucción permite un equilibrio entre la necesidad del desembolso inmediato de los fondos ante la ocurrencia de un desastre y aspectos de rendición de cuentas y de transparencia. La Secretaría de Gobernación (SEGOB) es la instancia responsable del procedimiento de acceso a los recursos del FONDEN y de la emisión de las declaratorias de desastre natural. La Secretaría de Hacienda y Crédito Público es la instancia responsable de los recursos del FONDEN.

El FONDEN cuenta con un Sistema electrónico y automatizado en línea que utiliza tecnología e información de punta en el proceso de acceso a los recursos, tales como la captura en una plataforma de información geográfica de fotografías geo-referenciadas de todos los activos públicos afectados y que serán sujetos de apoyo para asegurar la eficacia y exactitud del proceso de evaluación y cuantificación de los daños sufridos por un determinado desastre natural. SEGOB revisa en el Sistema en línea que las solicitudes de recursos señalen de manera detallada las acciones que se llevarán a cabo así como el costo requerido para la reparación de la infraestructura y viviendas dañadas.

Consecutivamente, SEGOB remite el expediente a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y le solicita convoque a sesión del comité técnico del fideicomiso FONDEN para que éste autorice los recursos los cuales quedan etiquetados en el Fideicomiso FONDEN en una subcuenta específica por cada programa de reconstrucción. Los recursos son transferidos por BANOBRAS (en su carácter de institución fiduciaria) de estas subcuentas a las empresas proveedoras de servicios de reconstrucción, previa presentación de las facturas de avance de la ejecución de las obras. Los recursos del

FONDEN financian 100% los costos de reconstrucción de activos federales y 50 por ciento de los activos locales.

A través de la estrecha colaboración existente entre la Secretaría de Gobernación y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, el FONDEN ha podido establecer una sólida relación entre sus áreas técnicas y financieras en el manejo de desastres naturales.

Por otro lado, el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) actúa como el área técnica enfocada en la reducción del riesgo y trabaja estrechamente con el FONDEN, el vehículo financiero para la administración de desastres.

El procedimiento de acceso a los recursos del FONDEN es el siguiente:

- a) El titular del Ejecutivo de la Entidad Federativa solicita opinión sobre el desastre natural a la Instancia Técnica Facultada (ITF).
- b) La ITF realiza el dictamen.
- c) De resultar positivo se instala el Comité de Evaluación de Daños.
- d) Por subcomités se evalúan daños.
- e) Se solicitan apoyos parciales inmediatos.
- f) Se solicita la declaratoria de Desastre Natural.
- g) Se presenta ante la SEGOB y la SHCP la evaluación de daños.
- h) Se emite la declaratoria de Desastre Natural.
- i) Los subcomités de evaluación de daños presentan documentación, fotografías, carga en el sistema web de evidencias, se elabora una división de obras y se firman anexos.
- j) El servidor público facultado solicita ante la unidad política federal los anticipos.
- k) Se notifica a las Entidades Federativas la autorización de recursos.
- l) Se elabora el programa de obras y acciones calendarizado y se realiza el seguimiento de obras.

#### 2.4 Matriz de análisis de la ley estatal de protección civil

La ley vigente de Protección Civil del Estado de México fue emitida en 1994, y su más reciente reforma es de septiembre de 2012. Al igual que todas las leyes de este orden y en esta materia, establece las bases de coordinación de las actividades y programas en materia de protección civil, a través de un Sistema Estatal de Protección Civil en el que están representados actores gubernamentales, sociales y privados.

La ley otorga la función a los municipios de identificar y estudiar los principales riesgos, así como las medidas para prevenir su ocurrencia y/o aminorar sus efectos sobre la población. En este sentido, es el municipio el primer nivel de respuesta a cualquier fenómeno destructivo. No obstante, es el Gobernador del Estado quien emite la declaratoria de desastre.

Entre los principios de política estatal en materia de Protección Civil están la coordinación nacional, regional y local, la promoción de esquemas permanentes para la prevención y mitigación de las consecuencias de desastres naturales y antropogénicos, a través del intercambio de datos y el uso eficiente de infraestructuras y medios técnicos que permitan la previsión, seguimiento y evaluación temprana de las consecuencias de fenómenos potencialmente peligrosos, el fortalecimiento de la programación y práctica



de simulacros conjuntos y el impulso de reglas y procedimientos comunes para la asistencia a la población, entre otros.

Como instrumentos de política pública destacan el Sistema Estatal de Información de Protección Civil, el Atlas Estatal de Riesgos y la regulación Estatal sobre Protección Civil. En este mismo rubro se crea el Fondo para la Prevención y Atención de Desastres y Siniestros Ambientales o Antropogénicos del Estado de México, cuyo objeto primario es prevenir con acciones correctivas en la materia la inminente ocurrencia de fenómenos perturbadores.

En esta ley, se contempla el Fomento a la Cultura y Educación de la Protección Civil por medio de acciones como la realización de campañas permanentes de difusión, eventos especiales orientados a la prevención y mitigación de desastres, recopilación, análisis y divulgación de investigaciones en el ámbito estatal y municipal, la actualización de los contenidos programáticos en materia de protección civil en el sistema educativo estatal publicación de materiales de comunicación educativa y guías técnicas actualizadas de orientación social, la formación de especialistas y grupos voluntarios, técnicos y profesionistas en materia de protección civil, formación continua y actualización de los funcionarios públicos en materia de contingencias y emergencias (Tabla 2.2).

Finalmente, la ley contempla la promoción de la participación ciudadana en la planeación, aplicación y evaluación de los instrumentos de política pública de protección civil.

Tabla 2.2 Matriz de análisis de la Ley de Protección Civil del Estado de México

Lo que incluye	Lo que omite
Declaratoria de emergencia	Clasificación de riesgos
Establece PC nivel estatal	Desastres tecnológicos
Establece PC nivel municipal	Transfiere la primera responsabilidad al municipio
Promotor de estudios e investigaciones	Declaración estado de alerta
Promueve cultura de PC	Declaratoria de desastre
Coordinación con otras entidades	Declaratoria de desastre natural
Reconoce grupos voluntarios	Publicación de declaratoria de emergencia
Registro de grupos voluntarios	Publicación de declaratoria de desastre
Promueve capacitación en PC	Declaratoria de fin de emergencia
Integración Atlas de Riesgo a nivel estatal	Coordina apoyos externos nacionales e internacionales
Promueve difusión de programas de PC	Promueve realización de simulacros
Financiamiento institucional	Solicitud declaratoria de desastre ante Gobernación
Catálogo de recursos humanos	Establece existencia de albergues
Coordinar sistemas de comunicación	Integración Atlas de Riesgo nivel municipal
Cualquier persona puede denunciar riesgos	Actualizar el Atlas de Riesgos
Promueve cultura de prevención	Requisa
Declaratoria de emergencia	Posibilidad de solicitar Plan DNIII-E
	Puede recibir donaciones
	Evaluación ex post
	Revisar y opinar sobre asentamientos humanos irregulares
	Apoyos para reubicación
	Programas especiales de PC
	Elaboración de peritajes de causalidad
	Declaración de área de protección
	Los medios de comunicación obligados a difundir programas de PC
	Fondo estatal o municipal para la atención de desastres
	CONAGUA forma parte del consejo estatal

Lo que incluye	Lo que omite
	Otras leyes que toquen temas de PC
	Posibilidad creación órganos especiales de PC para algún tipo de emergencia
	Programa de premios y estímulos de PC
	Edad mínima para director de PC
	Rutas de evacuación para discapacitados
	Las universidades son parte de PC
	Centro de operaciones móvil
	Policía ecológica
	Constancia de factibilidad PC para nuevos asentamientos
	Promueve lugares para construcción de viviendas seguras
	PC coordina al H. Cuerpo de Bomberos
	Establecimiento de centros de acopio
	Cuotas por servicios de PC
	Estudios para definir albergues en el estado
	Contratación de seguros contra desastres
	Invitación a los medios de comunicación a las sesiones del consejo estatal
	Carta de corresponsabilidad
	Requisitos de medidas de evacuación
	Centros regionales permanentes de PC
	Vigila destino final de desechos sólidos
	Autoridad para decidir ubicación de un refugio temporal
	Declaratoria de zonas de riesgo, para reubicación

Fuente: Manual para el control de inundaciones, Conagua, febrero de 2011

## 2.5 Instituciones involucradas en la gestión de crecidas

En el Gobierno Federal, la Secretaría de Gobernación y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales son las agencias gubernamentales directamente responsables en la administración y atención de crecidas e inundaciones, a través de la Dirección General de Protección Civil y la Comisión Nacional del Agua, respectivamente, ambas agencias tienen su contraparte en los Estados de la República, además para el caso de la Comisión Nacional del Agua existente 13 regiones hidrológico-administrativas.

Otras de las principales dependencias involucradas son: Secretaría de la Defensa Nacional, Secretaría de Marina, Secretaría de Seguridad Pública, Secretaría de Desarrollo Social, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Secretaría de Salud, Secretaría de Educación, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, Comisión Federal de Electricidad, Secretaría de Turismo, Cruz Roja, entre otros.

Es importante mencionar que el 5 de abril de 2013, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el ACUERDO por el que se crea la Comisión Intersecretarial para la Atención de Sequías e Inundaciones, el cual señala en el ARTÍCULO PRIMERO, que se crea con carácter permanente, que tiene por objeto la coordinación de acciones entre las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal en sus tres niveles, relativas al análisis de riesgos y la implementación de medidas de prevención y mitigación de fenómenos meteorológicos extraordinarios y los efectos que éstos generan, tales como sequías e inundaciones.

Como puede verse a través de esta Comisión el Gobierno Federal pretende lograr que todas las Secretarías involucradas, la Comisión Federal de Electricidad y la Comisión Nacional del Agua trabajen de forma coordinada entre ellas y con los gobiernos estatales y municipales, en beneficio de la población. A continuación, se muestran los tres niveles de gobierno involucrados, así como las instituciones internacionales:

#### Internacionales

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) desde su creación, la OMM ha participado de forma excepcional e importante en la seguridad y el bienestar de la humanidad. En el marco de los programas de la OMM y bajo su dirección, los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales contribuyen sustancialmente a la protección de la vida humana y los bienes frente a los desastres naturales, a la salvaguardia del medio ambiente y a la mejora del bienestar económico y social de todos los sectores de la sociedad en esferas como la seguridad alimentaria, los recursos hídricos y el transporte. Además, fomenta la colaboración entre los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales y favorece la aplicación de la meteorología a los servicios meteorológicos para el público, la agricultura, la aviación, la navegación, el medio ambiente, las cuestiones relacionadas con el agua y la atenuación de los efectos de los desastres naturales.

La Asociación Mundial del Agua [Asociación Mundial del Agua (GWP)] es una red internacional abierta a todas las organizaciones que tienen que ver con la gestión de los recursos hídricos. Fue creada en 1996 con el objetivo de promover la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH).

El Programa Asociado de Gestión de Inundaciones, que se conoce por su sigla en inglés APFM, es una iniciativa conjunta de la Organización Meteorológica Mundial y la Asociación Mundial del Agua [Global Water Partnership (GWP)]. El Programa promueve el concepto de gestión integrada de inundaciones, nuevo enfoque en materia de gestión de crecidas. Cuenta con respaldo financiero de los gobiernos de Japón y los Países Bajos.

El Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO, reconoció que la gestión adecuada de los peligros relacionados con el agua es un factor esencial para el desarrollo humano y socioeconómico sustentable, y en particular para la atenuación de la pobreza (Gutiérrez López Alfonso, Revista Agua y Saneamiento, ANEAS, año 11, número 43, abril, mayo y junio de 2012, México). La iniciativa internacional, comprende la gestión de riesgos y las emergencias, análisis de riesgos múltiples; bases de datos para evaluar el riesgo; modelación hidrológica, hidráulica y económica; cartografía de riesgos por inundaciones; medidas estructurales y no estructurales; la gobernabilidad y participación, reformas institucionales, pronósticos y alerta anticipada y sistemas de alerta, comunicación efectiva, vigilancia y respuesta a las alertas.

El Centro Internacional para la Gestión de los Desastres y Riesgos relacionados con el Agua (ICHARM), auspiciado por la UNESCO, fue creado en 2006. El ICHARM se encarga de los desastres relacionados con el agua, como las inundaciones y las sequías, que son los mayores desafíos que se necesita superar para garantizar un desarrollo humano sostenible y la reducción de la pobreza.

#### Federales

- Corresponde al Ejecutivo Federal en materia de protección civil, por conducto de la Secretaría de Gobernación, a través de la Coordinadora Nacional de Protección Civil.

- Comité Científico asesor sobre el Fenómeno Perturbador de carácter Hidrometeorológico, integrado por personal de la UNAM, CFE, CONAGUA, IMTA, U. de Guadalajara, SNEAM, CENAPRED.
- Secretaria de Hacienda y Crédito Público para efectos de transferir a los estados los recursos económicos con el objeto de afrontar los riesgos en materia de gestión integral de inundaciones.
- El Congreso de la Unión (Cámara de diputados y Cámara de Senadores)
- Secretaria de la Función Pública, hasta en tanto no se publique en el Diario Oficial de la Federación la Comisión Anticorrupción.
- En su caso, conjuntamente con los tres niveles de gobierno, Federal, Estatal y municipal.

#### Estatales

- El Ejecutivo Estatal (Gobernador) o también llamado mandatario estatal.
- Protección civil estatal
- El Jefe de Gobierno, en el caso del Distrito Federal, así como los Jefes Delegacionales, en al ámbito de competencia de cada uno.
- Las áreas de protección civil del Distrito Federal, así como de sus delegaciones.
- En su caso, conjuntamente con los tres niveles de gobierno, Federal, Estatal y municipal.

#### Municipales

- El Presidente Municipal
- El Cabildo
- Protección civil municipal
- En su caso, conjuntamente con los tres niveles de gobierno, Federal, Estatal y municipal.

### 2.5.1 Atribuciones de las instituciones involucradas con la atención a fenómenos hidrometeorológicos.

En la tabla siguiente se presentan las atribuciones de las instituciones involucradas con la atención a fenómenos hidrometeorológicos en el orden federal.

Tabla 2.3 Ámbito de competencia de las instituciones involucradas

Instituciones	Artículos	Atribuciones
Secretaría de Gobernación (SEGOB)	5FXXIV,XXVII	Fracción XXIV, coordinar a las diversas dependencias y entidades que, por sus funciones, deban participar en las labores de auxilio, en caso de desastres o emergencias. Fracción XXVII, coordinar las acciones de Seguridad Nacional y establecer políticas de Protección Civil. Reglamento Interior D.O.F. 2/04/2013.

Instituciones	Artículos	Atribuciones
Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA)	28FXXXVI,38F VII	Reglamento Interior.- DOF.- 17-10-2011.- Artículo 28 fracción XXXVI. Proponer directivas orientadas a la prevención y control de desastres en asuntos de su competencia.- Artículo 38 fracción VII. Planear, dirigir y coordinar el trabajo de ingenieros en beneficio de la Secretaría y de la población civil, en casos de desastres y demás necesidades públicas.
Secretaría de Marina (SEMAR)	16FX,2FX	Reglamento Interior: DOF.-31-12-2012.- Artículo 16 fracción X.- Corresponde a la Dirección General de Investigación y Desarrollo.- Obtener procesar y difundir información meteorológica y de fenómenos oceánicos y atmosféricos, coordinando lo que proceda con el Servicio Meteorológico Nacional. Ley Orgánica de la Armada de México. DOF 31/12/2012.- Artículo 2 fracción X.- El de realizar actividades de investigación científica, oceanográfica, meteorológica, biológica y de los recursos humanos, actuando por sí sólo o en coordinación con otras instituciones nacionales o extranjeras, o en coordinación con dependencias y entidades de la Administración Pública Federal. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 30 fracción XXI.- Participar y llevar a cabo las acciones que le corresponda dentro del marco del Sistema Nacional de Protección Civil para la prevención, auxilio, recuperación y apoyo a la población en situaciones de desastre.
Secretaría de Gobernación.- Comisionado nacional de seguridad.	38FI	Reglamento Interior.- DOF 2-04-2013.- Artículo 38 fracción i.- Proponer al Secretario las Políticas, programas y acciones tendientes a garantizar la seguridad pública de la Nación y de sus habitantes, así como coordinar y supervisar su ejecución e informar sobre sus resultados. Reglamento del Servicio de Protección Federal.-DOF 9/112/2008.- Facultades del Comisionado.- Artículo 10 fracción VIII.- Apoyar la participación de las instituciones públicas federales en la implementación de programas de vigilancia y custodia, protección civil y prevención del delito, en los términos de las disposiciones aplicables.
Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP)	6FIV, 31FI	Reglamento interior. Artículo 6 fracción IV.- Coordinar, conjuntamente con la Secretaría de Desarrollo Social en el ámbito de su competencia, el otorgamiento de las autorizaciones de acciones e inversiones convenidas con los gobiernos locales y municipales tratándose de planeación nacional y regional. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 31 fracción XVI.- Normar, autorizar y evaluar los programas de inversión pública de la Administración Pública Federal.
Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)	18 FI	Fracción I. Realizar la planeación necesaria para configurar estrategias, programas, proyectos y acciones para el desarrollo social.
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	31FXI, XXI	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 32 BIS fracción XI.- Evaluar y dictaminar las manifestaciones de impacto ambiental de proyectos de desarrollo que le presenten las Secretarías públicas sociales y privadas, resolver sobre los estudios de riesgo ambiental, así como sobre los programas para la prevención de accidentes con incidencia ecológica . Fracción XXI.- Dirigir los estudios, trabajos y servicios meteorológicos, climáticos, hidrológicos y geohidrológicos, así como el Sistema Meteorológico Nacional, y participar en los convenios internacionales sobre la materia.

Instituciones	Artículos	Atribuciones
Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	9Inciso a) FXL	Ley de Aguas Nacionales.- Artículo 9 inciso a).- Fracción XL.- Participar en el Sistema Nacional de Protección Civil y apoyar en la aplicación de los planes y programas de carácter federal para prevenir y atender situaciones de emergencias, causadas por fenómenos hidrometeorológicos extremos.
Secretaría de Energía (SENER)	33FI	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 33 fracción I.- Establecer y conducir la política energética del país, así como supervisar su cumplimiento con prioridad en la seguridad y diversificación energética, el ahorro de energía, entre otras acciones y en términos de las disposiciones aplicables, correctivas, realizar y promover programas, proyectos, estudios e investigación sobre las materias de su competencia.
Secretaría de Economía (SE)	34FIX	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 34 fracción IX.- Participar con las Secretarías de Desarrollo Social, de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la distribución y comercialización de productos y el abastecimiento de los consumos básicos de la población.
Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)	35FI	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 35 fracción I.- Formular, conducir y evaluar la política general de desarrollo rural, a fin de elevar el nivel de vida de las familias que habitan en el campo en coordinación con las dependencias competentes.- Fracción II.- Promover el empleo en el medio rural, así como establecer programas y acciones que tiendan a fomentar la productividad y la rentabilidad de las actividades económicas rurales.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)	36FII XXI	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 36 fracción II.- Regular, inspeccionar y vigilar los servicios públicos de correos y telégrafos y sus servicios diversos; conducir la administración de los servicios federales de comunicación eléctricas y electrónicas y su enlace con los servicios similares públicos concesionados, con los servicios privados de teléfono, telégrafos e inalámbricos y con los estatales y extranjeros, así como del servicio público de procesamiento remoto de datos. Fracción XXI.- Construir y conservar los caminos y puentes federales, incluso los internacionales; así como las estaciones y controles de autotransporte federal.
Secretaría de Educación Pública (SEP)	38FXXI	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 38 fracción XXI.- Conservar, proteger y mantener los monumentos arqueológicos, históricos y artísticos que conforman el patrimonio cultural de la Nación, atendiendo las disposiciones legales en la materia.- Referencia normativa.- Artículo 2.- Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas: El de utilidad pública, la investigación, protección, conservación, restauración y recuperación de los monumentos arqueológicos, artísticos e históricos y de las zonas de monumentos.
Secretaría de Salud (SS)	39fi	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 39 fracción I.- Establecer y conducir la política nacional en materia de asistencia social, servicios médicos y salubridad general, con excepción de lo relativo al saneamiento del ambiente; y coordinar los programas de servicios a la salud de la Administración Pública Federal, así como los agrupamientos por funciones y programas a fines, en su caso, se determinen.
Secretaría de	41 fi INCISO A	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo

Instituciones	Artículos	Atribuciones
Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU)	Y B	41 fracción I.- Impulsar en coordinación con las entidades estatales y municipales, la planeación y el ordenamiento del territorio nacional para su máximo aprovechamiento, con la formulación de políticas que armonicen: inciso a).- El crecimiento o surgimiento de asentamientos humanos y centros de población, inciso b).- la planeación habitacional y del desarrollo de viviendas.
Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal (CJEF)	43FII	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 43 fracción II.- Someter a consideración y, en su caso, firma del Presidente de la República todos los proyectos de iniciativa de leyes y decretos que se presenten al Congreso de la Unión o a una de sus cámaras, así como a la Asamblea de Representantes del Distrito Federal, y darle opinión sobre dichos proyectos.
Comisión para la Regularización de la Tenencia de la Tierra (CORETT)	2FII	Decreto de creación: Promover la adquisición y enajenación de suelo y reservas territoriales para el desarrollo urbano y la vivienda en coordinación con otras dependencias y entidades federales, con los gobiernos de los estados con la participación de sus municipios, y del Distrito Federal, así como en concertación con los sectores social y privado particularmente con los núcleos agrarios.
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)	14 BIS 2FVII	Ley de Aguas Nacionales.- Atribuciones.- Artículo 14 BIS 3 fracción VII.- Realizar por sí o a solicitud estudios y brindar consultorías especializadas en materia de hidráulica, hidrología, control de calidad del agua, de gestión integrada de los recursos hídricos.
Comisión Federal de Electricidad (CFE)	10FII	Estatuto Orgánico: El de atender los aspectos técnicos operativos relacionados con la generación, transmisión, transformación, control y distribución de energía eléctrica.
Secretaría de Marina - Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (SEMAR - CICESE)	5FXXI	Reglamento interior, aquellas otras facultades que con ese carácter le confieran expresamente las disposiciones legales, y le asigne el Presidente de la República.
Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS)	2, 251FI	Ley del IMSS. DOF.- 31-03-2007.- Artículo 2.- Tiene como finalidad garantizar el derecho a la salud, la asistencia médica, la prestación de los medios de subsistencia y los servicios sociales necesarios para el bienestar individual y colectivo, así como el otorgamiento de una pensión que, en su caso y previo cumplimiento de los requisitos legales, será garantizado por el Estado. Artículo 251 fracción i.- Administrar los seguros de riesgos de trabajo, enfermedades y materiales, invalidez y vida, guardería y prestaciones sociales, salud para la familia, adicionales y otros, así como prestar los servicios de beneficios colectivos que señale esta Ley.
Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE)	4FII,23FVI	Ley del ISSSTE.-DOF.-28-05-2012.- Artículo 4 fracción II, inciso d).- Préstamos personales extraordinarios para damnificados por desastres naturales.- Estatuto Orgánico artículo 23 fracción VI.- El de resolver bajo su inmediata directa responsabilidad los asuntos urgentes del instituto, a reserva de informar a la Junta sobre las acciones y los resultados obtenidos.

Instituciones	Artículos	Atribuciones
Distribuidora de Conasupo (DICONSA)	2.1	Reglas de Operación, el de contribuir a mejorar la nutrición como una capacidad básica de la población que habita en localidades rurales. 2.2. Abastecer localidades rurales de alta y muy alta marginación con productos, en forma eficaz y oportuna.
Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)	109FI	El de investigar los peligros, riesgos y daños producidos por agentes perturbadores que puedan dar lugar a desastres integrando y ampliando los conocimientos de tales acontecimientos, en coordinación con las dependencias y entidades responsables.
Petróleos Mexicanos (PEMEX)	4FII	Estatuto Orgánico de Petróleos Mexicanos, el de emitir a propuesta del Comité correspondiente las políticas y lineamientos en materia de, inciso f).- Programar y proyectos, contratación de terceros experto independiente, prelación entre los proyectos de gran magnitud alta prioridad y otros proyectos relevantes, así como los criterios para definir los casos y la etapa de la fase de los proyectos y programas de inversión de los organismos subsidiarios que deberán ser aprobados por el Consejo de Administración, previo acuerdo del Consejo de Administración del Organismo Subsidiario correspondiente.
Desarrollo Integral de la Familia (DIF)	4FXXV	Estatuto Orgánico: Promover la atención y coordinación de las acciones de los distintos sectores sociales que actúen en beneficio de aquellos, en el ámbito de su competencia, en casos de desastres como inundaciones, terremotos, derrumbes, explosiones, incendios, y otros de naturaleza similar por los que se causen daños a la población, el organismo, sin perjuicio de las atribuciones que en auxilio de los damnificados lleve a cabo otras dependencias y entidades.
Universidad Autónoma de México (UNAM)	1	La Universidad Nacional Autónoma es una corporación pública-organismo descentralizado del estado - dotada de plena capacidad jurídica y que tiene por fines impartir educación superior para formar profesionales, investigadores, profesores universitarios y técnicos útiles a la sociedad; organizar y realizar investigaciones principalmente acerca de las condiciones y problemas nacionales, y extender con la mayor amplitud posible, los beneficios de la cultura.
Cruz Roja Mexicana	2. 8	Decreto presidencial del 21 de febrero de 1910, en su estatuto, artículo 2 inciso 8) el de proponer a mejorar la salud, prevenir las enfermedades y aliviar los sufrimientos espirituales y corporales, desarrollando al efecto toda acción humanitaria tendiente a estos fines, de acuerdo con sus posibilidades, las leyes y demás disposiciones legales vigentes en el país. La Cruz Roja debe considerar como auxiliar de los poderes públicos, la conformidad con el Convenio de Ginebra del 6 de julio de 1908, con el decreto firmado por el Presidente de los Estados Unidos Mexicanos el 21 de febrero de 1910.
Bomberos	3FVI	Señala que por auxilio se entenderá a las acciones destinadas primordialmente a salvaguardar la vida de las personas, sus bienes y la planta productiva y a preservar los servicios públicos y el medio ambiente, ante la presencia de un agente destructivo, en donde los agentes destructivos son los fenómenos de carácter hidrometeorológico que puede producir riego, emergencias o desastres. Para efectos de la presente Ley que nos ocupa, los cuerpos de seguridad pública en los Estados de la República Mexicana, por lo



Instituciones	Artículos	Atribuciones
		<p>general son: Policía Preventiva Estatal, Protección civil y Bomberos, ya que estos están adheridos al Sistema Nacional de Protección Civil, independientemente de su normatividad que los rija en sus estados.</p>

A nivel estatal, la ley de Protección Civil atribuye funciones específicas a los actores gubernamentales, sociales y privados de este orden de gobierno que conforman el Sistema Estatal de Protección Civil. Sin embargo, existen igualmente otras instancias que por su función coadyuvan a las acciones de las autoridades de protección civil. En este sentido, las Comisiones Estatal de Agua en su calidad de organismos públicos descentralizados de la administración pública estatal coadyuvan a las autoridades federales y municipales, durante emergencias que se susciten en los sistemas de agua potable, drenaje, desalojo de aguas residuales y pluviales bajo su administración.

A nivel municipal, la misma ley de Protección civil distribuye funciones específicas y coordinadas en la materia. Los reglamentos de Protección Civil municipal especifican la integración del Sistema Municipal de Protección Civil (el Presidente Municipal, el Consejo Municipal, la Dirección General, las Unidades Internas de los sectores público, social y privado, y los Grupos Voluntarios), y distribuyen funciones a cada uno de ellos.

### 3. Caracterización de la cuenca y de las zonas inundables

El municipio de Acolman se localiza en la parte centro norte del Estado de México entre los 98° 50' 26" y 98° 59' 50" al oeste del meridiano de Greenwich y entre los paralelos 19° 34' 59" y 19° 41' 24" de latitud norte, a una altura de 2,250 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Colinda al norte con los municipios de Teotihuacán y Tecámac, al sur con Chialtla, Tezoyuca y Atenco, al oeste con Ecatepec y al este con Tepetlaoxtoc. Cuenta con una población de 136,548 habitantes y su cabecera es la ciudad de Acolman de Nezahualcóyotl.

La localidad de Acolman se ubica dentro de la Región Hidrológica 26 Río Pánuco y en la Región Hidrológico Administrativa XIII Aguas del Valle de México.

Su distancia a la capital del Estado de México, Toluca, es de 85 kilómetros, y de 33 kilómetros a la Ciudad de México. Su superficie es de 86.36 km<sup>2</sup> y representa el 0.4 por ciento del total del estado.

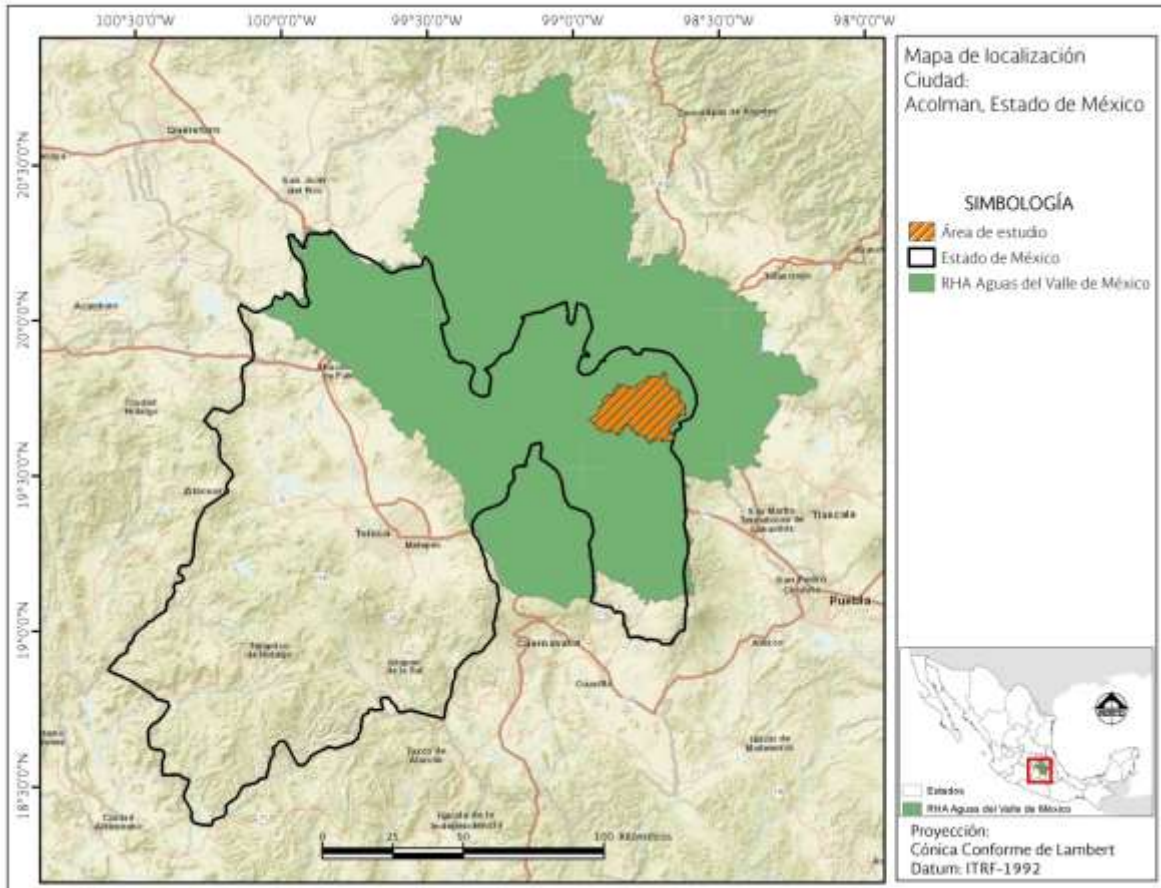


Figura 3.1 Ubicación de la zona de estudio

### 3.1 Identificación de zonas potencialmente inundables

De acuerdo al Mapa Nacional de Índice de Inundación<sup>5</sup> en la zona urbana de Acolman se presenta una zona potencialmente inundable de gran extensión, la cual cubre completamente la zona urbana (Figura 3.2).

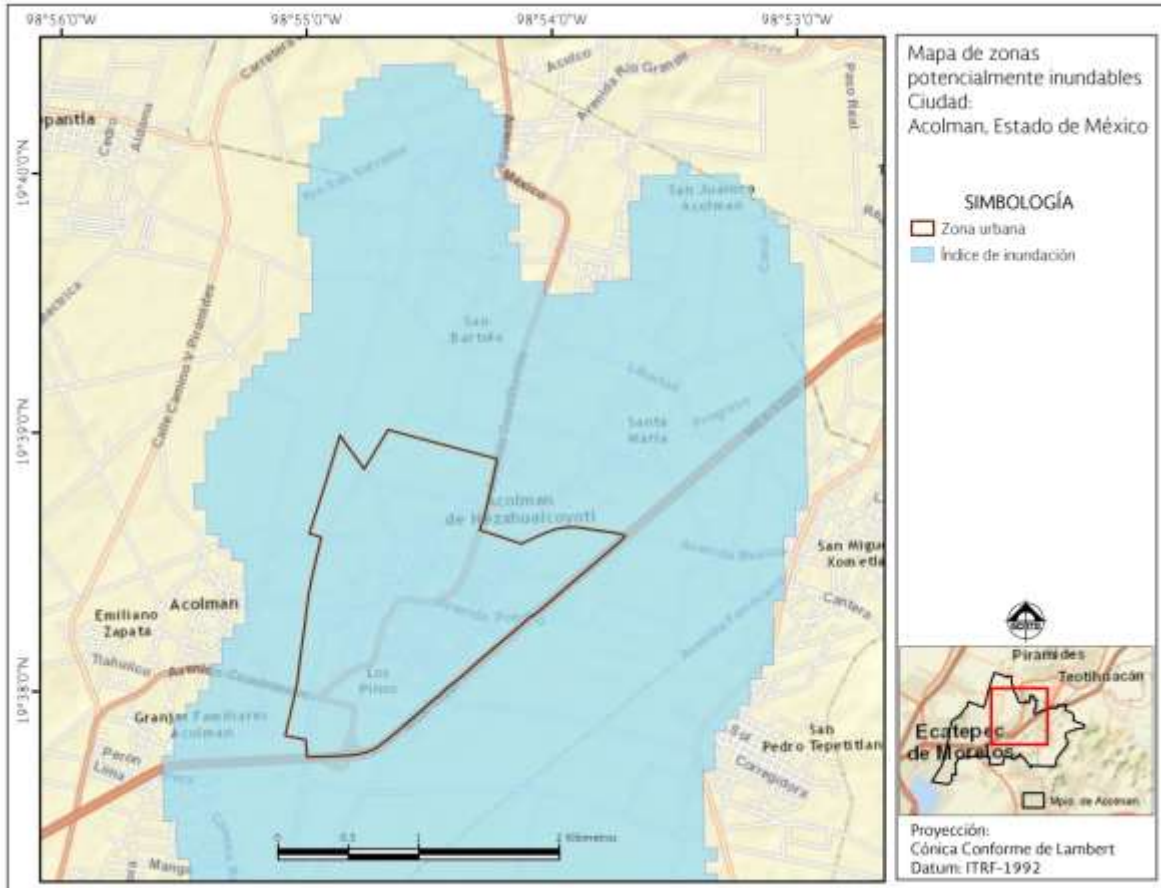


Figura 3.2 Zonas potencialmente inundables

El mapa es una primera aproximación para caracterizar el potencial de inundación y se construyó a partir del cálculo del Índice Topográfico, definido como el cociente entre la acumulación de flujo (Área de drenaje parcial “aguas arriba” para un punto en particular) y la tangente de la pendiente<sup>6</sup>.

Su aplicación principal consiste en la identificación de humedales, definidos como zonas perennes o efímeramente saturadas o inundadas. Los valores altos del índice corresponden a regiones propensas a inundación, el índice constituye un elemento poderoso y simple para la determinación de dichas regiones.

<sup>5</sup>Uribe-Alcántara, Edgar Misael, et al, Mapa Nacional de Índice de Inundación. Agroasemex, S. A., Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México, vol. I, núm. 2, abril-junio de 2010, pp. 73-85.

<sup>6</sup>Beven, K.J. and Kirkby, M.J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrol. Sci. Bull. Vol. 24, no. 1, 1979, pp. 43-69.

### 3.2 Socioeconómica

Acolman es un municipio metropolitano del estado de México, integrante de la Zona Metropolitana del Valle de México. De acuerdo a los datos del Censo de Población y Vivienda 2010, la zona urbana cuenta con una población de 5,571 habitantes, de los cuales 518 son menores de 5 años y 472 mayores de 60. Se contabilizan 190 personas con capacidades limitadas. En relación a la escolaridad, el grado promedio es de 9.82 años. La población económicamente activa asciende a 2,137 habitantes, y en materia de salud 2,295 no tienen derecho a servicios de salud. Del total de viviendas (1,666), 9 tienen piso de tierra y 1,303 cuentan con servicios.

### 3.3 Fisiografía, meteorología e hidrología

La zona urbana de Acolman está compuesta por las localidades de Atlatongo, San Miguel Xometla, Tepexpan, Santa Catarina, San Pedro Tepetitán, San Marcos Nepantla y San Bartolo. Tiene una extensión de 2.92 km<sup>2</sup>, abarcando una longitud máxima de 2.5 kilómetros aproximadamente. Su elevación en la zona más alta de la zona conurbada es de 2,290 m.s.n.m y en su parte más baja de 2,250 m.s.n.m. Dentro del municipio, el Cerro de Chiconautla es la forma geológica que domina al poniente del valle, con suaves pendientes, menores al 15% que se acusan en la parte más alta y que sólo rebasan el 25% en el pico mayor que alcanza los 2,590 msnm, al centro del límite poniente del municipio. Las elevaciones del municipio corresponden a una superficie del 13% de la extensión total municipal, mientras que las llanuras representan el 87%.

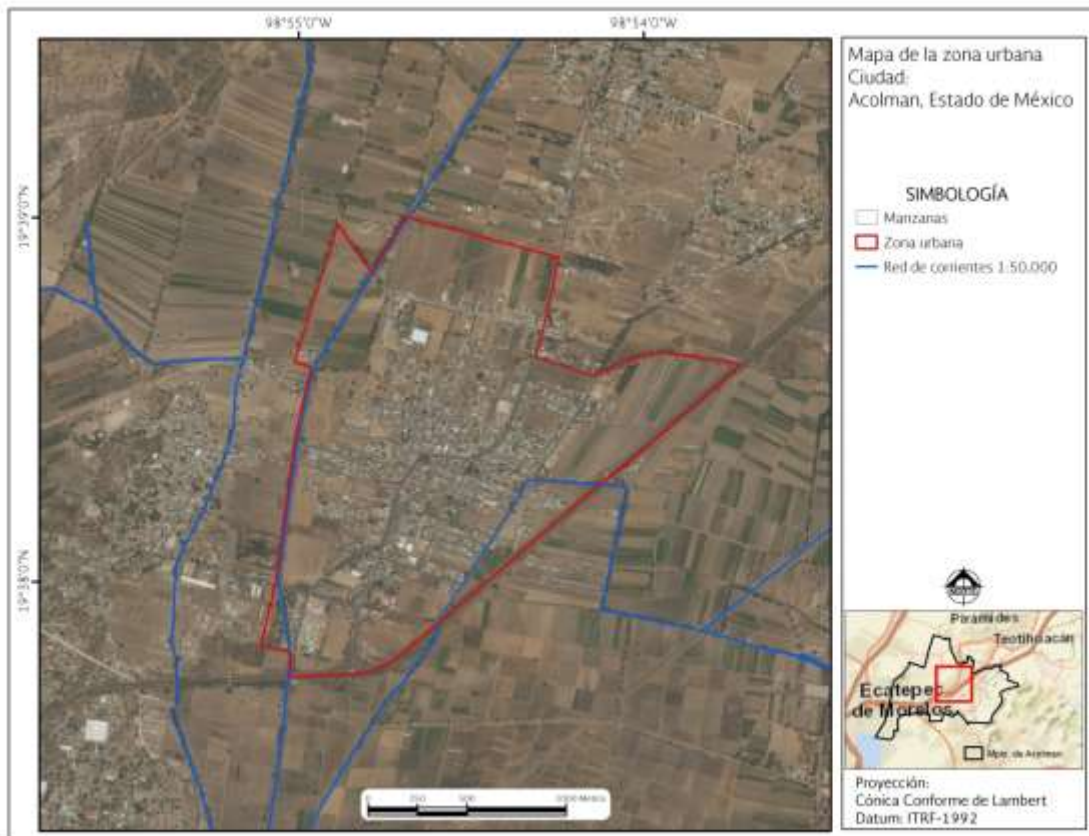


Figura 3.3 Zona urbana de Acolman



### 3.3.1 Subcuencas de aportación

Con el fin de estimar el riesgo por inundación en la zona urbana de Acolman, se delimitaron seis áreas de drenaje natural (subcuencas) hasta la estación hidrométrica 26194 Tepexpan, localizada aguas abajo de la zona urbana (Figura 3.4). Las subcuencas 1 a 5 se consideran entradas a la zona urbana, la subcuenca 6 corresponde al área urbana de Acolman, la cual se delimitó para ser considerada en el proceso de calibración del modelo hidrológico. El área total de las subcuencas es de 502.33 km<sup>2</sup>, siendo la subcuenca uno la de mayor área de aportación con 290.19 km<sup>2</sup> (Tabla 3.1).

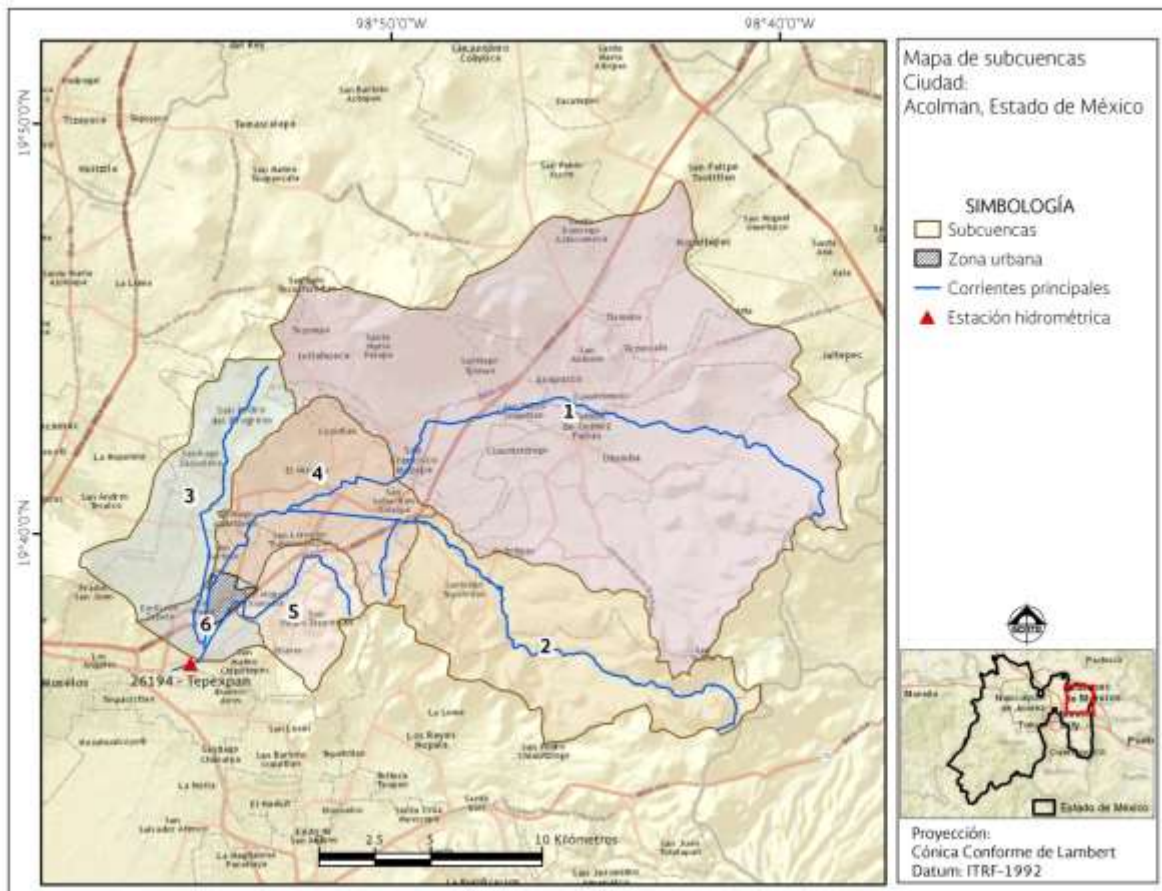


Figura 3.4 Subcuencas de aportación

Tabla 3.1 Subcuencas

Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )
1	290.19
2	81.07
3	44.46
4	51.22
5	22.97
6	12.42
TOTAL	502.33

### 3.3.2 Relieve

El municipio de Acolman se encuentra en la geomorfa del Eje Neovolcánico Transversal, dentro de la Provincia Ecológica de los Lagos y Volcanes de Anáhuac, caracterizada por el predominio de rocas volcánicas en las partes altas, que constituyen el 58.76% de la superficie municipal y enmarcan un valle central, cuyo extremo surponiente se une a la cuenca de lo que fue el gran lago de Texcoco<sup>7</sup>. La elevación más alta de las subcuencas de aportación es de 3,048 m.s.n.m. mientras que la elevación más baja es de 2,250 m.s.n.m. (Figura 3.5).

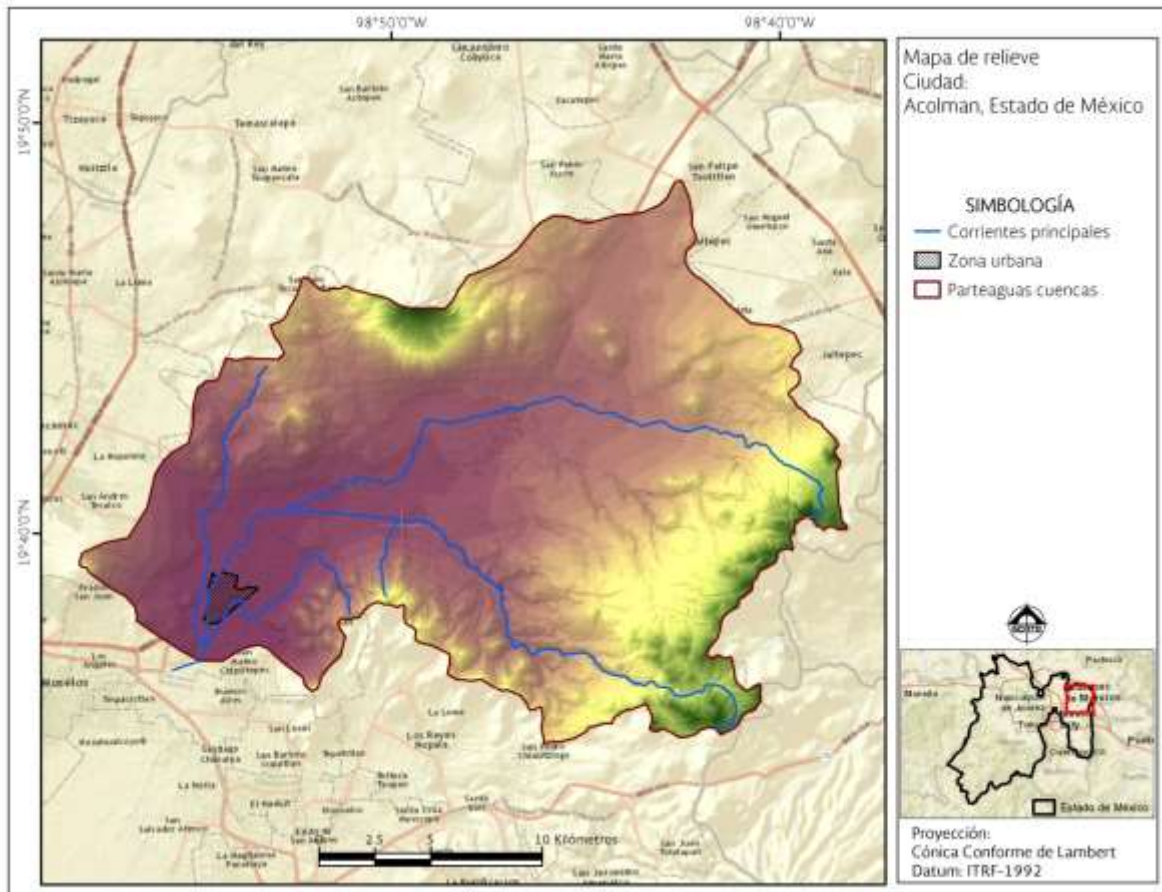


Figura 3.5 Relieve

### 3.3.3 Uso de suelo

A partir de la cartografía del INEGI, se generó el mapa de cobertura vegetal y uso del suelo, en el cual se observa que en el municipio se presentan diez asociaciones vegetales: bosque cultivado, bosque de pino, bosque de encino, bosque de táscate, matorral crasicaule, pastizal inducido, vegetación secundaria arbórea, vegetación secundaria arbustiva, vegetación secundaria herbácea y zonas agrícolas.

<sup>7</sup>Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Acolman. H. Ayuntamiento de Acolman, Estado de México. (243 pp.). Recuperado el 20 de octubre de 2015 de: [http://seduv.edomexico.gob.mx/planes\\_municipales/acolman/PMDU%20Acolman%20ok.pdf](http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/acolman/PMDU%20Acolman%20ok.pdf)



Dentro de las subcuencas de aportación existen zonas agrícolas en diferentes modalidades que ocupan en conjunto el 40.06% del total del área de drenaje. Enseguida existe el 31.28% de los terrenos ocupados por bosques, en tercer lugar la vegetación secundaria representa el 17.35%, las áreas de asentamientos humanos representan el 9.99% de la superficie total y finalmente en menor proporción el área de pastizal inducido representa el 1.31% aproximadamente. (Figura 3.6 y tabla 3.2).

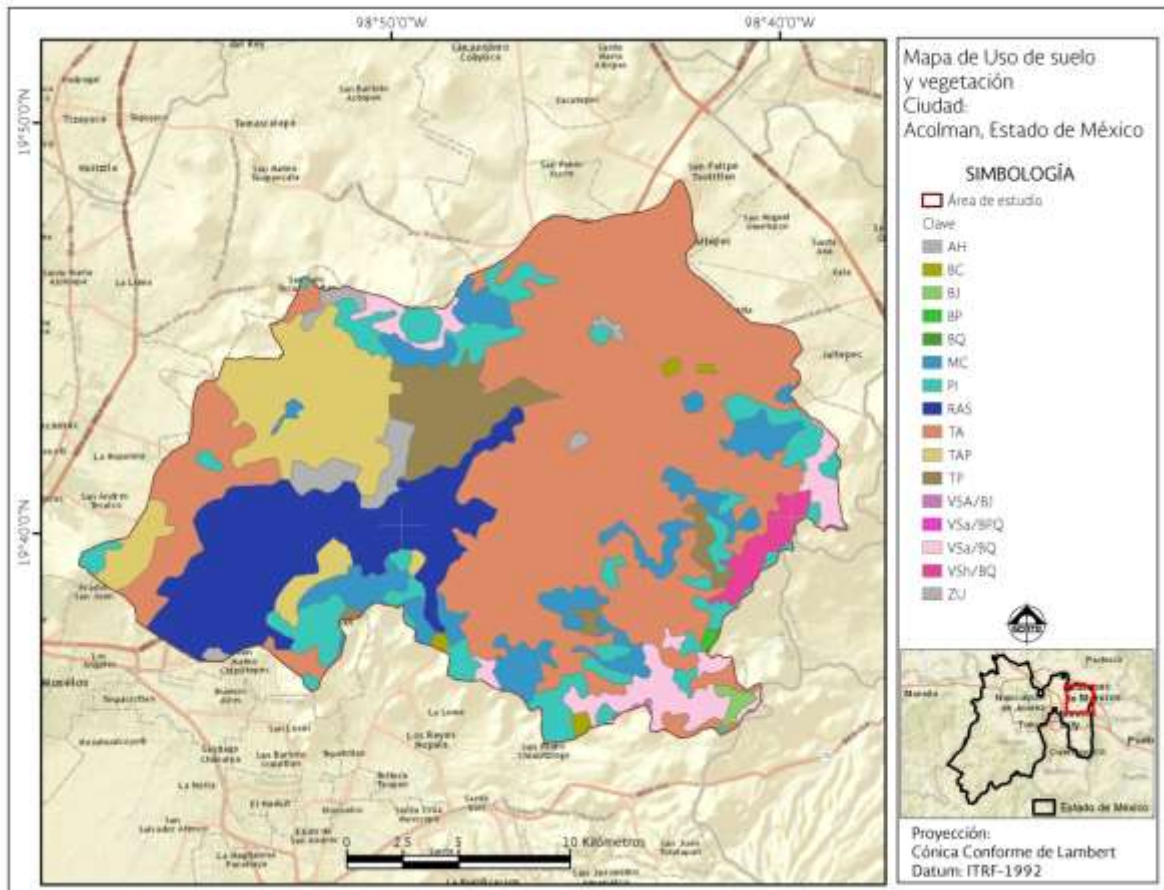


Figura 3.6 Uso de suelo



Tabla 3.2 Uso de suelo

Descripción	Clave	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje del área total (%)
Agricultura de riego anual y semipermanente	RAS	66.25	13.189
Agricultura de temporal anual	TA	231.15	46.016
Agricultura de temporal anual y permanente	TAP	51.47	10.246
Agricultura de temporal permanente	TP	24.57	4.891
Asentamientos humanos	ZU	10.95	2.180
Bosque cultivado	BC	1.97	0.392
Bosque de encino	BQ	0.01	0.002
Bosque de pino	BP	0.52	0.103
Bosque de táscate	BJ	1.48	0.294
Matorral crasicaule	MC	39.81	7.926
Pastizal inducido	PI	45.61	9.080
Vegetación secundaria arbórea de bosque de táscate	VSA/BJ	0.25	0.050
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	VSa/BQ	21.40	4.260
TOTAL		502.33	100%

### 3.3.4 Edafología

La geología del municipio está constituida por rocas de material solidificado, tobas de tipo basáltico en ambas sierras, inclusive en las partes bajas del Cerro de Chiconautla, en pendientes que van del 4 al 6%, se funden con el valle propiamente dicho, cubiertas por los suelos de aliviación. En la Sierra Patlachique, se suman rocas ígneas extrusivas ácidas y reolitas. La subprovincia donde se localiza Acolman se caracteriza por las notables manifestaciones de vulcanismo explosivo pretérito; y de acuerdo a la topografía, los tipos de clima, altitud y la vegetación (agentes formadores de suelo) que en ella se ubican, se registran las siguientes unidades edafológicas: Phaeozem (PH), Vertisol (VR), Leptosol (LP), Durisol (DU) y Cambisol (CM).

De acuerdo con las áreas de suelo primario la zona de estudio presenta en mayor proporción suelos de tipo Phaeozem<sup>8</sup> que representan (77.84%). El término Phaeozem deriva del griego phaeo: pardo; y del ruso zemljá: tierra. Literalmente, tierra parda. Son suelos que se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas. Es el cuarto tipo de suelo más abundante en el país. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, semejante a las capas superficiales de los Chernozems y los Castañozems, pero sin presentar las capas ricas en cal con las que cuentan estos dos tipos de suelos. Son adecuados para cultivos que toleran excesos de agua; mediante obras de drenaje pueden destinarse a la agricultura, siendo de fertilidad moderada.

<sup>8</sup> UNESCO (1975). Soil map of the World. Volume III Mexico and Central America. Italy: 1975

El término Vertisol (9.71%) del latín verto: voltear, suelos que se revuelven y autoabonan, ricos en arcillas expandibles, son muy arcillosos, con grietas anchas y profundas cuando están secos; si están húmedos, son pegajosos, su drenaje es deficiente; en seco son muy duros. Se presentan en casi todos los climas que tienen una marcada estación seca y otra lluviosa, sobre terrenos planos o en depresiones, frecuentes en llanuras costeras del Golfo de México.

El término Leptosol (7.38%) deriva del vocablo griego "leptos" que significa delgado, haciendo alusión a su espesor reducido. El material original puede ser cualquiera tanto rocas como materiales no consolidados con menos del 10 % de tierra fina. Aparecen fundamentalmente en zonas altas o medias con una topografía escarpada y elevadas pendientes. Se encuentran en todas las zonas climáticas y, particularmente, en áreas fuertemente erosionadas. Son suelos poco o nada atractivos para cultivos; presentan una potencialidad muy limitada para cultivos arbóreos o para pastos. Lo mejor es mantenerlos bajo bosque.

El término Durisol (2.27%) deriva del vocablo latino "durus" que significa duro, haciendo alusión al endurecimiento provocado por la acumulación secundaria de sílice. El material original lo constituyen depósitos aluviales o coluviales con cualquier textura. Se asocian con un clima árido, semiárido y mediterráneo. El relieve es llano o suavemente ondulado, principalmente llanuras aluviales, terrazas y suaves pendientes de pie de monte. La mayoría de los durisoles solo pueden ser usados para pastizales extensivos. En zonas donde el regadío es posible, pueden utilizarse para cultivos; en ese caso el horizonte petrodúrico, si está cerca de la superficie, debe romperse.

El término Cambisol (1.23%) deriva del vocablo latino "cambiare" que significa cambiar, haciendo alusión al principio de diferenciación de horizontes manifestado por cambios en el color, la estructura o el lavado de carbonatos, entre otros. Los Cambisoles se desarrollan sobre materiales de alteración procedentes de un amplio abanico de rocas, entre ellos destacan los depósitos de carácter eólico, aluvial o coluvial. Aparecen sobre todas las morfologías, climas y tipos de vegetación.

El suelo sin clasificación (zonas urbanas) representa el 1.57% del total del suelo de las subcuencas de aportación (Figura 3.7 y tabla 3.3).

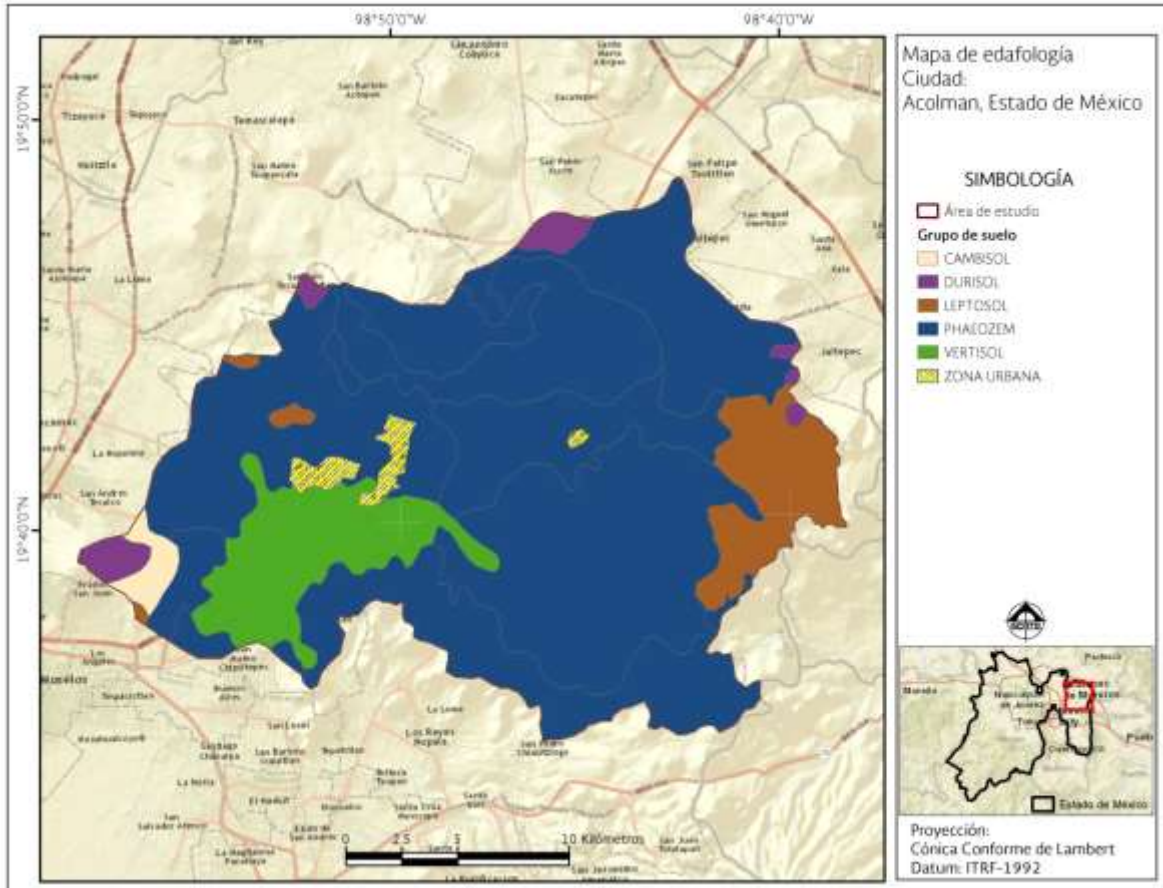


Figura 3.7 Edafología

Tabla 3.3 Edafología

Clave WRB	Suelo primario	Clasificación	Textura	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje de área (%)
CMeusk+PHha/1R	Cambisol	Éútrico	Gruesa	6.19	1.23
DUcaptp+PHcapdp/1	Durisol	Calcárico	Gruesa	4.53	0.90
DUptn+PHha+RGeu/2	Durisol	N	Media	6.88	1.37
LPeuli/2	Leptosol	Éútrico	Media	37.07	7.38
PHcapcp/2	Phaeozem	Calcárico	Media	8.46	1.68
PHlvlep+PHlep+LPeuli/2	Phaeozem	Lúvico	Media	56.71	11.29
PHlep+LPeuli/3	Phaeozem	N	Fina	18.83	3.75
PHpdn+DUptn+VRmzcr/2	Phaeozem	N	Media	302.67	60.25
PHphlv+VRmzpe+VRmzcr/2	Phaeozem	Páquico	Media	4.33	0.86
VRmzpe+PHca/3	Vertisol	Mázico	Fina	48.78	9.71
ZU	Localidad	-	-	7.88	1.57
TOTAL				502.33	100

### 3.3.5 Precipitación

Se localizaron 16 estaciones climatológicas circundando la zona de estudio (Figura 3.8); sin embargo solo siete se encuentran operando (Tabla 3.4). La estación climatológica 15263 Acolman es la más cercana a la zona urbana y cuenta con 11 años completos con información. La estación 15124 Tepexpan cuenta con 32 años de registros y se encuentra a 2.6 kilómetros de la zona urbana, por lo que los datos registrados en esta estación son representativos para la ciudad de Acolman.

La estación que cuenta con el mayor número de años con registros es la estación 15055 con el nombre de “Maquixco, Temascalapa” con 51 años, pero solo tiene 38 años completos con registros y actualmente se encuentra operando. La estación con el menor número de registros es la estación 13005 “Charco del Zacaton E. Z.” con 7 años de mediciones diarias y solamente 5 años completos (Tabla 3.4).

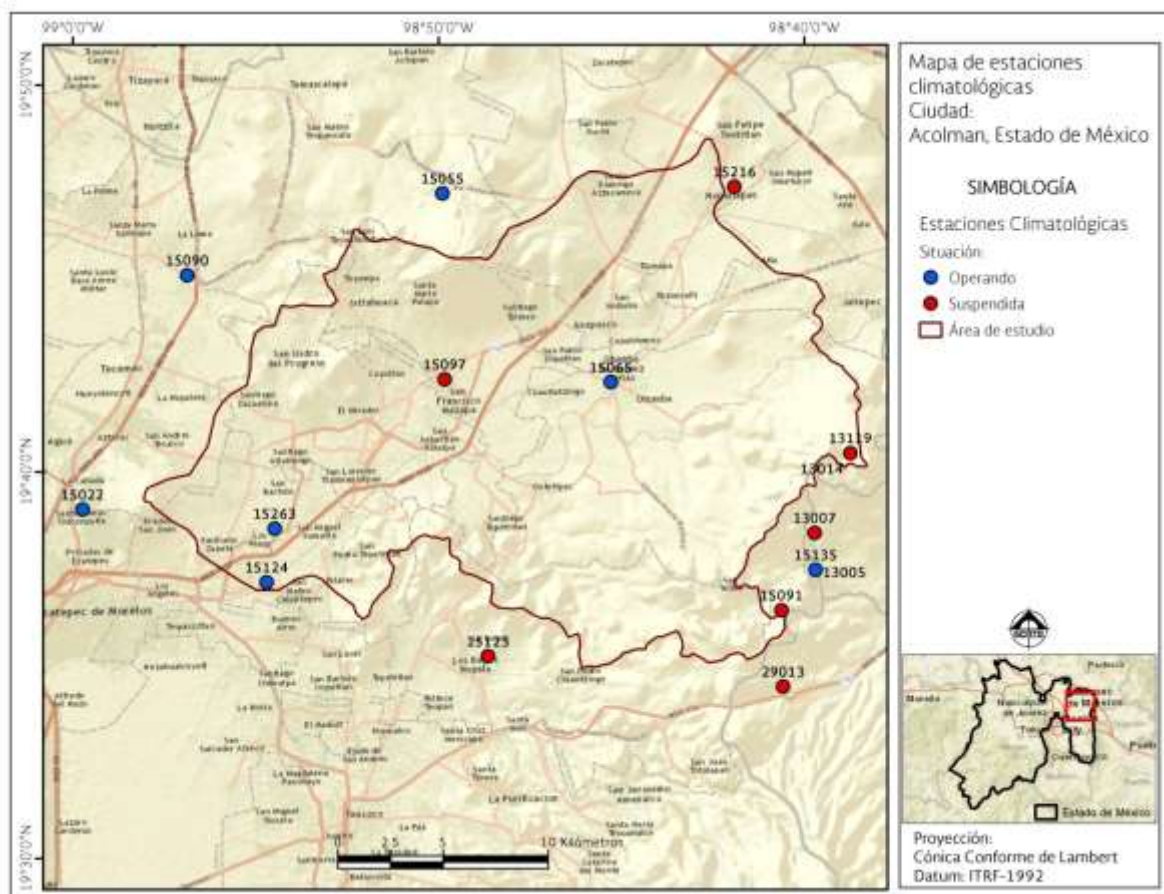


Figura 3.8 Estaciones climatológicas

Tabla 3.4 Estaciones climatológicas (\* operando)

Clave	Nombre	Periodo inicio	Periodo Fin	Años con información	Años completos	Longitud	Latitud
13005	Charco del Zacaton E. Z.	1968-1	1975-10	7	5	-98.667	19.617

13007	Corralejo, E. Zapata	1967-1	1977-3	10	8	-98.667	19.633
13014	Llano Chico, Emiliano Zapata	1967-2	1975-10	8	5	-98.650	19.667
13119	Mazatepec, Cuatepec	1961-1	1970-12	10	9	-98.650	19.667
15022*	Chiconautla, Ecatepec	1963-3	2014-7	48	38	-99.000	19.650
15055*	Maquixco, Temascalapa	1964-9	2014-8	51	38	-98.833	19.783
15065*	Otumba	1961-1	2009-6	44	39	-98.750	19.700
15090*	Sn. Jerónimo, Xonacahuacan	1961-1	2014-8	48	40	-98.950	19.750
15091	Sn. José, Tepetlaoxtoc	1969-2	1977-4	9	7	-98.683	19.600
15097	San Martín de Las Pirámides	1969-6	1988-5	17	13	-98.830	19.700
15123	Tepetlaoxtoc	1969-1	1987-12	19	19	-98.817	19.583
15124*	Tepexpan, Tepexpan	1961-1	2010-5	43	32	-98.917	19.617
15135*	Xochihuacan, Otumba	1969-1	2014-6	32	22	-98.667	19.617
15216	Nopaltepec, Nopaltepec	1976-8	1990-4	15	12	-98.700	19.783
15263*	Acolman	1983-6	2014-4	16	11	-98.910	19.640
29013	La Venta, Calpulalpan	1967-1	1986-5	20	15	-98.683	19.567

Dentro del municipio de Acolman predomina el clima BS1kw(w)(l)g seco semiárido. La temperatura promedio es de 14.8°C, una máxima de 18.7°C y una mínima de 10.7°C. Para tener un panorama del comportamiento de la lluvia se analizaron las estaciones más cercanas a la zona urbana para un mismo periodo, por ejemplo, la precipitación promedio anual registrada en el año 2000 en la estación climatológica de Acolman fue de 443.2 mm, y en la de Tepexpan fue de 301.1 mm; ambas controladas por la Comisión Nacional del Agua. Los registros mensuales fueron:

Tabla 3.5 Precipitación promedio mensual en milímetros

**Acolman**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1996	0	0	6.7	28	13	51.2	92.7	60.1	189	27.9	0.3	13	482.7
1997	1.1	0.3	46	60	81	139	114	84.2	29.5	17.3	2.2	8.4	582.6
1998								95.5	89				
1999		0.8	12.8	20	3.6	44.2	95.3	98.9	34.2	106	13.2	1.2	
2000	0	0	9.6	2.7	44	142	52.5	98.9	34.2	21.6	30.5	6.9	443.2

**Tepexpan**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1996										22.5		9.8	
1997	0.7	0	34.7	44	64	150	103	94.9	34.6	19.6	0	8.5	552.9
1998	7.9	0	0	9.7	6	96.7	65.6	117	207	97.1	6.3	0	613.0
1999	0.5	2.5	2.4	2.6	4	14	39.8	66.7	85.5	83.6	3	0.2	304.8
2000	0	0	4.7	0	16	58.9	81.7	87.9	15.8	16.9	9.9	9.3	301.1

La comparativa entre las dos estaciones refleja una mayor precipitación en la zona de la cabecera municipal Acolman que en la zona de Tepexpan. También se puede observar la distribución de la lluvia en la zona urbana de Acolman durante el año, donde la mayor precipitación ocurre en los meses de junio a agosto como se muestra en la figura 3.9.

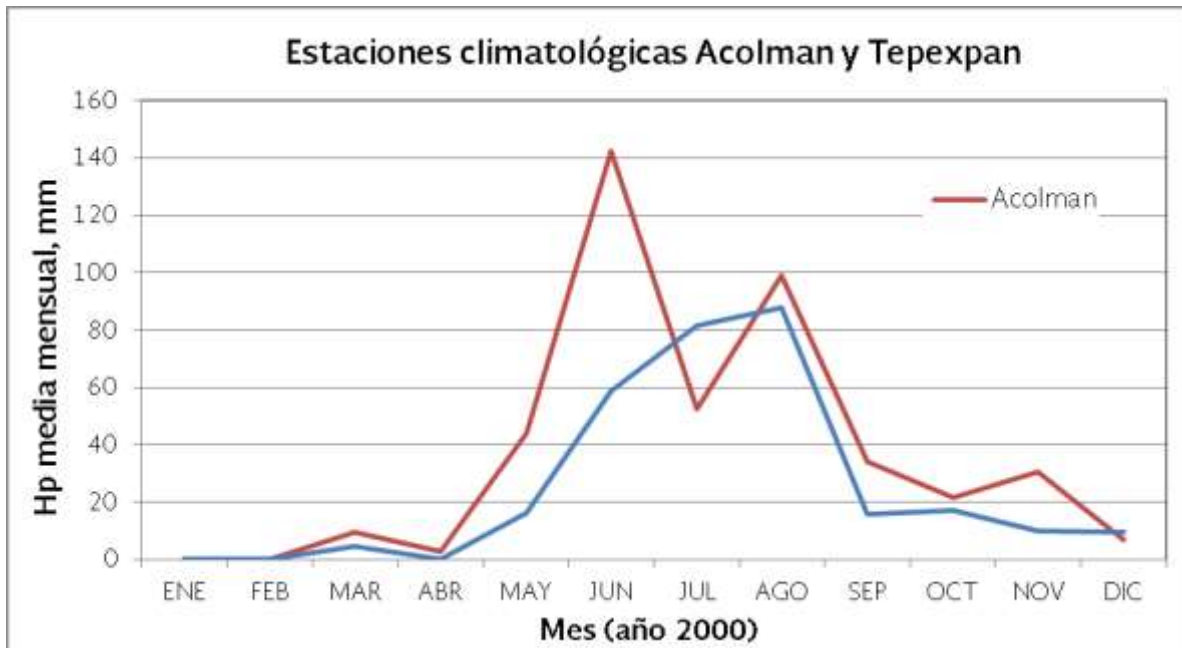


Figura 3.9 Oscilación de la precipitación mensual durante el año 2000

A continuación se muestra la localización de estas dos estaciones climatológicas dentro de la zona urbana de Acolman (Figura 3.10).

Las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) más cercanas a la zona de estudio son Acolman y Otumba; las cuales están localizadas dentro de la zona urbana de Acolman y Otumba respectivamente. Sin embargo, ninguna estación meteorológica cuenta con información de precipitación en un periodo continuo que sea representativo de la zona de estudio (Figura 3.11).

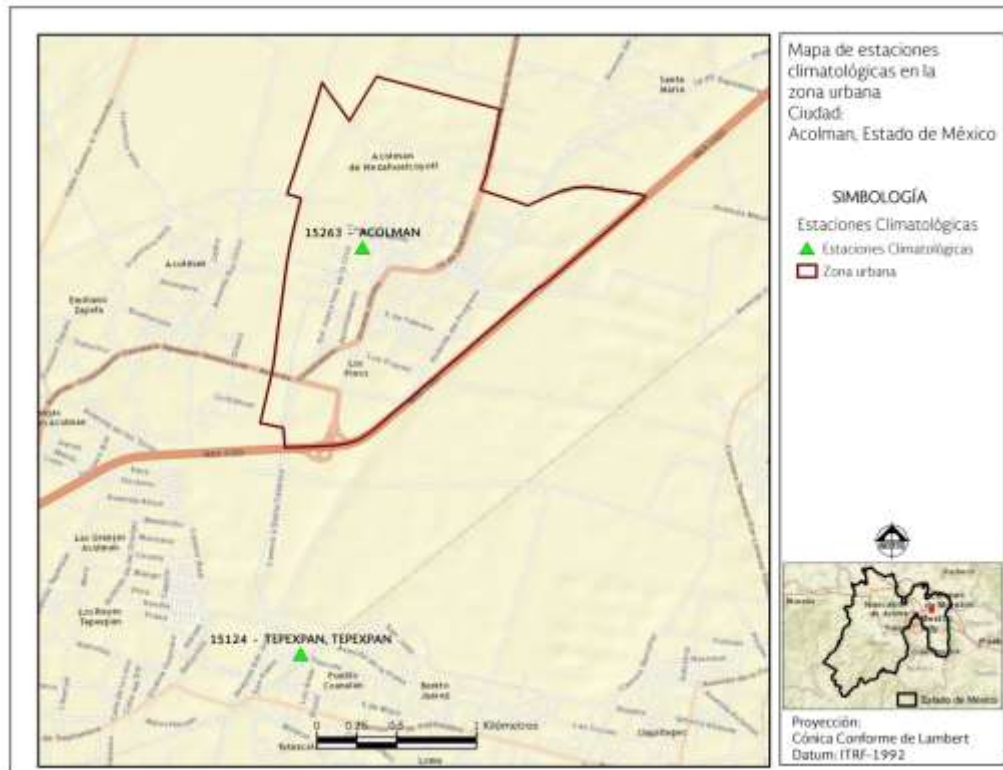


Figura 3.10 Estaciones climatológicas en la zona urbana de Acolman



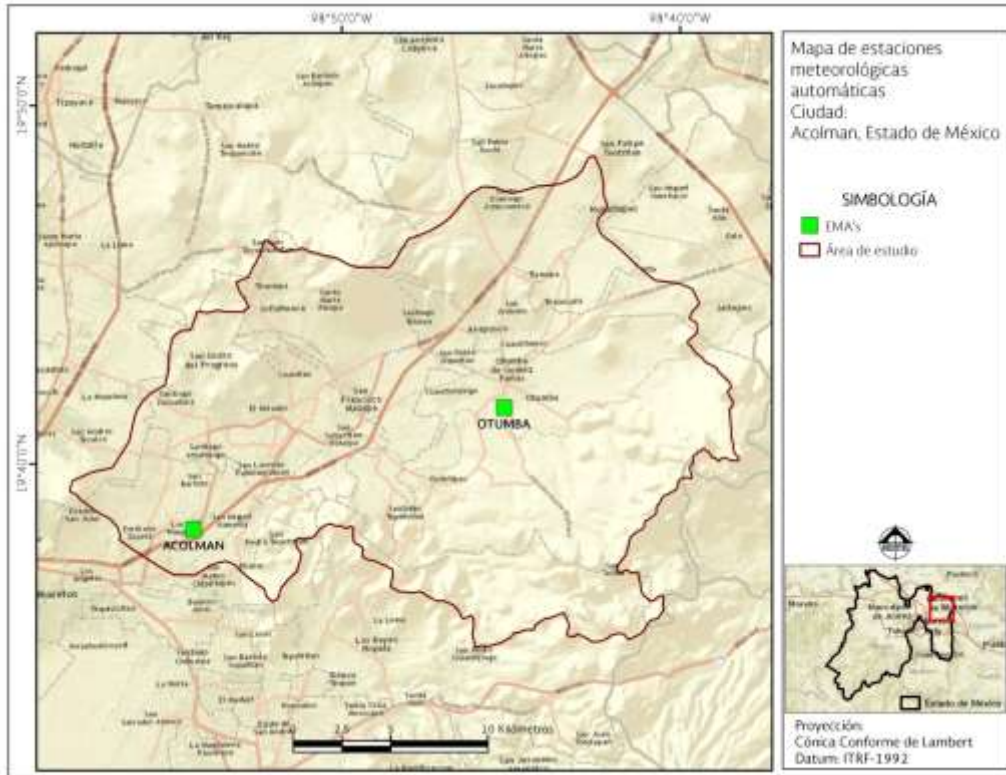


Figura 3.11 EMA's

### 3.3.6 Escurrimientos

El municipio de Acolman forma parte de la Región Hidrológica número 26 denominada Río Pánuco, específicamente en la subregión hidrológica 26F Valle de México. La cuenca correspondiente al territorio de Acolman es la 2669 Texcoco que corresponde a los antiguos Lagos de Texcoco y Xaltocan, con características de una cuenca endorréica.

El municipio carece de corrientes pluviales y cuenta con los arroyos de caudal San José y el San Antonio, comúnmente denominados río Grande y río Chico, que provienen de la traza distribuidora de los manantiales de Teotihuacán. Estos arroyos conjuntamente con el llamado repartidor, forman un solo cauce que determina el Nezquipaya o Lago de Texcoco con caudal durante la época de lluvias, denominado río Grande que viene desde el municipio de Otumba. Las tres corrientes analizadas en la modelación hidráulica son el Río Chico (parte izquierda de la zona urbana), Río Grande o San Juan (al centro) y un canal (parte izquierda).

El municipio carece de manantiales, dispone de pocos bordos para almacenar corrientes de agua que puedan destinarse al cultivo de riego. El agua potable para el consumo humano es extraída de pozos profundos.

De acuerdo con los datos de la CONAGUA, el municipio de Acolman se encuentra dentro de la Zona II-3 A, en donde se presenta un déficit de agua con una disponibilidad media y



acuíferos de baja producción, por lo que se requiere un racional aprovechamiento del agua subterránea y superficial, así como del tratamiento y re uso de las aguas servidas<sup>9</sup>.

#### a) Superficial

La hidrología superficial del municipio de Acolman es de 138.9 ha equivalente al 1.59% de la superficie total del municipio, la cual está comprendida en dos regiones: la primera inicia en la zona montañosa de la Sierra Patlachique, ubicada al oriente del mismo; se encuentra formada por arroyos intermitentes que aparecen en periodos de lluvias (junio - agosto). Las corrientes mayormente se infiltran en las inmediaciones de la estructura montañosa y los valles que se forman, para terminar en los mantos freáticos.

La segunda es la principal corriente superficial del municipio, el Río Grande, el cual se caracteriza por ser un sistema dendrítico, se forma en el Cerro Gordo atravesando la región de Teotihuacán y Acolman, atraviesa el municipio en sentido norte-sur y en su mayor parte conduce aguas residuales; el Río San Lorenzo o Río Chico se une al cauce del Río Grande al paso de Teotihuacán, para finalmente descargar en el vaso del Lago de Texcoco, a través del colector de Nexquipaya.

Asimismo, en la zona conocida como La Laguna al sur poniente del municipio, se tienen cuerpos de agua de pequeños volúmenes, que se originan por el agua descargada de la Planta Termoeléctrica de CFE. Cabe mencionar que en la zonas altas se dan pequeños embalses o jagüeyes, colectores de aguas pluviales destinados principalmente como abrevaderos para el ganado y en menor proporción de uso agrícola.

#### b) Subterránea

El manto freático se encuentra a profundidades que oscilan entre 30 y 40 m, entre piedras basálticas y sedimentos aluviales, terciarios y recientes, presentando una permeabilidad alta. Dichos cuerpos de agua son libres con un comportamiento que depende de las condiciones del depósito en que se encuentran. Se cuenta con 25 pozos de agua potable y 32 agrícolas con una profundidad en promedio de 186 m, los cuales se consideran como sobreexplotados y como zona de veda dura ya que el total del agua demandada para el municipio, tanto de consumo urbano como agrícola, es extraída de los mantos acuíferos y se ha observado un abatimiento anual del nivel equivalente a 1.20 m.

Los acuíferos se encuentran en rocas basálticas y sedimentos aluviales, terciarios y recientes, debido a esta conformación, el municipio presenta una permeabilidad alta; los acuíferos que existen con esta condición son libres y su comportamiento depende de las condiciones de depósito en que se encuentran localizadas.

Respecto a las unidades geohidrológicas, dentro del municipio se localizan cuatro clases diferentes, entre las que se encuentra la zona multiacuifera del Valle de México, decretada en veda rígida para la perforación de nuevos pozos. Las características de cada unidad se mencionan a continuación:

---

<sup>9</sup> Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Acolman. H. Ayuntamiento de Acolman, Estado de México. (243 pp.). Recuperado el 20 de octubre de 2015 de: [http://seduv.edomexico.gob.mx/planes\\_municipales/acolman/PMDU%20Acolman%20ok.pdf](http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/acolman/PMDU%20Acolman%20ok.pdf)

- Material consolidado con posibilidades bajas. Es poco permeable; ya que no se encuentra formando grietas ni fracturas que permitan el almacenaje de agua, se localiza en las partes más altas.
- Material no consolidado con posibilidades bajas. Esta unidad se encuentra formando grietas y fracturas que permiten el almacenamiento de agua en el subsuelo, pero tiene la característica de ser poco permeable, se localiza en las áreas con poca pendiente, en San Mateo Chipiltepec, Xometla y Tepetitlán.
- Material no consolidado con posibilidades medias. Este sustrato geológico se encuentra formando grietas y fracturas, las cuales permiten la formación de pozos, ya que es de mediana permeabilidad. Este material geológico se localiza en la parte poniente y norponiente del municipio donde se ubican las localidades Emiliano Zapata, San Marcos Nepantla, Tepexpan y Totolcingo.
- Material no consolidado con posibilidades altas. El material que la constituye es muy permeable y se encuentra formando grietas y fracturas que permiten el almacenamiento de agua en el subsuelo, se localiza en los suelos aluvial y lacustre localizados en la parte central y sureste del municipio, donde se localizan la Cabecera Municipal, Cuanalán, San Bartolo, San Francisco Zacango y Santa Catarina.

Aguas abajo de la zona urbana y subcuencas de aportación se localizó la estación hidrométrica 26194 Tepexpan. Esta estación se utilizó para llevar a cabo el análisis hidrológico para determinar los hidrogramas de entrada de cada subcuenca de aportación.

Para fines de calibración del modelo hidrológico se utilizaron los datos registrados en esta estación hidrométrica Tepexpan, la cual se encuentra aguas abajo de la zona urbana de Acolman sobre el río San Juan (Figura 3.12).

Tabla 3.6 Estación hidrométrica

No	Clave	Nombre Estación	Tipo	Años de registro		
				Desde	Hasta	No. años
1	26194	Tepexpan	Río	1945	1988	48
				1992	1994	
				1999	1999	

### 3.4 Características geomorfológicas de los cauces y planicies de inundación

El municipio de Acolman se encuentra en la geomorfa del Eje Neovolcánico Transversal, dentro de la Provincia Ecológica de los Lagos y Volcanes de Anáhuac, caracterizada por el predominio de rocas volcánicas en las partes altas, que constituyen el 58.76% de la superficie municipal y enmarcan un valle central, cuyo extremo surponiente se une a la cuenca de lo que fue el gran lago de Texcoco.

La geomorfología de esta provincia se caracteriza por la presencia del valle al centro, el cual es la parte sur del Valle de Teotihuacán, enmarcado al oriente por la sierra Platachique, de acusadas pendientes donde predominan las de más de 25% y donde se ubican los cerros: La Cruz, Metecatl, Xoconusco, Tezontlate y Huixtoyo, cuyas alturas no rebasan los 2,500 msnm, con excepción de éste último cuya altura es de 2,600 msnm, al límite sureste del municipio. Esta altura es la mayor que se presenta.

El cerro de Chiconautla es la forma geológica que domina al poniente del valle, con suaves pendientes, menores al 15% que se acusan en la parte más alta y que sólo rebasan el 25% en el pico mayor que alcanza los 2,590 msnm, al centro del límite poniente del municipio. Las elevaciones del municipio corresponden a una superficie del 13% de la extensión total municipal. Las llanuras del municipio con una superficie del 87% de la extensión total municipal se componen por el valle central y los terrenos más bajos del municipio en el sudponiente.

La geología del municipio está constituida por rocas de material solidificado, tobas de tipo basáltico en ambas sierras, inclusive en las partes bajas del cerro de Chiconautla, en pendientes que van del 4 al 6%, se funden con el valle propiamente dicho, cubiertas por los suelos de aluvión. En la Sierra Patlachique, se suman rocas ígneas extrusivas ácidas y reolitas.

Estructurados por material solidificado hay en el municipio ocho aparatos volcánicos, seis menores localizados en la Sierra de Patlachique, otro en la de Chiconautla, donde confluyen los límites ejidales de Tepexpan, Totolcingo y Sta. Catarina, sobreexplotado como banco de material por tres francos, actualmente se puede apreciar la chimenea expuesta lateralmente en la parte alta y, el Volcán Cerro Chiconautla, en el límite poniente del municipio. Los volcanes han influenciado el Valle de Acolman con material volcánico del plioceno, y la gran cantidad de cenizas volcánicas que cayeron en forma de lluvia durante las erupciones o transportadas por el escurrimiento de aguas pluviales sobre las montañas, conformando una geología de suelos aluviales profundos en la parte central y más baja del valle, hasta poco más arriba de la cota 2,250 msnm, la cual contrasta con los suelos lacustres de la zona más baja (2,230 msnm aprox.) del sudponiente.

Como único recurso geológico del municipio están los bancos de material para la construcción y no tiene ningún banco de mineral de tipo metálico. Cabe mencionar, que dentro del territorio de Acolman existen 6 barrancas con escurrimientos intermitentes ubicadas en la Sierra Patlachique.

La red de corrientes dentro de la cuenca de aportación a la ciudad de Acolman presenta una trayectoria con dirección de este a oeste, y dentro de la zona urbana es de norte a sur. Las pendientes de los ríos principales oscilan entre el 0.03 y 1.21 %. Los tiempos de concentración varían entre 1.64 hrs y 3.08 hrs.

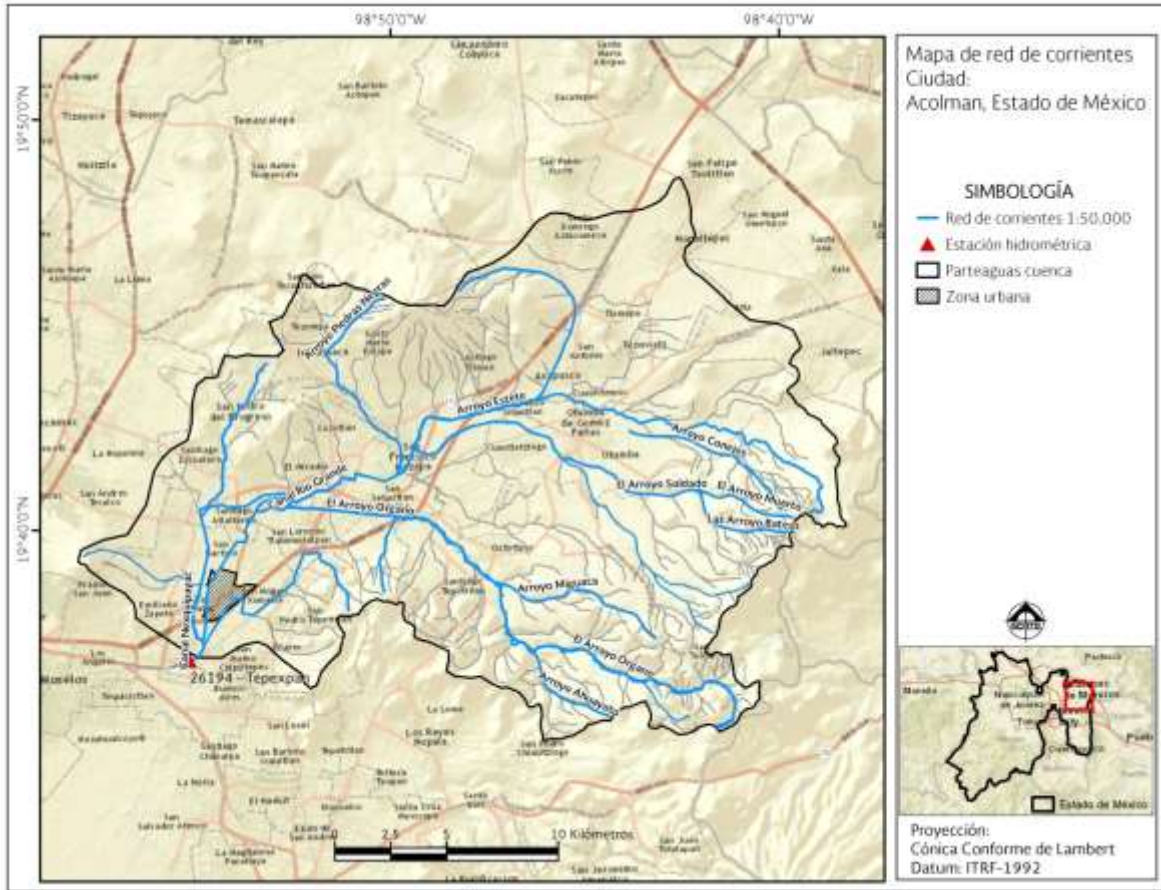


Figura 3.12 Ríos principales y estación hidrométrica

Dadas las condiciones del sistema hidrológico es importante resaltar que el conjunto de subcuencas 1, 2 y 4 representa un hidrograma de entrada al modelo hidrológico; las subcuencas 3 y 5 son hidrogramas de entrada independientes; la subcuenca 6 representa el área urbana de Acolman la cual se delimitó hasta la estación hidrométrica Tepexpan para fines de calibración, considerando así todo el conjunto de subcuencas que drenan hacia la estación hidrométrica que cuenta con datos medidos históricamente.

El tiempo de respuesta del primer sistema es de 4.9 horas, las subcuencas 3 y 5 tienen un tiempo de concentración de 2.2 y 1.6 horas respectivamente, mientras que el área urbana tiene un tiempo de concentración de 2.4 horas. Cabe recalcar que los valores del número de escurrimiento  $N$  son elevados debido a la combinación del tipo de suelo o edafología y del uso del suelo. Los valores mayores se presentan en las cuencas 3 y 1, lo que significa que hay menos infiltración y por lo tanto mayor escurrimiento.

Para calcular las avenidas de diseño en cada una de las subcuencas, es necesario calcular la precipitación efectiva, existen varios métodos para realizar esto, entre los cuales está el de los Números de Escurrimiento  $N$ , el cual se aplica a cuencas no aforadas ya que depende exclusivamente del uso del suelo, de la cobertura vegetal, del tipo de suelo y de la humedad antecedente.

El valor del número de escurrimiento es un valor que oscila entre 6 y 100, siendo los valores correspondientes para suelos muy permeables y suelos impermeables respectivamente.

Para el cálculo del N primeramente se clasifica la edafología o tipo de suelo que conforma la cuenca en los grupos siguientes (CNA, 1987):

- Tipo A.- Suelos de gravas y de arenas de tamaño medio, limpias y mezclas de ambas. Estos generan el menor escurrimiento.
- Tipo B.- Suelos de arenas finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezcla de arena y limo. Generan escurrimiento inferior al medio.
- Tipo C.- Suelos de arenas muy finas, arcillas de baja plasticidad, mezcla de arena, limo y arcilla. Generan escurrimiento superior al medio.
- Tipo D.- Suelos arcillosos de alta plasticidad, con subhorizontes casi impermeables cerca de la superficie. Generan el mayor escurrimiento.

De acuerdo con los mapas de edafología, se clasificó el suelo en los cuatro grupos (Tabla 3.7), para lo cual se apoyó en la tabla presentada en el manual de la CNA (1987).

Tabla 3.7 Descripción de los cuatro grupos de suelo

Grupo de suelo	Textura del suelo
A	Arenas con poco limo y arcilla; suelos muy permeables
B	Arenas finas y limos
C	Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla
D	Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con subhorizontes de roca sana; suelos muy impermeables

Con los suelos clasificados por grupos y el tipo de cobertura vegetal y su uso, se obtienen los valores de número de escurrimiento para toda la zona de aportación al área urbana, además se obtienen los valores medios para cada subcuenca (Ver Figura 3.13).

Un resumen de los valores de N por subcuenca se muestra en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Valores del número de escurrimiento N por subcuenca

Subcuenca	Longitud del cauce principal (m)	Pendiente del cauce principal	Área subcuenca (km <sup>2</sup> )	Tiempo de concentración (hr)	Número de curva N (SCS)
1	25,516.31	0.0121	290.19	3.1	83.8
2	23,773.90	0.0091	81.07	3.0	80.5
3	11,888.90	0.0024	44.46	2.2	84.2
4	13,756.03	0.0007	51.22	1.9	82.6
5	9,019.95	0.0030	22.97	1.6	81.6
6	4,277.64	0.0003	12.42	2.4	80.0

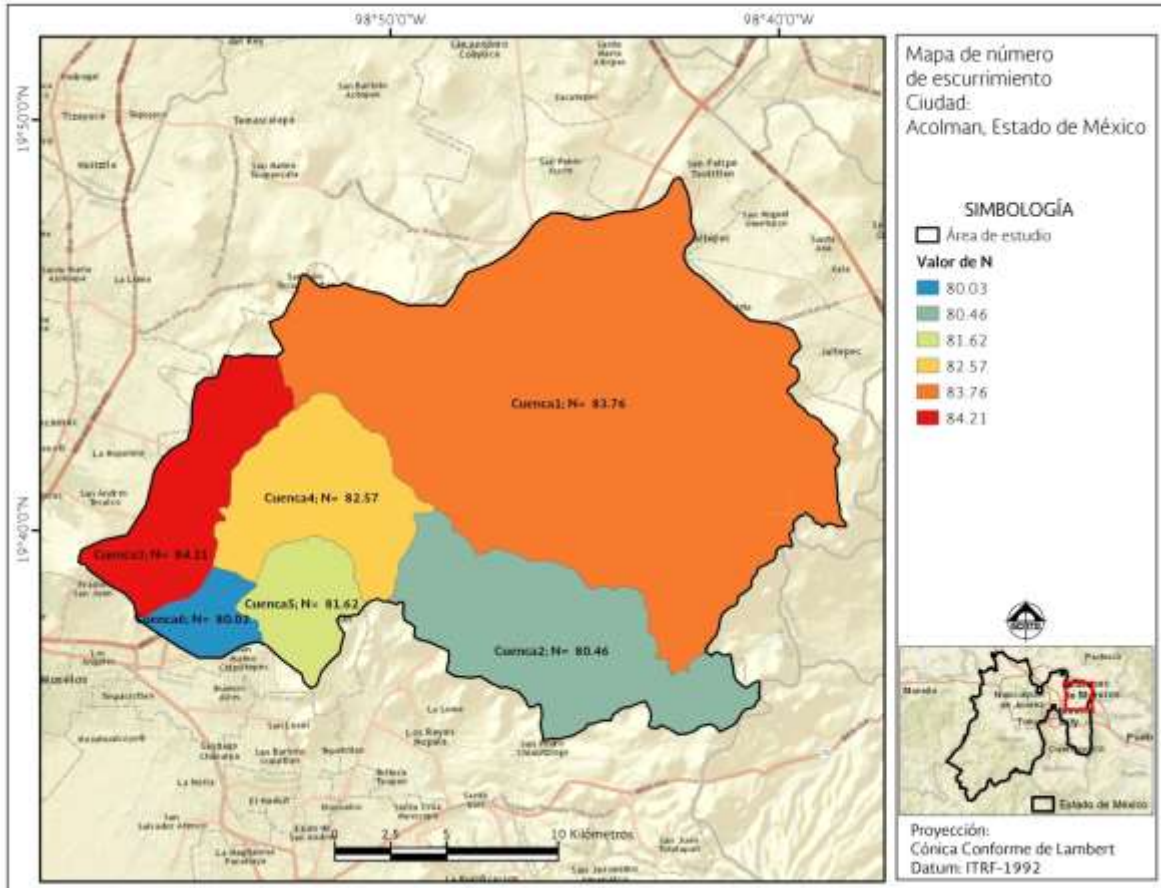


Figura 3.13 Variación del número de escurrimiento por subcuenca

### 3.5 Descripción de inundaciones históricas relevantes

Debido a la topografía del suelo que acusa zonas de serranía y cerros separados de 2,500 m.s.n.m. en promedio, con áreas de escurrimientos y llanuras sensiblemente planas, cuya inclinación se dirige a la zona del ex-vaso del Lago de Texcoco, se puede denotar problemas de inundaciones en las partes más bajas encontradas en el sur poniente del municipio. Estas zonas son en las que se tiene el mayor crecimiento de áreas urbanas por su cercanía con la ciudad de México.

El problema de las inundaciones en el Valle de México proviene desde épocas precolombinas. Los primeros asentamientos se dieron en un islote al poniente del Lago de Texcoco, hoy prácticamente desecado, sobre el que se asienta la actual Ciudad de México. Con el crecimiento de la población se ha venido comprimiendo el lago para dar lugar a una ciudad cada vez más grande.

Los aztecas tuvieron que construir el Albaradón de Nezahualcóyotl, para prevenir las inundaciones y evitar la mezcla de aguas salobres del Lago de Texcoco con las aguas dulces de los lagos de Apán, Techac, Tecocomulco, Zumpango, Xaltocan y Chalco-Xochimilco.

A la llegada de los españoles con planes de conquista, destruyeron toda la infraestructura hidráulica realizada por los aztecas. Si bien durante varios años no

padecieron las consecuencias de las inundaciones, fue en 1553 cuando llovió cerca de 24 horas, sin la albarrada se desbordó el Lago de Texcoco, el nivel de agua creció dramáticamente y nadie pudo detenerlas. Posteriormente en 1629 se registró una de las más grandes inundaciones provocando graves afectaciones, murieron 30,000 personas y aproximadamente 20,000 familias españolas tuvieron que emigrar.

En el siglo XX y ya con gran parte de la infraestructura pluvial conocida, se dieron inundaciones en 1949 dejando 100 muertos en la ciudad de Pachuca, Hidalgo; en 1950 se inundó de agua y lodo 2/3 partes del Distrito Federal. En 1990, en la subregión de las Avenidas de Pachuca en Hidalgo, resultaron afectadas parcialmente 53,137 hectáreas de cultivos durante el paso del Huracán Diana.

En el presente siglo, en el año 2000 se registraron 4 horas de lluvia que provocaron el anegamiento de 1,000 viviendas con 30 cm de agua en el municipio de Ecatepec, Estado de México. En el 2007 el Huracán Dean provocó una tormenta de 30 millones de m<sup>3</sup> en un periodo de 20 horas sobre el Distrito Federal y en el estado de Hidalgo se declaró zona de desastre.

De acuerdo a diversas fuentes hemerográficas, en la actual zona urbana de Acolman de Nezahualcótl se han registrado diversos episodios en los que ocurrieron inundaciones, algunas de ellas históricas, que en su momento causaron estragos en iglesias y conventos. Algunas de éstas corresponden a los años 1629, 1645, 1772, 1773 y ya en el siglo XX en el años de 1925.

De acuerdo al Atlas estatal de Inundaciones núm. 17 en 2010 se registró una inundación urbana en el municipio que registró tres sitios afectados y una población de 675 habitantes. Las inundaciones de 2010 fueron ocasionadas por una precipitación pluvial extraordinaria, infraestructura hidráulica inexistente y hundimientos diferenciales de terreno, lo que provocó que se alcanzaran niveles del orden de 0.20 m y en otros hasta de 0.40 m. Además se concentró el agua pluvial por varios días, resultando afectados, el mercado de la zona y una escuela primaria.

La inundación más reciente de la que se tiene registro data de mayo del 2014, en el que la capacidad y las malas condiciones de la infraestructura en redes de drenaje en la temporada de lluvias son las causantes de éstas. El Atlas estatal de Inundaciones núm. 21 reporta afectaciones en la colonia Las Brisas y señala que la inundación fue provocada por una precipitación pluvial extraordinaria.

De acuerdo con la información recabada con los habitantes que se entrevistaron durante la visita de campo a la ciudad de Acolman, se identificaron las siguientes zonas que históricamente sufren de problemas de inundación por desbordamiento de ríos, destacando la zona del Ex-Convento de San Agustín, la parte noroeste de la zona urbana, y la zona sur principalmente, así como algunas zonas encharcadas por acumulación de lluvia (figura 3.14).



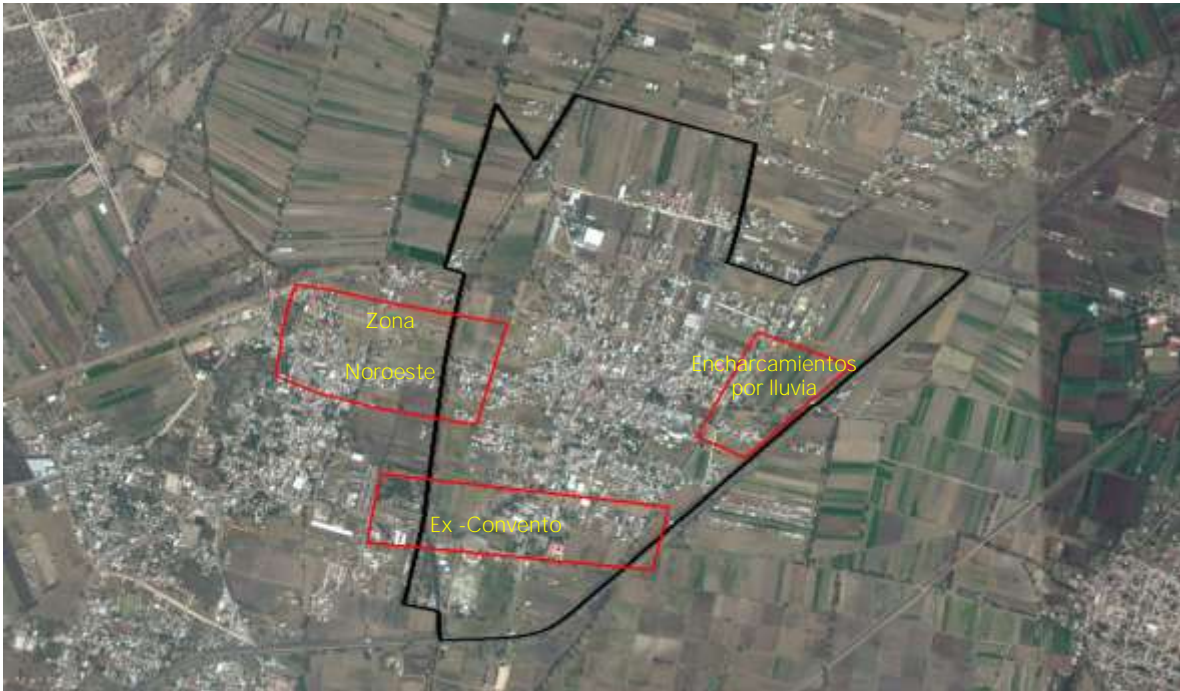


Figura 3.14 Zonas inundables de la ciudad de Acolman identificadas en la visita de campo



## 4 Diagnóstico de las zonas inundables

### 4.1 Monitoreo y vigilancia de variables hidrometeorológicas

La red mínima de estaciones permite evitar deficiencias graves en el desarrollo y gestión de los recursos hídricos, la organización Meteorológica Mundial (OMM)<sup>10</sup> recomienda establecer un mínimo de estaciones climatológicas bajo las siguientes consideraciones (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie, en km<sup>2</sup> por estación)

Unidad fisiográfica	Precipitación	
	No registradoras (Pluviómetro)	Registradoras (Pluviógrafo)
Costa	900	9,000
Montaña	250	2,500
Planicie interior	575	5,750
Montes/ondulaciones	575	5,750
Áreas urbanas	-	10 a 20

En la zona de estudio se localizan siete estaciones climatológicas convencionales (ECC) y dos estaciones meteorológicas automáticas (EMA) en operación, por lo que para el análisis de densidad se divide el área total de la cuenca de aportación (502.33 km<sup>2</sup>) entre el número de estaciones en operación. Al evaluar la densidad de estaciones a lo largo de la zona de estudio encontramos lo siguiente:

Tabla 4.2 Densidad de estaciones climatológicas en el área de estudio

No	Tipo	Nombre	Estado	Área (km <sup>2</sup> )	Unidad fisiográfica	Cumple
1	ECC	15022- Chiconautla, Ecatepec	México	55.81	Planicie interior	Si
2	ECC	15055- Maquixco, Temascalapa	México	55.81	Planicie interior	Si
3	ECC	15065- Otumba	México	55.81	Áreas urbanas	-
4	ECC	15090- Sn. Jerónimo, Xonacahuacan	México	55.81	Planicie interior	Si
5	ECC	15124- Tepexpan, Tepexpan	México	55.81	Áreas urbanas	-
6	ECC	15135- Xochihuacan, Otumba	México	55.81	Planicie interior	Si
7	ECC	15263- Acolman	México	55.81	Áreas urbanas	-
8	EMA	ACOLMAN	México	55.81	Áreas urbanas	No
9	EMA	OTUMBA	México	55.81	Áreas urbanas	No

El análisis de densidad de estaciones de monitoreo de variables hidrometeorológicas se observan enseguida (Figura 4.1).

<sup>10</sup>Organización Meteorológica Mundial (OMM). Guía de prácticas hidrológicas. Sexta edición, 2011.

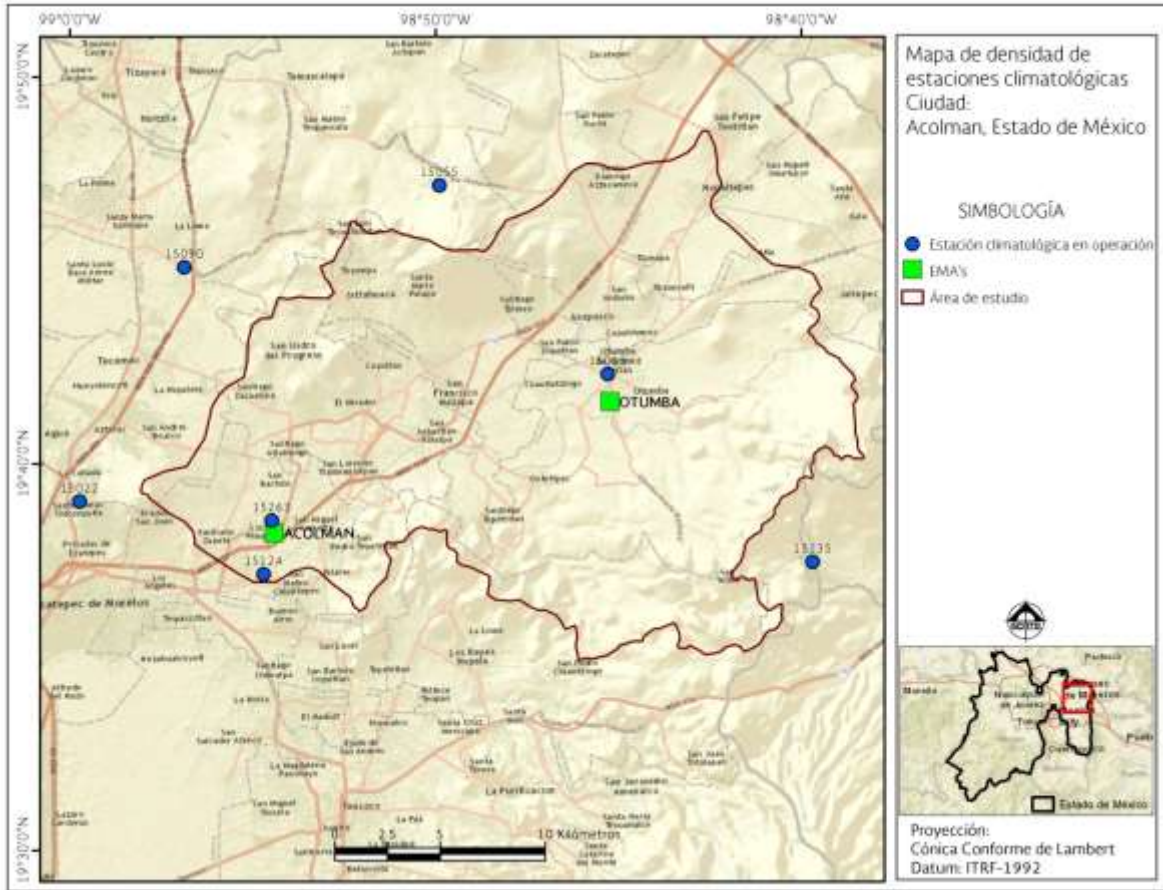


Figura 4.1 Densidad de estaciones climatológicas

#### 4.2 Pronóstico de avenidas y sistemas de alerta temprana

A pesar que en el año 2000 surgió el SIAT (Sistema de Alerta Temprana) como una herramienta de coordinación en el alertamiento a la población y en la acción institucional, ante la amenaza ciclónica, que se sustenta en la interacción de los principales actores del Sistema Nacional de Protección Civil: la sociedad civil y sus organizaciones; las instituciones de investigación del fenómeno hidrometeorológico e inclusive quienes estudian sus efectos sociales; los medios de comunicación masiva y la estructura gubernamental del Sistema Nacional de Protección Civil. Únicamente se han producido aportaciones a la coordinación interinstitucional de contingencias derivadas por la amenaza o impacto de ciclones tropicales. Dichas aportaciones se han producido de manera centralizada, teniendo una aceptación en términos generales buena, ya que ésta se va dando de manera parcial y paulatina; es decir, los diversos mecanismos de alertamiento con que cuentan todas las instancias que intervienen en la atención de emergencias derivadas al fenómeno que nos ocupa, aún difieren entre sí, convirtiéndolos en esfuerzos aislados.

Por lo anterior, el SIAT debe ser complementado con los planes y procedimientos que todos los integrantes del Sistema Nacional de Protección Civil desarrollen o adecuen para estar en concordancia con el mismo y así lograr una verdaderamente efectiva

coordinación en el alertamiento y en las acciones previas a la llegada de un ciclón tropical a tierra, evitando que un fenómeno natural se convierta en un desastre.

#### 4.3 Funcionalidad de las acciones estructurales y no estructurales existentes

##### Acciones estructurales

Por la falta de un sistema de drenaje entubado, las aguas residuales de las áreas urbanas descargan a canales a cielo abierto y en algunos casos al río Grande, terminando, en todos los casos, drenándose al subsuelo en su recorrido, evaporándose o al final del recorrido estancándose, presentándose un fenómeno de contaminación de las aguas pluviales; se podría dar un fenómeno de inundación en épocas de lluvia extrema.

La parte del municipio en donde se presenta el problema de descarga de aguas negras, es principalmente al sur del municipio (al sur de la zona conocida como radiofaro), ya que corre un canal de aguas negras en donde descargan las localidades del municipio, a lo largo de la vía del FFCC.

La fuente de abastecimiento de agua potable es por explotación de los mantos acuíferos a través de 57 pozos, siendo 25 para uso urbano y 32 para el riego agrícola. El almacenamiento es mediante tanques elevados y superficiales. Se presenta abatimiento de los mantos freáticos del orden de 1.20 m en tiempo de secas.

De los pozos destinados a uso urbano, solamente un pozo es administrado por el municipio el cual pertenece a la colonia Granjas Familiares, ubicada al norte de Tepexpan. Los 24 pozos restantes son administrados por particulares, ya que inicialmente fueron concesionados para uso de riego a los ejidos y actualmente se utilizan para abastecer de agua potable a las colonias y pueblos, como propiedad comunal están administrados por órganos locales, siendo independientes los sistemas de distribución de cada pueblo o localidad.

##### Acciones no estructurales

De las acciones no estructurales relacionadas al problema de las inundaciones en la zona urbana de Acolman se encontró información a través de fuentes hemerográficas y oficiales. Las acciones que predominan son campañas de limpieza y reforestación encabezadas por instancias gubernamentales y con la participación de empresas u otros actores privados, en las que se invita a la comunidad participar. No obstante, en la mayoría de los casos se trata de acciones aisladas que aprovechan alguna coyuntura como el día del árbol, del medio ambiente o la proximidad a la temporada de lluvias, pero no se perciben como parte de un plan de mayor alcance en el rubro de la educación y la cultura de la prevención y el cuidado del ambiente, en donde se inscriben situaciones de inundaciones.

Es un hecho que a pesar de ser actividades que tienen impacto principalmente en medio de comunicación locales, o nacionales si es que están inscritas en campañas de alcance nacional, es limitada la participación comunitaria y de alguna manera pasiva. Ello también debido a que las campañas de reforestación, limpieza de calles y cauces no suelen incluir mecanismos de evaluación de su impacto, por ejemplo, en la modificación de hábitos negativos. Falta entonces, evaluar los impactos de las campañas e inscribirlas en planes de educación y cultura ambiental y de prevención de riesgos. Una sociedad más educada

será más consiente y tendrá más elementos para coadyuvar a la prevención y reducción de los riesgos a las inundaciones.

Dentro de la educación y la cultura ambiental y de la prevención a situaciones como las inundaciones, se encuentran actividades como la capacitación y la impartición de cursos y talleres. Sin embargo, éstos son escasos –o por lo menos no hay mucha información sobre ellos– y en ocasiones suelen dirigirse a la población en general. Haría falta considerar aspectos como grupos de edad, sectores, ubicación, entre otros, para definir sus contenidos.

Por otro lado, es necesario que en el ámbito urbano exista una visión y un compromiso de multi-actores en el que estén representados e involucrados los distintos órdenes de gobierno, autoridades locales, sociedad civil organizada, empresas, la academia e instituciones de investigación, al igual que voluntarios. Si se acepta el hecho de que el riesgo es una construcción social e histórica, los actores que la conforman, deberán jugar un papel activo y su representación ser real y efectiva. Pero más aún, si se acepta que la vulnerabilidad va de la mano con la pobreza, con deplorables condiciones de vida y con falta de oportunidades para superar esa condición, entonces será necesario actuar sobre los procesos que incrementan la vulnerabilidad de las poblaciones urbanas.

En el ámbito urbano, éstos están estrechamente ligados a aspectos de planificación, de desarrollo urbano, de ordenamiento territorial y de herramientas legales e institucionales que las hagan posibles social, política y financieramente. Por ello, difícilmente se pueden desligar aspectos de la gestión urbana –ya ambiental, ya social, ya de vivienda– de la producción social de las condiciones de riesgo y de un eventual desastre. Es entonces dentro de la dinámica de la gestión urbana donde deben analizarse los riesgos a las inundaciones en zonas urbanas.

#### 4.4 Identificación de los actores sociales involucrados en la gestión de crecidas

Los desastres son procesos sociales complejos, en los que la participación ciudadana constituye un elemento clave antes, durante y posterior a su ocurrencia. No obstante, su actuación parece estar al margen del marco de la actuación gubernamental, o desdibujada, limitándose a denunciar y exigir más de la intervención gubernamental.

En este apartado se considera a los actores sociales como la sociedad civil organizada o no, es decir, la comunidad y su intervención antes, durante y después de un evento de inundación, pudiendo ser organizaciones civiles, asociaciones de productores, asociaciones vecinales, personas que habitan en zonas de riesgo de inundación, etcétera.

La participación comunitaria en acciones previas a las inundaciones, en general en la sociedad mexicana, se constriñe a la participación en campañas de limpieza de cauces y arroyos que atraviesan la ciudad antes del inicio de la temporada de lluvias, entre otro tipo de acciones. No obstante, esta participación es muy limitada, ya que por lo general se reduce a grupos comunitarios específicos: alumnado de centros de enseñanza, habitantes de colonias próximas a los ríos, simpatizantes de grupos políticos o funcionarios públicos, por mencionar algunos.

Durante las inundaciones, la participación comunitaria se expresa en forma de denuncia, protesta y exigencia a las autoridades correspondientes, por lo general a las más próximas. En esta etapa, más que de participación organizada activa y propositiva, se observa la reacción de quienes resultaron afectados y que buscan ser visibles ante las

autoridades competentes para ser considerados posteriormente como sujetos de apoyo y así lograr obtener algo a cambio de sus pérdidas.

Posterior a las inundaciones, en lo que en la declaratoria de desastres se denomina etapa de reconstrucción, la sociedad civil intensifica su presencia en el mismo sentido que en la etapa anterior, es decir, en la denuncia y la exigencia a los actores gubernamentales, a quienes considera son los responsables de la situación. No obstante, a otro nivel de participación comunitaria, operan otros mecanismos al margen de la acción gubernamental como las organizaciones vecinales, redes familiares, grupos solidarios y similares que posibilitan a nivel familiar y vecinal reestablecer la normalidad tras el impacto de situaciones como las inundaciones.

Para el caso particular de la zona urbana de Acolman, no se encontró información acerca de asociaciones vecinales que hayan organizado o realizado acciones en el marco de episodios por inundaciones.

#### 4.5 Identificación de la vulnerabilidad a las inundaciones

Es ampliamente aceptado que las condiciones de la población mexicana no son homogéneas, y que al interior de ella existen desigualdades que los hacen más o menos vulnerables a los impactos que representan peligro o riesgo y que pueden decantar en un desastre. La vulnerabilidad urbana estará en función de la situación que caracterice a cada grupo de población en todas y cada una de las dimensiones en las que ésta se compone; a saber, física, económica, social, cultural, entre otras. Analizar las condiciones de vulnerabilidad de los grupos afectados es clave para comprender el proceso de construcción de situaciones de riesgo.

En este sentido, se puede establecer una conexión entre vulnerabilidad y marginación, si se considera que ésta última se asocia a la carencia de oportunidades sociales y a la ausencia de capacidades para adquirirlas o generarlas, pero también a privaciones e inaccesibilidad a bienes y servicios fundamentales para el bienestar. De acuerdo a Conapo, las comunidades marginadas enfrentan escenarios de elevada vulnerabilidad social cuya mitigación escapa del control personal o familiar (Conapo, 2011 y 2012), pues esas situaciones no son resultado de elecciones individuales, sino de un modelo productivo que no brinda a todos las mismas oportunidades.

En la literatura especializada se encuentran diversas propuestas para estimar la vulnerabilidad, las cuales están en función de factores diversos, entre ellos el tipo de impacto al que se es vulnerable. Para el caso que nos ocupa, sería la vulnerabilidad a inundaciones. El análisis que aquí se presenta tiene como base el Índice de Marginación Urbana (IMU) correspondiente al 2010 y se complementa con el uso de variables socioeconómicas resultantes del Censo de Población y Vivienda 2010 por manzana urbana que no están representadas en el IMU. De acuerdo a INEGI, el IMU es una medida-resumen que permite diferenciar AGEB urbanas del país según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, a los servicios de salud, la residencia en viviendas inadecuadas y la carencia de bienes.

Tabla 4.3 Dimensiones e indicadores del índice de marginación urbana por AGEB, 2010

Dimensión	Indicador
Educación	% Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela
	% Población de 15 años o más sin educación básica completa
Salud	% Población sin derechohabiencia a los servicios de salud
	% Hijos fallecidos de las mujeres de 15 a 49 años de edad
Vivienda	% Viviendas particulares habitadas sin drenaje conectado a la red pública o fosa séptica
	% Viviendas particulares habitadas sin excusado con conexión de agua
	% Viviendas particulares habitadas sin agua entubada dentro de la vivienda
	% Viviendas particulares habitadas con piso de tierra
	% Viviendas particulares habitadas con algún nivel de hacinamiento
Bienes	% Viviendas particulares habitadas sin refrigerador

Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010.

Como complemento a las dimensiones consideradas por el IMU, a saber, educación, salud, vivienda y bienes, se consideran tres más: ingresos, composición demográfica y discapacidad, con las variables de población desocupada para la primera dimensión, población menor de 5 años y mayor de 65 para la segunda y población con limitación en la actividad, que comprende limitaciones de movilidad, visual, auditiva, de comunicación y mental, para la última.

Tabla 4.4 Complemento del IMU

Indicador	Variable
Ingresos	Población desocupada
Composición sociodemográfica	Población menor de 5 años
	Población mayor de 65 años
Discapacidad	Población con limitación en la actividad

En relación al IMU 2010 por manzana, la localidad de Acolman presenta un mosaico más o menos homogéneo, en el que predomina un grado medio de marginación, como se puede observar en la figura. Ello significa que existen condiciones medias en indicadores de distribución de la población, educación, ingresos por trabajo y vivienda. En las manzanas del sector oriente, se observa un índice de marginación alto, lo que podría indicar una combinación de situaciones como insuficiencia de servicios, precariedad en el empleo, bajos niveles adquisitivos y deficientes condiciones de la vivienda y, por ende, apuntaría a una mayor vulnerabilidad a las inundaciones.

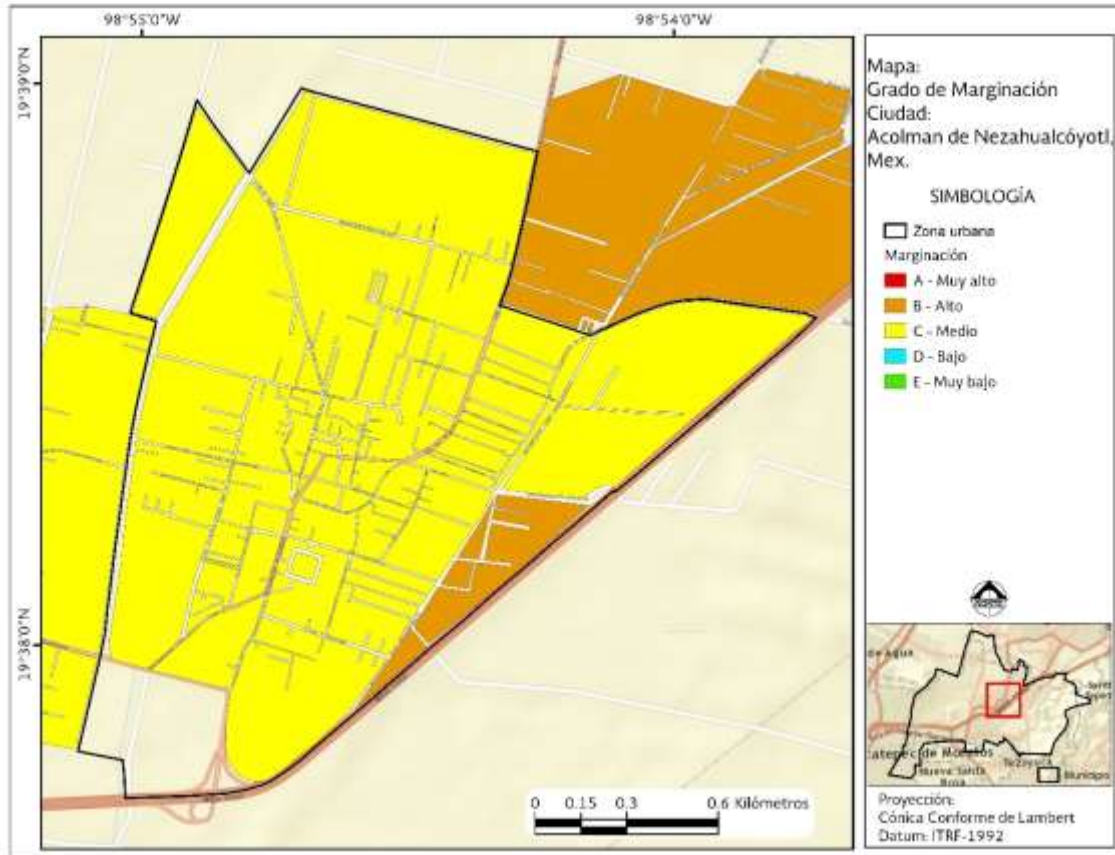


Figura 4.2 Grados de marginación en la zona urbana de Acolman, Estado de México

Lo que muestran los datos estadísticos complementarios es un porcentaje de 12.6 de población con limitación en la actividad que habría que considerar en el tema de las inundaciones, al igual que un porcentaje de población dependiente, y por tanto vulnerable. En este sentido, los datos indican que en promedio hay 2.8 personas por manzana que mayores a 65 años y 63.1 tienen limitación en la actividad. Por otro lado, la desocupación laboral en estas manzanas en promedio no es alta (0.8 personas por manzana); no obstante, es necesario tenerla presente como indicador que influye en el nivel de vida material de las personas.

Tabla 4.5 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Acolman, Estado de México

	Población total	Población menor a 5 años	Población mayor a 65 años	Población con limitación en la actividad	Población desocupada
Totales	5,571	276	151	707	39
Promedio	67.9	s/d	2.8	63.1	0.8
Porcentaje	100	4.9	2.7	12.6	0.7

## 5 Evaluación de riesgos de inundación

Cuando se incorpora la probabilidad de inundación a los mapas de áreas inundables, dicha información se transforma en mapas de peligro por inundación. En estos mapas de peligro se describen aquellas peculiaridades del suceso que lo pueden convertir en más o menos dañino. Por ejemplo, las profundidades y la velocidad del agua, la permanencia del agua o la carga de transporte de sólidos.

En los mapas de peligro se pueden identificar los distintos elementos (áreas agrícolas, carreteras, centros industriales, zonas urbanas) que pueden ser afectados por la inundación y a partir ellos, es posible determinar el nivel del potencial de impacto de la inundación sobre ellos.

En este capítulo se presenta la metodología y cálculos hidrológicos e hidráulicos, para poder evaluar el daño anual esperado para diferentes eventos de diseño.

### 5.1 Estimación de caudales y tormentas de entrada al sistema

La avenida de diseño para una obra hidráulica depende del periodo de retorno para el cual se diseña dicha obra. Para la determinación de la magnitud de la avenida es necesario hacer extrapolaciones a partir de los gastos máximos anuales registrados en el lugar donde se construirá la obra, pues casi siempre el periodo de retorno de diseño es mayor a la longitud del registro en años de gastos máximos anuales. Es evidente que la magnitud y la seguridad hidrológica de la obra dependerán del valor del gasto de diseño.

Sin embargo, cuando no se cuenta con información de escurrimientos en estaciones de aforo en la cuenca de estudio, es necesario la aplicación de un modelo lluvia escurrimiento para conocer los gastos en la salida de la cuenca o en cualquier otro sitio de la misma zona. En este estudio se cuenta con una estación hidrométrica aguas abajo de la zona urbana de Acolman sobre el río San Juan, la cual se analizó para calibrar los resultados del modelo lluvia escurrimiento.

#### 5.1.1 Cálculo de la precipitación media de diseño

La Coordinación Nacional de Protección Civil (CNPC), a través del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), interesada en la buena calidad de los estudios hidrológicos para elaborar mapas de peligro y riesgo por inundaciones, consideró pertinente elaborar mapas de isoyetas (altura de precipitación) con diferentes duraciones, asociados con distintos periodos de retorno, que proporcionan información importante para los Atlas de peligro o riesgo estatales y municipales, así como para el estudio de diferentes tipos de obras, que caen en el ámbito de otras dependencias del gobierno federal, organismos descentralizados y privados.

La información climatológica se obtuvo de la base de datos CLICOM, del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), dependiente de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que cuenta con alrededor de 5,338 estaciones en todo el país; sin embargo, las empleadas en este trabajo, corresponden a 2,243 estaciones pluviométricas instaladas en diferentes puntos del país. El número de estaciones utilizadas fue definido, básicamente, revisando que el registro histórico de cada estación contara con al menos 20 años de información válida, hasta diciembre de 2010.

Este trabajo abarca la totalidad del territorio nacional y presenta la información pluviométrica mediante mapas de isoyetas para cada uno de los Organismos de Cuenca



en los que la CONAGUA divide al país y, aunque fue elaborado para simular escenarios de inundación, a través de los que se definen, tanto mapas de peligro como de riesgo, es posible usarlo en proyectos de obras de infraestructura hidráulica (puentes, obras de protección, etc.).

Los periodos de retorno que se presentan son: 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 y 2000 años, mientras que las duraciones corresponden a 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30 y 40 días. El valor de la altura de precipitación máxima asociada con cada isoyeta está expresado en milímetros.

El análisis estadístico y probabilístico de la información se efectuó utilizando las distribuciones siguientes: Normal, Exponencial, Lognormal de 2 y 3 parámetros, Gama de 2 y 3 parámetros Gumbel y Doble Gumbel, en tanto que para determinar la bondad de cada una de las distribuciones de probabilidad a la serie de datos históricos, se usó el mínimo error estándar.

La Tabla 5.1, muestra el número de las mismas y también señala la cobertura media en  $\text{km}^2$  / estación.

Tabla 5.1 Distribución de estaciones pluviométricas con más de 20 años completos, en la República Mexicana

No.	Estado	Área	Estaciones pluviométricas		Cobertura Media
		(km <sup>2</sup> )	Existentes	Usadas	(km <sup>2</sup> /estac)
1	Aguascalientes	5,589	68	46	121.5
2	Baja California	70,113	130	36	1,947.60
3	Baja California Sur	73,667	160	72	1,023.20
4	Campeche	51,833	71	35	1,480.90
5	Coahuila	151,571	108	28	5,413.30
6	Colima	5,455	51	17	320.9
7	Chiapas	73,887	280	84	879.6
8	Chihuahua	247,087	328	58	4,260.10
9	Distrito Federal	1,499	63	30	50
10	Durango	119,648	148	83	1,441.50
11	Guanajuato	21,461	352	108	198.7
12	Guerrero	30,589	160	129	237.1
13	Hidalgo	63,794	220	66	966.6
14	Jalisco	20,987	139	180	116.6
15	México	80,137	282	105	763.2
16	Michoacán	59,864	242	93	643.7
17	Morelos	4,941	68	44	112.3
18	Nayarit	27,621	80	25	1,104.80
19	Nuevo León	64,555	167	55	1,173.70
20	Oaxaca	95,364	359	130	733.6
21	Puebla	33,919	206	97	349.7
22	Querétaro	11,769	58	33	356.6
23	Quintana Roo	50,350	43	20	2,517.50
24	San Luis Potosí	62,848	190	102	616.2
25	Sinaloa	58,092	180	51	1,139.10
26	Sonora	184,934	275	79	2,340.90
27	Tabasco	24,661	84	42	587.2
28	Tamaulipas	76,829	198	109	704.9
29	Tlaxcala	3,914	50	20	195.7
30	Veracruz	72,815	352	185	393.6
31	Yucatán	39,340	89	30	1,311.30
32	Zacatecas	75,040	137	51	1,471.40
	<b>TOTAL</b>	<b>1,964,173</b>	<b>5,338</b>	<b>2,243</b>	<b>1,092.90</b>

Para determinar las lluvias de diseño se utilizó en este trabajo el programa de cómputo llamado VELL (Visualizador de Escenarios de Lluvia) (Figura 5.1), desarrollado en el

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED<sup>11</sup>), con el cual se obtuvieron las alturas de precipitación para los periodos de retorno 2, 5, 10, 50 y 100 años (Tabla 5.2).

Estas alturas de precipitación corresponden a las precipitaciones máximas con duración de 24 horas, las cuales fueron obtenidas de la siguiente forma:

- Se delimitaron las cuencas tributarias o subcuencas de aportación al área de interés,
- Se determinaron los centroides de las subcuencas de aportación,
- Con las coordenadas de los centroides se utilizó la aplicación VELL para determinar las láminas de precipitación,



Figura 5.1 Interfaz del programa VELL elaborado por el CENAPRED

<sup>11</sup> CENAPRED, Mapas de Precipitación para Diferentes Duraciones y Periodos de Retorno. Octubre 2013.

Tabla 5.2 Lluvia máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno

Subcuenca	Tr 2 años (mm)	Tr 5 años (mm)	Tr 10 años (mm)	Tr 50 años (mm)	Tr 100 años (mm)
1	41.5	55.1	65.0	87.9	98.8
2	41.7	54.8	64.3	86.0	96.2
3	43.6	56.3	65.0	84.4	93.1
4	42.3	55.5	64.4	84.6	93.8
5	42.0	54.1	62.4	80.7	88.9
6	40.5	52.8	60.4	77.2	84.5

### 5.1.2 Construcción de tormentas hipotéticas

La construcción de estas tormentas asociadas para un determinado periodo de retorno es la solución práctica a los problemas de escasez de información pluviográfica, o de periodos reducidos de registro que no permiten desarrollar relaciones confiables lluvia-frecuencia.

Para la construcción de los modelos meteorológicos, se utilizaron los valores de precipitación para cada periodo de diseño, obtenidos del programa “Mapas de precipitación para diferentes duraciones y periodos de retorno” anteriormente mencionados; distribuyendo dicha lluvia a lo largo del día, con base en las ecuaciones de Chen (1983).

Es importante mencionar que la estación meteorológica automática llamada “Acolman”, la cual se encuentra en la zona de estudio, no cuenta con información suficiente para caracterizar las tormentas de la zona. Debido a lo anterior se ha utilizado la formulación de Chen (1983), únicamente para obtener un hietograma adimensional, ya que se cuenta con la lámina llovida de diseño con duración de 24 horas, obtenida con anterioridad.

Se procedió a distribuir de esta forma la precipitación debido a que en la zona se han presentado tormentas con duraciones de 24 horas debido a fenómenos meteorológicos extremos.

La fórmula, que calcula la lluvia (milímetros), de duración  $t$  (minutos) y periodos de retorno  $Tr$  (años), es la siguiente:

$$P_t^{Tr} = \frac{aP_1^{10} \log(10^{2-F} Tr^{F-1})t}{60(t+b)^c}$$

donde  $P_1^{10}$  es una lluvia expresada en milímetros que dura una hora, con un periodo de retorno de 10 años;  $a$ ,  $b$  y  $c$  son parámetros de función del cociente  $R$  y se determinan por medio de las relaciones siguientes:

$$a = 1.13171955 + 37.2614945R - 58.2203446R^2 + 387.242993R^3 - 357.121482R^4$$

$$b = -7.784969 + 59.5314751R - 120.215265R^2 + 246.112571R^3 - 203.278193R^4$$

$$c = 0.000507846976 + 3.92287365R - 9.60400232R^2 + 14.7036951R^3 - 9.27830257R^4$$

Enseguida se muestra el hietograma adimensional distribuido para una duración de 24 horas, el cual se aplicó a las lluvias de diseño anteriores (2, 5, 10, 50 y 100 años). Posteriormente, con el software HEC-HMS, se introducen las tormentas de diseño y éstas se distribuirán conforme a este hietograma adimensional.

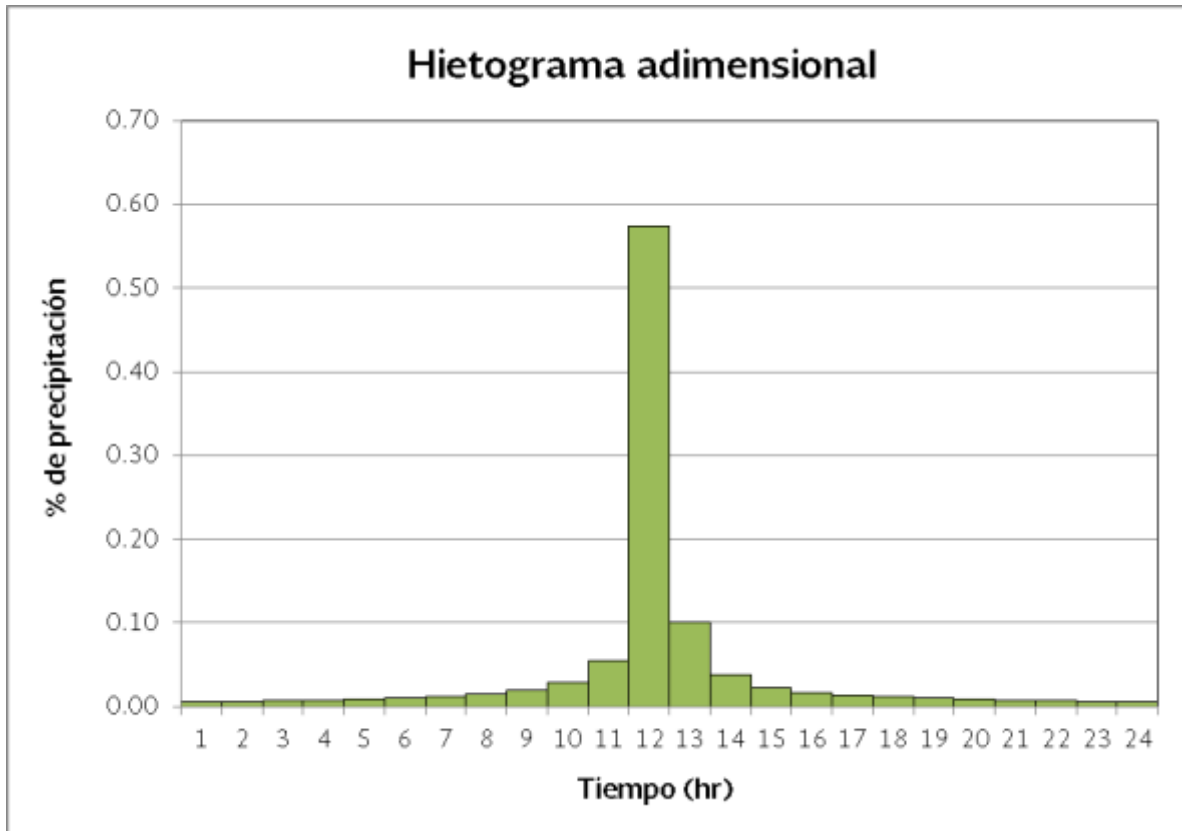


Figura 5.2 Hietograma adimensional para distribución de la precipitación de diseño

### 5.1.3 Modelo lluvia-escurrencimiento

El modelo hidrológico se realizó con el software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System), el cual sirve para la simulación hidrológica semidistribuida, y fue desarrollado para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas, aplicando para ello algunos métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión de escurrencimiento directo.

Los parámetros que se utilizaron en el modelo son los siguientes:

- Modelo de pérdida: Número de curva del SCS,
- Método de transformación de lluvia-escurrencimiento: Hidrograma unitario del SCS,
- Método para flujo base: ninguno

Además, se determinó la lluvia de diseño en la zona urbana con el programa VELL y se utilizó el mismo patrón de lluvia que el de las subcuencas en el modelo hidráulico de IBER, teniendo un modelo hidráulico con entradas de caudales y de lluvia.

En la Figura 5.3 se muestra finalmente el modelo hidrológico construido.

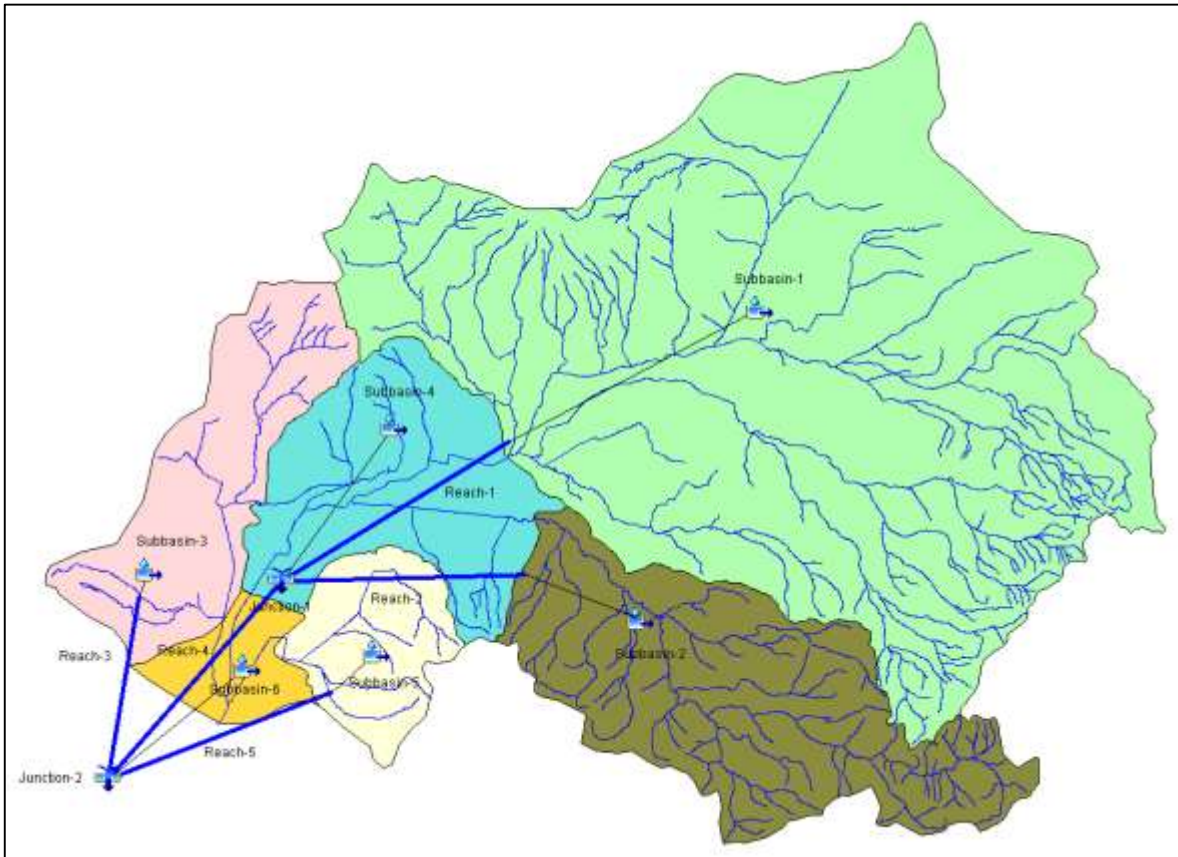


Figura 5.3 Esquema del modelo hidrológico en la plataforma HEC-HMS

#### 5.1.4 Resultados

En este apartado se muestran las gráficas que resumen los resultados obtenidos de la modelación hidrológica, divididos en tres salidas en cinco subcuencas. Dichas salidas corresponden a los hidrogramas de ingreso de gastos a la zona urbana: Entrada 1 (subcuencas 1, 2 y 4), Entrada 2 (subcuenca 3) y Entrada 3 (subcuenca 5). También se muestran los hidrogramas a la salida de la cuenca hasta la estación hidrométrica Tepexpan.

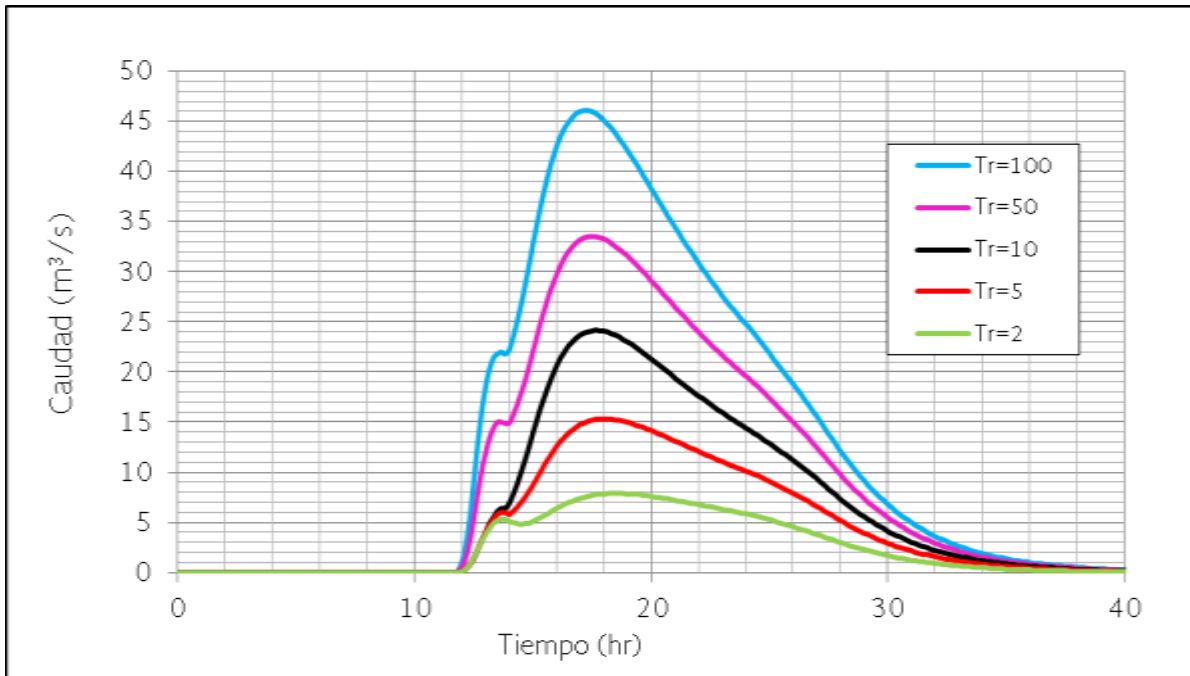


Figura 5.4 Hidrogramas de Entrada 1 (subcuencas 1, 2 y 4)

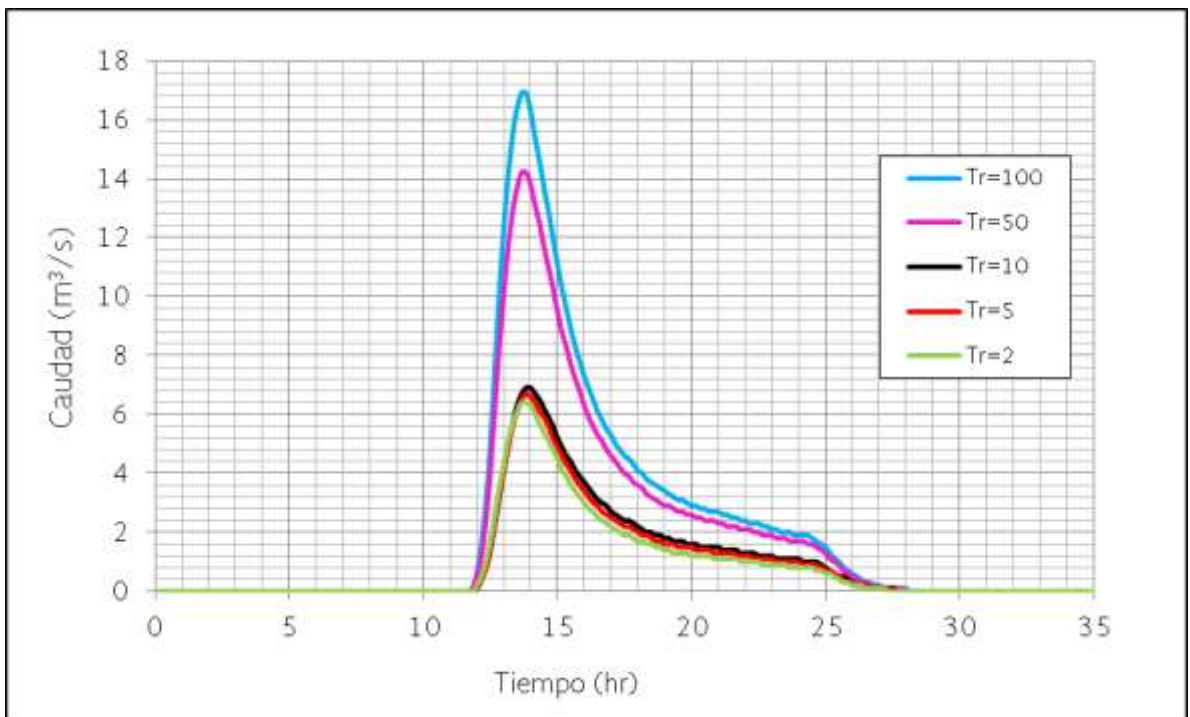


Figura 5.5 Hidrogramas de Entrada 2 (subcuena 3)

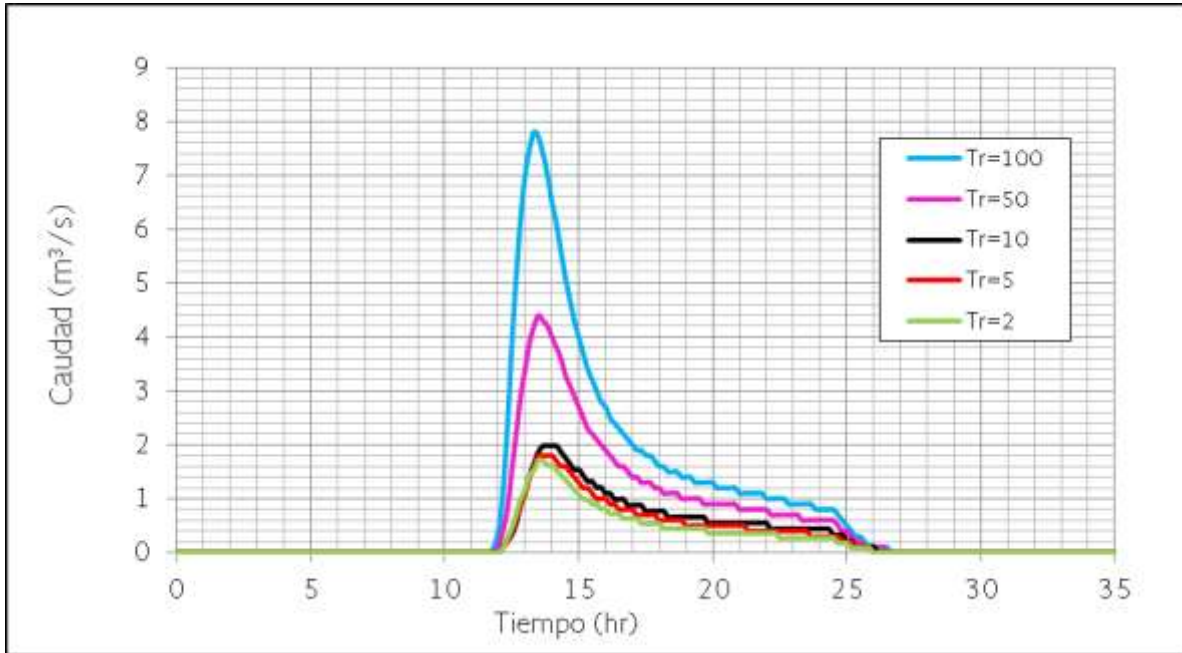


Figura 5.6 Hidrogramas de Entrada 3 (subcuenca 5)

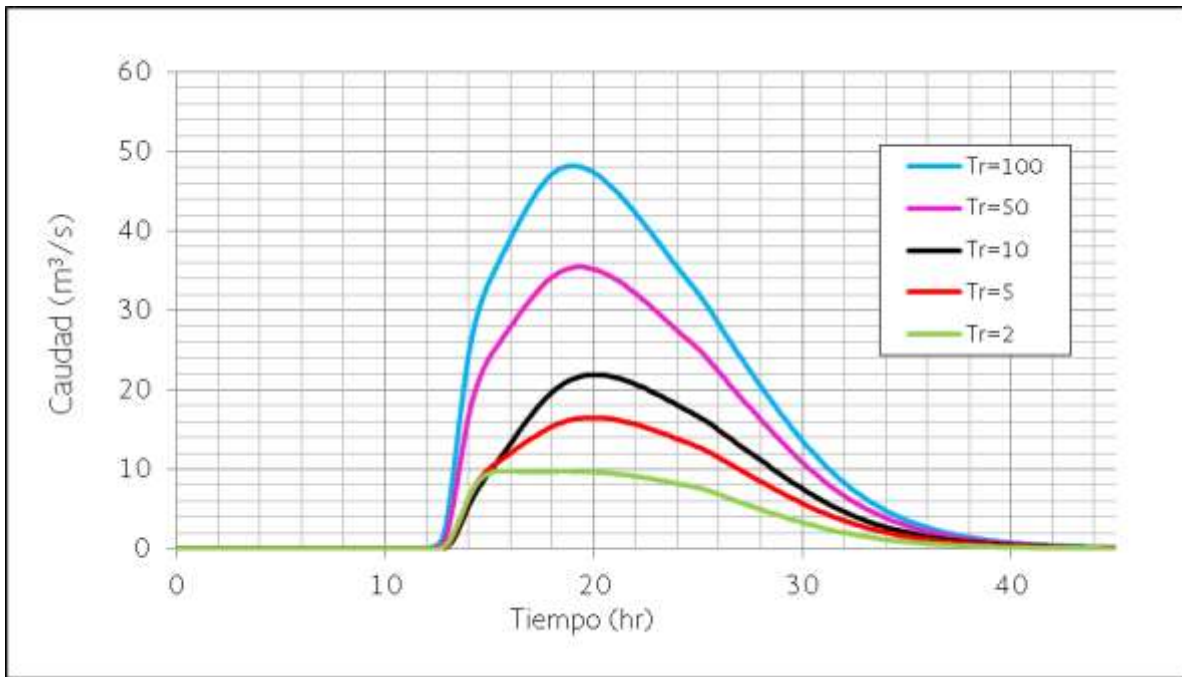


Figura 5.7 Hidrogramas de salida

Los tres primeros hidrogramas de entrada anteriores son los que se introducirán al modelo hidráulico. La Entrada 1 corresponde a la sumatoria de los hidrogramas de las cuencas 1, 2 y 4; la Entrada 2 es la aportación de la subcuenca 3; y la Entrada 3 corresponde a la subcuenca 5. Al final de la zona urbana se presentan los hidrogramas mostrados en la Figura 5.7.



## 5.2 Modelo hidráulico

El objetivo general de la presente evaluación es el de obtener los mapas de peligro para un periodo de retorno de 2, 5, 10, 50 y 100 años por inundaciones fluviales y pluviales de tipo lento (zonas con pendiente pequeña) aplicando técnicas de modelación matemática hidráulica de los flujos de agua somera en dos dimensiones horizontales, utilizando el software IBER 2.3.2<sup>12</sup>.

### 5.2.1 Condiciones de frontera

En lo que respecta a la definición de las condiciones de frontera aguas abajo de un tramo en estudio, el primer parámetro que se considera es la pendiente del cauce. En general, los cauces asociados con planicies de inundaciones son aquéllos cuya pendiente del colector principal es suave es decir, que el tirante crítico es menor que el tirante normal. En consecuencia el perfil de flujo gradualmente variado que se formará sobre ellos es del tipo M.

Existen tres variantes para el perfil tipo M:

Perfil tipo M1. Se dice que se presenta este perfil cuando la variación de la superficie libre del agua (SLA) se registra con valores mayores al tirante normal (y por tanto también al crítico) y el régimen subcrítico.

Perfil tipo M2. Este tipo de perfil ocurre cuando la variación de la SLA está entre el tirante normal y el crítico y el régimen del flujo, al igual que en el caso anterior, también es subcrítico.

Perfil tipo M3. En este tipo de perfil la SLA tiene variaciones menores al tirante crítico (y por tanto también al normal) y, por lo tanto, el régimen del flujo que se presenta en él es supercrítico.

Dadas las características topográficas de las ciudades analizadas en el Programa Contra Contingencias Hidráulicas (PRONACCH), este último tipo de perfil queda descartado como posible condición de frontera. Por lo anterior, la selección de la condición de frontera para el análisis de inundaciones en cada una de las ciudades analizadas, queda acotada a un perfil tipo M1, o bien, M2.

Con respecto a lo anterior, los dos posibles perfiles corresponden a flujo subcrítico, por lo que en ambos casos su cálculo se inicia en la frontera aguas abajo y tienden al valor del tirante normal. El primero inicia con un nivel de agua superior al tirante normal, se presenta cuando aguas abajo, la frontera es un cuerpo de agua o un control que provoca un nivel mayor al tirante normal y que posteriormente con un remanso (perfil M1). Dicho perfil sería posible cuando exista, aguas abajo, un cuerpo de agua que force el nivel del río.

De acuerdo con lo anterior, el perfil seleccionado para ser usado como condición de frontera general en los casos estudiados es el denominado M2, el cual parte del tirante crítico y se desarrolla hasta alcanzar el tirante normal. Se seleccionó este perfil debido a

---

<sup>12</sup>Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M.E., Dolz, J., Coll, A. (2014). "Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos". Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, Vol.30(1) pp.1-10

que es un perfil corto y tiende rápidamente a las condiciones de flujo establecido, a diferencia del M1, el cual puede necesitar varios km para su desarrollo.

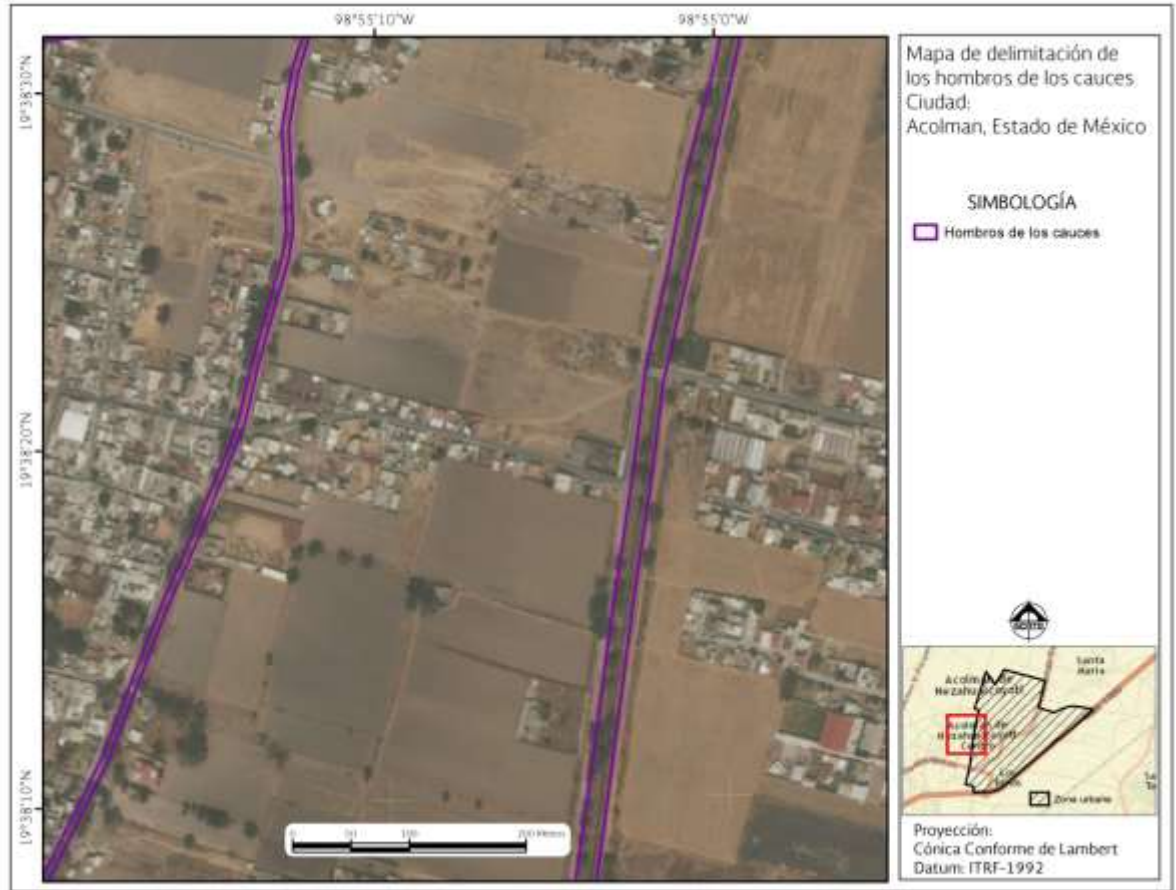
### 5.2.2 Procesamiento del modelo digital de elevaciones

El modelo hidráulico de la zona de Acolman fue elaborado sobre la base de datos del CEM v. 3.0 por lo que fue necesario llevar a cabo una modificación a la información en la zona de sus cauces.

Esta modificación se debió a que la resolución de la información del CEM es de 15 x 15 metros, lo cual la hace demasiado grande para mostrar la configuración de un cauce con anchos menores a estos valores; además que la información del continuo de elevaciones no contiene información de batimetría.

Para lograr el objetivo se siguió la siguiente metodología:

- Digitalizar los hombros del cauce de manera muy aproximada utilizando la fotografía satelital de algún servidor de mapas disponible (Google, ESRI, Bing, Yahoo, etc.),
- Medir el fondo del cauce en algunos puntos de cada uno de los tributarios de la zona a modelar,
- Usando álgebra de mapas en ArcGIS, aplicar las profundidades obtenidas como una diferencia sobre la elevación original del CEM para obtener un archivo de imagen tipo raster, de batimetría del cauce.



• Figura 5.8 Vectores que delimitan el ancho de los ríos

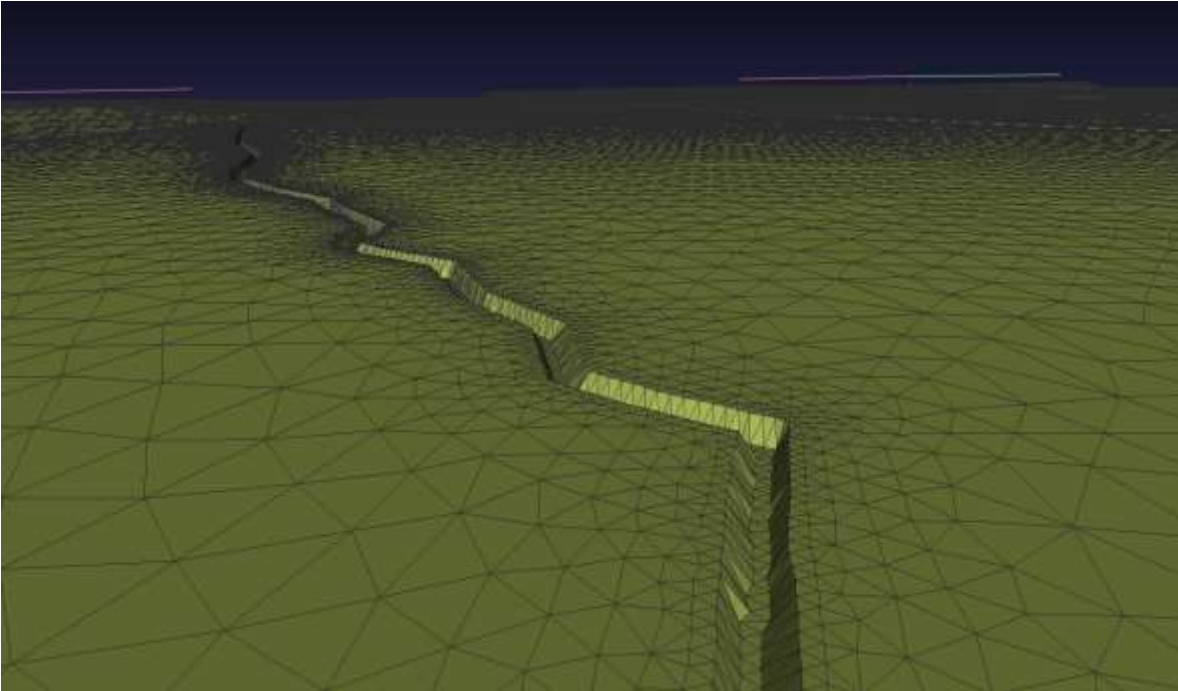


Figura 5.9 Malla final obtenida en el modelo IBER, para una zona del Río Chico

### 5.2.3 Infraestructura

En el modelo hidráulico de la zona de Acolman, no se incluyó información de infraestructuras hidráulicas como son: alcantarillas, puentes, diques, etc., ya que dichas estructuras no existen en el modelo, con excepción de los puentes. Sobre éstos últimos no existen planos con el detalle requerido para ser incluidos en el modelo.

### 5.3 Simulación en las condiciones actuales

Se realizaron las simulaciones hidráulicas con el uso del programa IBER mediante el módulo hidrodinámico, el cual resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad bidimensionales, también conocidas como ecuaciones de St.Venant 2D. Dichas ecuaciones asumen las hipótesis de distribución de presión hidrostática y distribución uniforme de velocidad en profundidad. La hipótesis de presión hidrostática se cumple razonablemente en el flujo en ríos, así como en las corrientes generadas por la marea en estuarios y zonas costeras. La hipótesis de distribución uniforme de velocidad en profundidad se cumple de forma habitual en ríos y estuarios, siempre y cuando no existan procesos relevantes de estratificación debido a diferencias de salinidad, de temperatura o al viento.

Las variables, parámetros y características para la simulación hidráulica de cada una de las avenidas de diseño son las siguientes:

- Utilización de modelos con mallas no estructuradas de triángulos, con longitudes de arista de 1 metro para canales, de 2 y 4 metros para los diferentes anchos de cauce, y de 15 metros en la zona urbana que es la planicie de inundación, zonas residenciales y zonas más retiradas dentro del polígono a modelar. Lo anterior con el fin de optimizar el tiempo de simulación para cada periodo de retorno.

Los datos del problema son los siguientes:

- Tiempo máximo de simulación: 154,800 segundos,
- Intervalo de resultados: 3,600 segundos,
- Esquema numérico: Primer orden,
- Número de Courant-Friedrichs-Lewy: 0.45,
- Límite Seco-Mojado: 0.001 m.,
- Método de secado: Hidrológico

En la geometría del modelo se incluyeron:

1. Condiciones de borde como: hidrogramas de entrada y la definición de las salidas,
2. condiciones iniciales de flujo seco,
3. hietograma de tormenta de diseño: ingreso de lluvia efectiva al modelo,
4. en cuanto a la rugosidad, se ha empleado el coeficiente de Manning variable en función de la cobertura de suelo, infraestructura y vivienda existentes.

Se ingresó la lluvia efectiva en la malla de cálculo del modelo hidráulico, para disminuir los procesos de cálculo. El patrón de lluvia que se usó, es el mismo hietograma de lluvia adimensional obtenido con las fórmulas de Chen (1983).

Para estimar la resistencia al flujo que presentan los elementos dentro de la zona urbana a modelar se utiliza el coeficiente de Manning.

Para definir los distintos valores de coeficientes de Manning en toda el área a modelar, se utilizó la información vectorial de la capa vectorial de manzanas de INEGI (Figura 5.10). A cada polígono definido por las manzanas y calles y con apoyo de la imagen de satélite se le asignó un uso de suelo.

Enseguida se muestra un esquema con los datos ingresados al modelo.

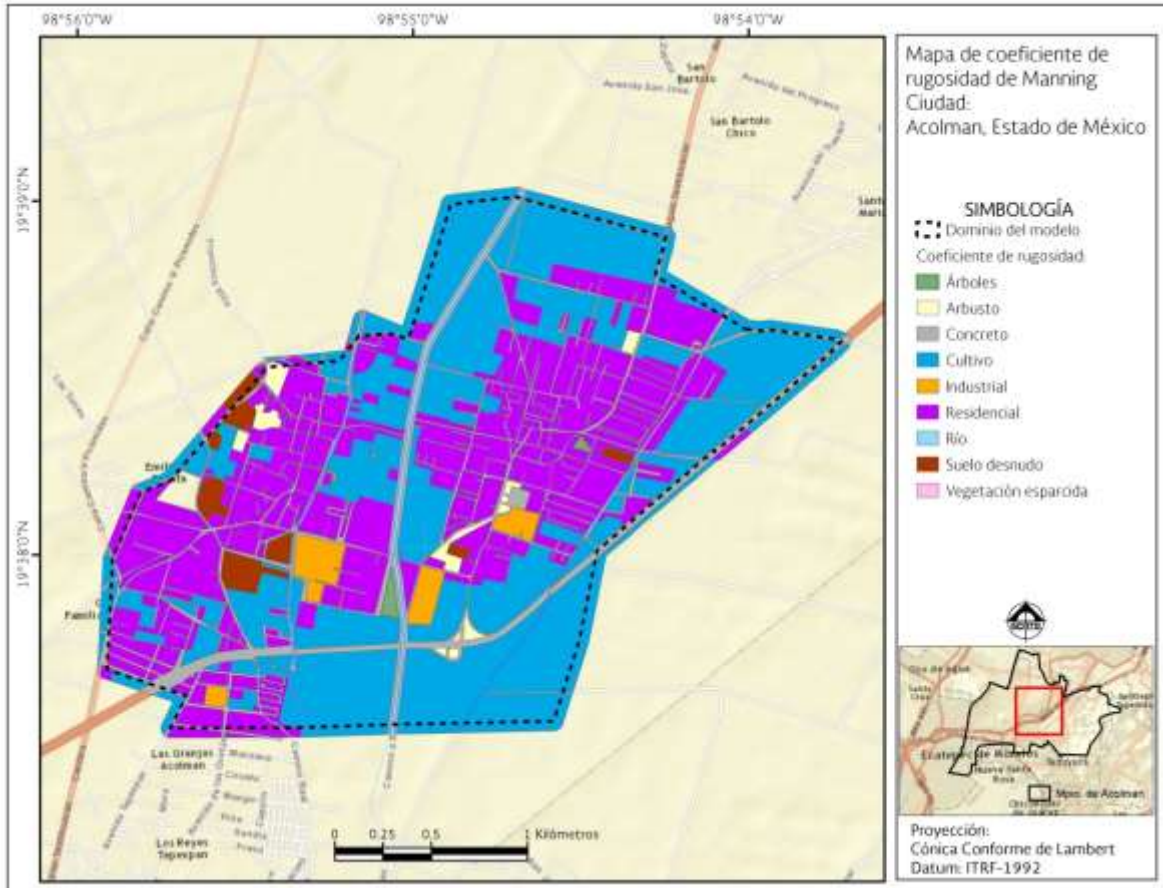


Figura 5.10 Variación del coeficiente de rugosidad de Manning en la zona de Acolman

Luego de procesar la capa arriba mencionada, para asignarle valores se emplearon los sugeridos por Ven Te Chow<sup>13</sup>, en combinación con los valores definidos por defecto en el programa IBER. Los datos se pueden consultar a detalle en capítulos siguientes en la Tabla 6.1.

Enseguida se muestra un esquema con los datos ingresados al modelo hidráulico.

<sup>13</sup> Chow, Ven Te. Hidráulica de Canales Abiertos, pag. 108, Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning “n”. Mc Graw Hill. 2004.

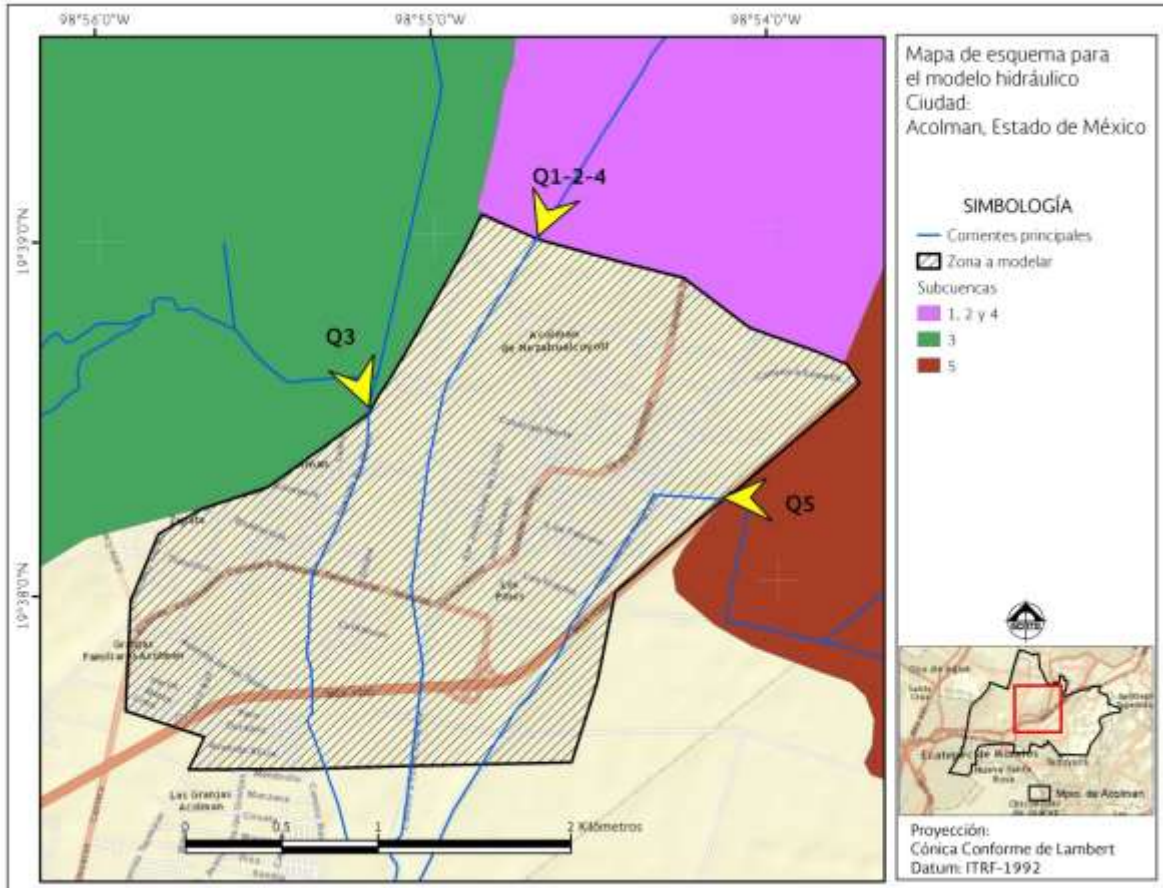


Figura 5.11 Esquema del modelo hidráulico

#### 5.4 Resultados

Este estudio, además de realizarlo para definir los niveles de inundación y las velocidades de inundación, también se hizo con el objeto de evaluar el riesgo de inundación con base en el estudio que el gobierno de New South Wales (Australia) solicitó hacerle al río Bielsdown, el cual atraviesa una localidad llamada Dorrigo, con el fin de determinar una adecuada gestión de riesgos en llanuras de inundación. Por lo que enseguida se presentan los resultados de los niveles de inundación, las velocidades de inundación y la severidad para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 50 y 100 años; así como el riesgo actual.



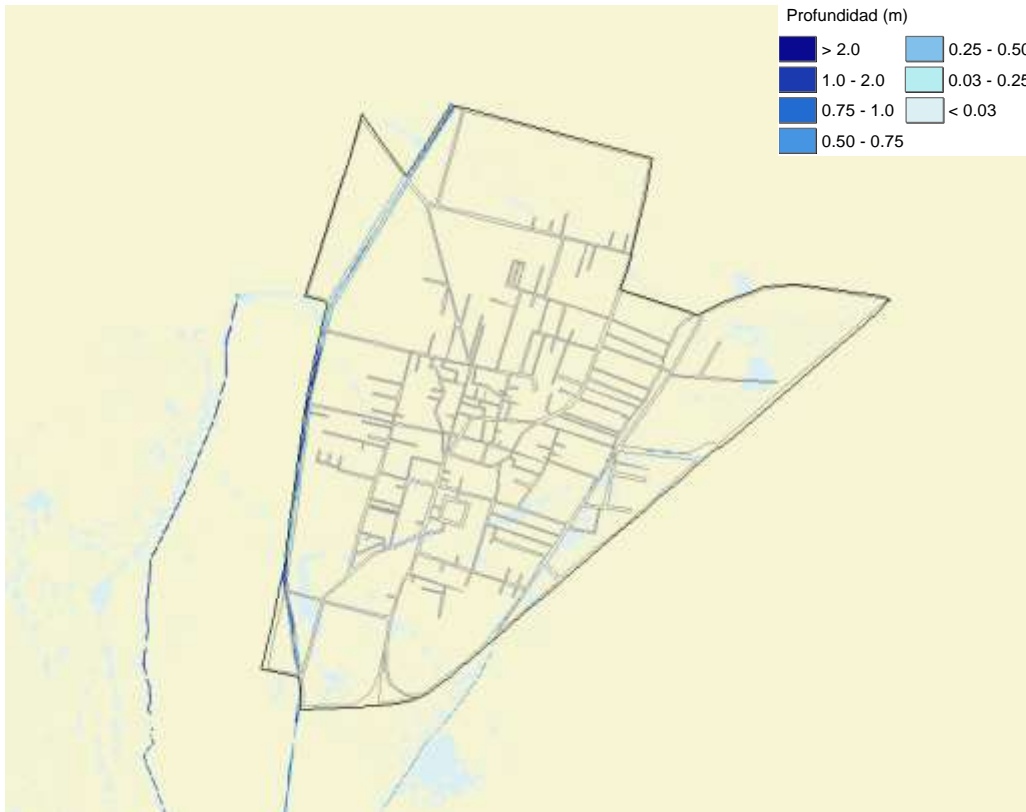


Figura 5.12 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años

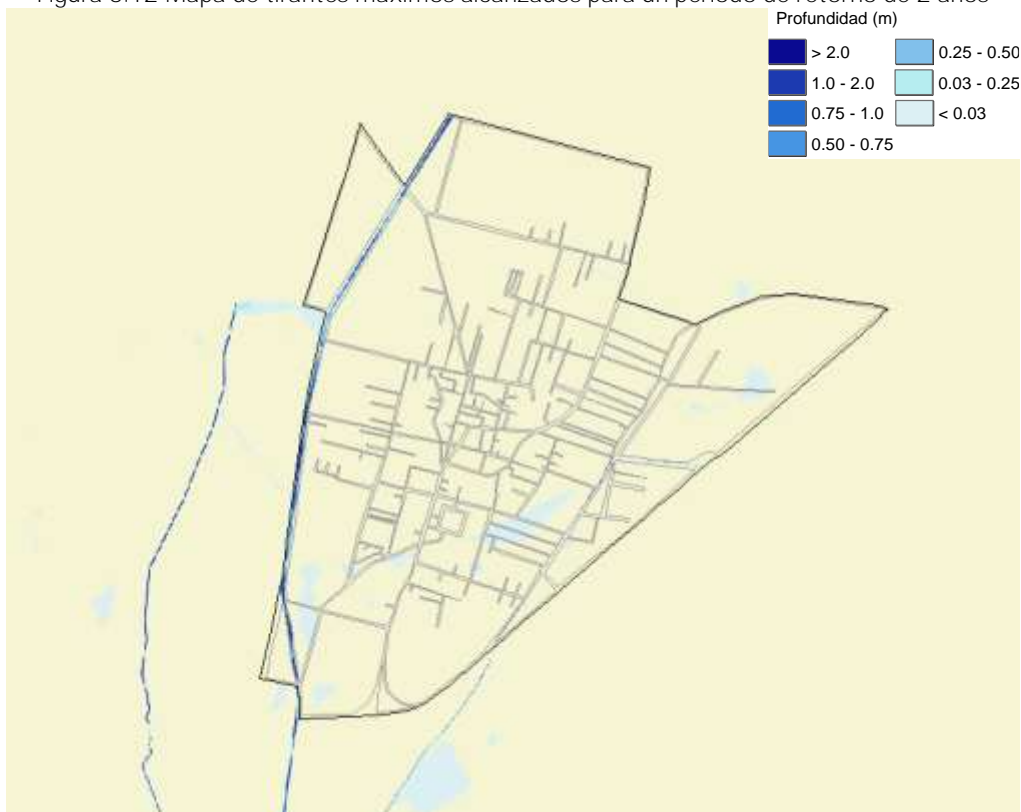


Figura 5.13 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años



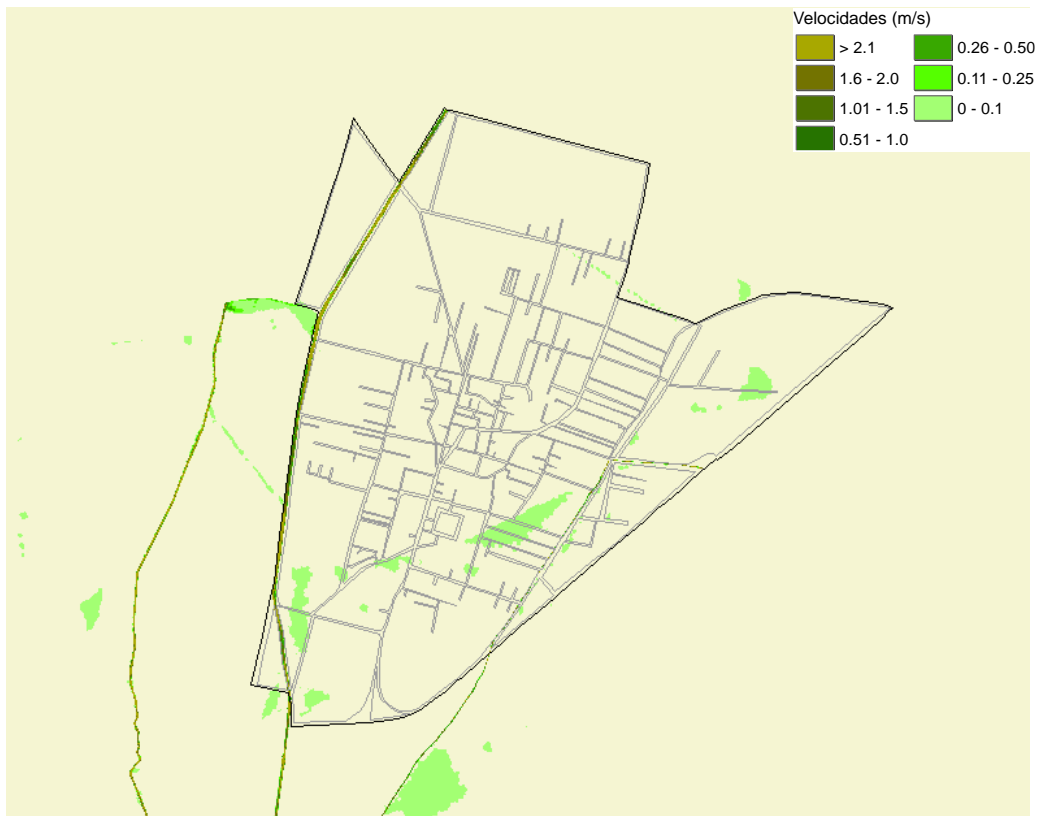


Figura 5.14 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años

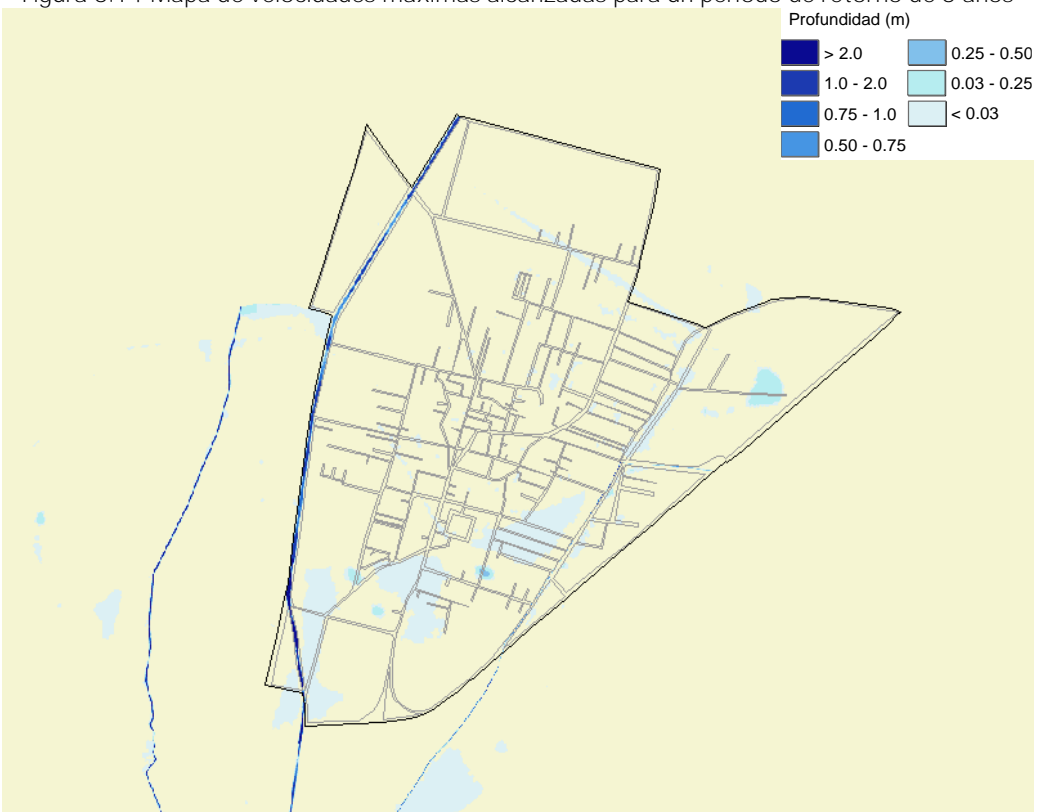


Figura 5.15 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años

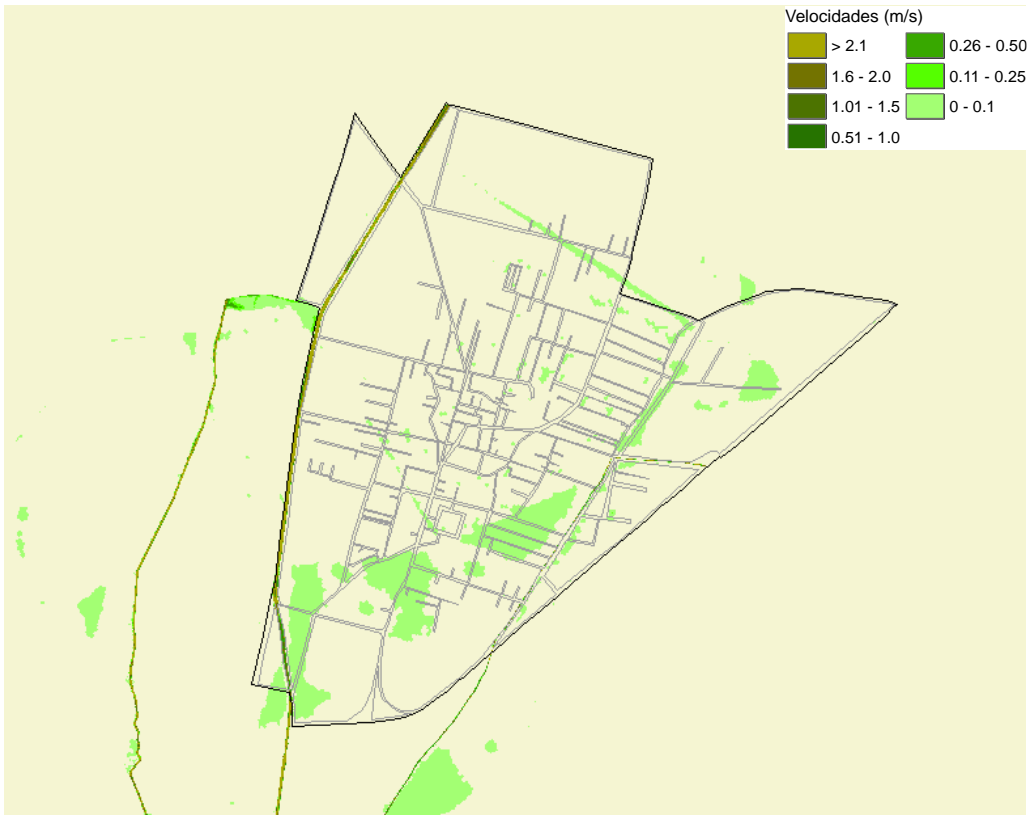


Figura 5.16 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años

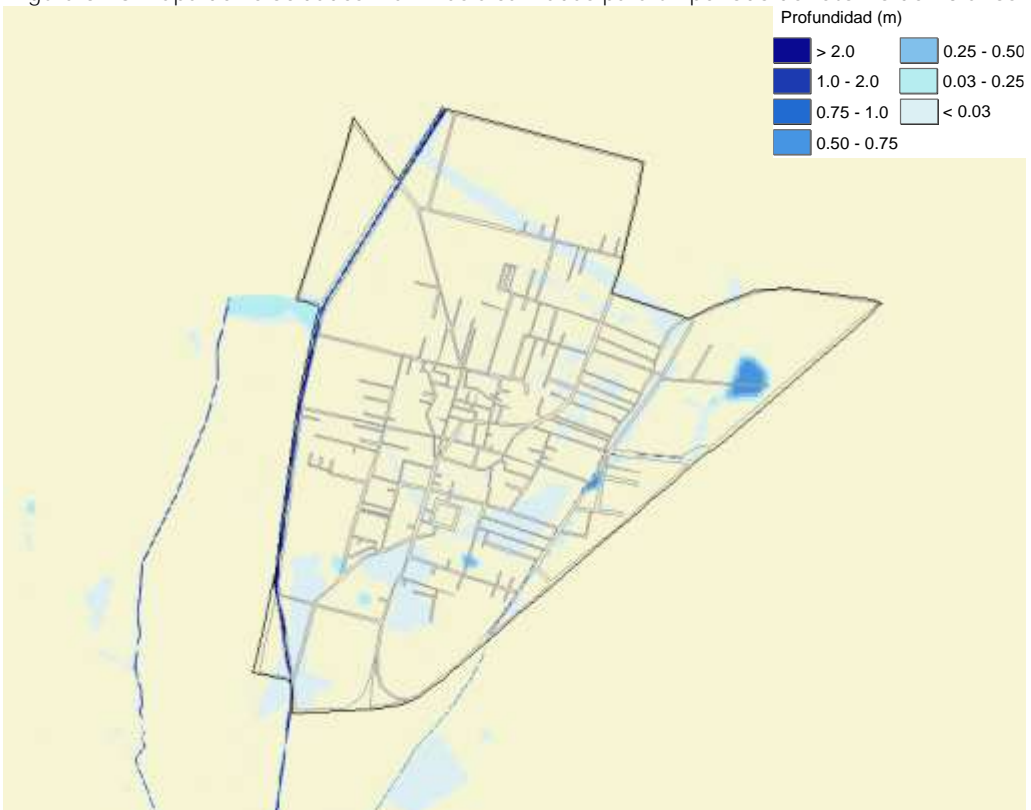


Figura 5.17 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años

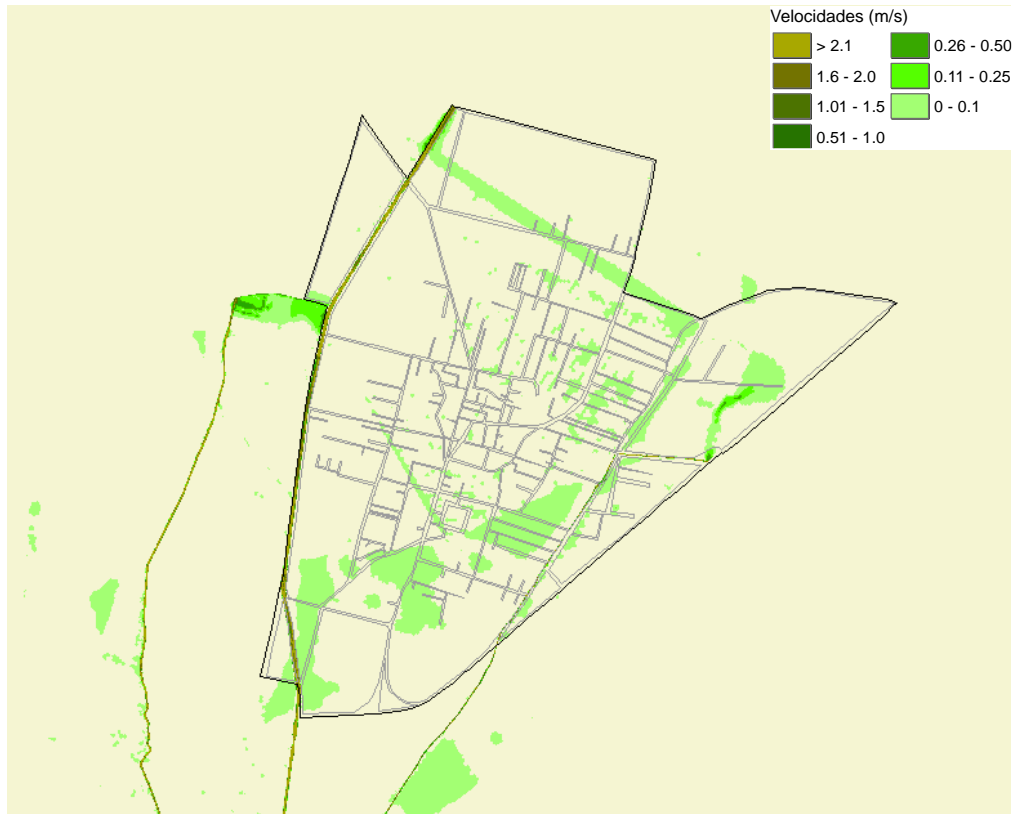


Figura 5.18 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años

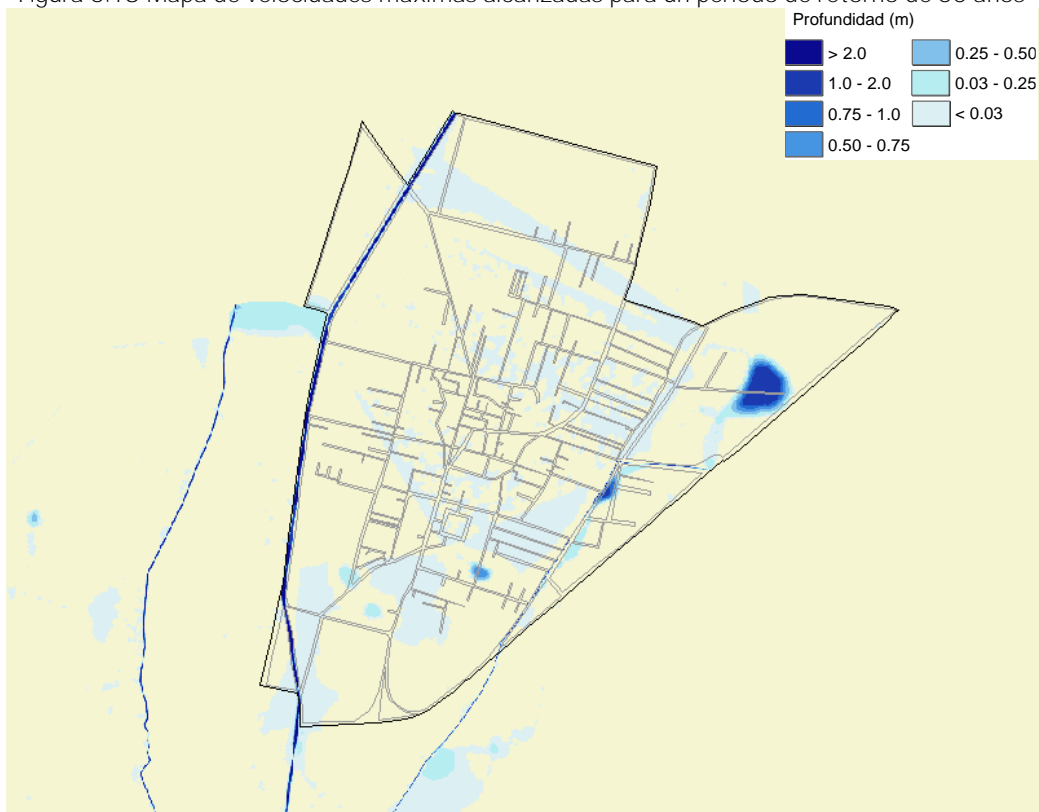


Figura 5.19 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años

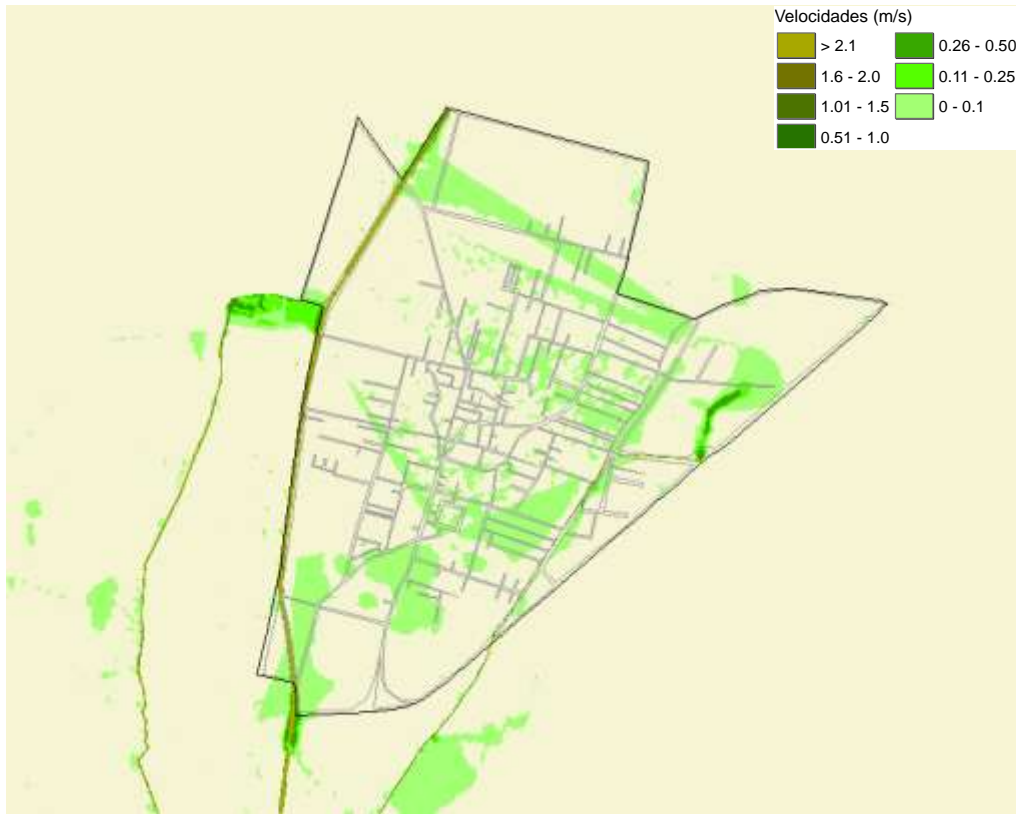


Figura 5.20 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años

## 5.5 Análisis de los resultados

Se hizo una revisión de la evolución de los caudales para las cinco avenidas de diseño en la entrada y salida de los ríos Chico, Grande o San Juan y canal derecho, con el objeto de conocer directamente la evolución del caudal y volumen, por ser las tres corrientes más importantes de la ciudad de Acolman.

Para el Río Chico se encontró que su principal problema de desbordamiento es en su extremo inicial a partir del modelo hidráulico que se construyó, ya que para el gasto de entrada correspondiente a un periodo de retorno de 5 años se presentan manchas de inundación con tirantes de hasta 10 cm. Lo anterior se debe a la construcción de estructuras de cruce mal diseñadas que se encuentran sobre el cauce del río Chico, como son algunos puentes (terraplenes) que construyen los habitantes para cruzar vehículos o ganado (Figuras 5.22 y 5.23).

Esta misma situación se presenta a lo largo de este río dentro del polígono de modelación, sin embargo no se presentan manchas de inundación debido a que la sección hidráulica del río se va incrementando (Figuras 5.24 y 5.25).

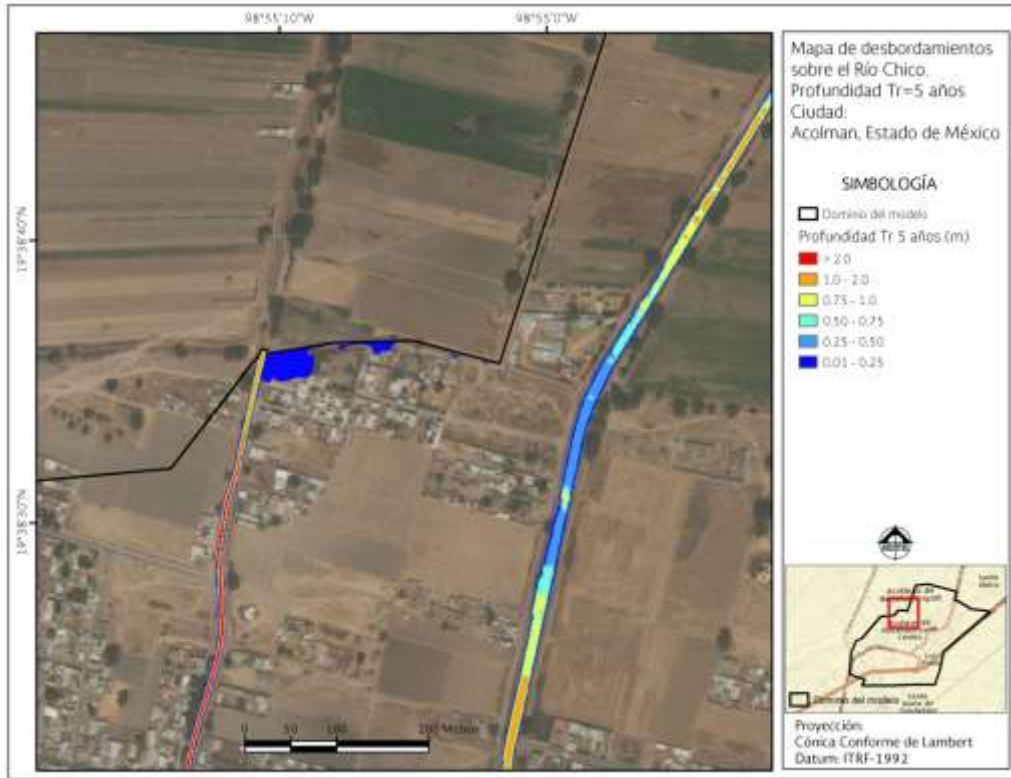


Figura 5.21 Zona de desbordamientos sobre el Río Chico (TR= 5 años)



Figura 5.22 Fotografía de obstáculos sobre el cauce del Río Chico





Figura 5.23 Pasos vehiculares sobre el cauce del Río Chico



Figura 5.24 Alcantarillas sobre el Río Chico cruce con la carretera México-Pirámides

Para un periodo de retorno de 100 años la mancha de inundación en esta zona se extiende por la margen izquierda del cauce, casi hasta llegar al cauce del Río Grande o San Juan, afectando viviendas de la colonia Santa Catarina sobre todo en la calle Arboledas, con tirantes de hasta 30 cm en la zona cercana al Río Chico, y de 6 cm en la zona cercana al Río Grande o San Juan (Figura 5.26).

La Figura 5.27 muestra la sección transversal del Río Grande o San Juan 500 metros aguas arriba del punto citado en el párrafo anterior.

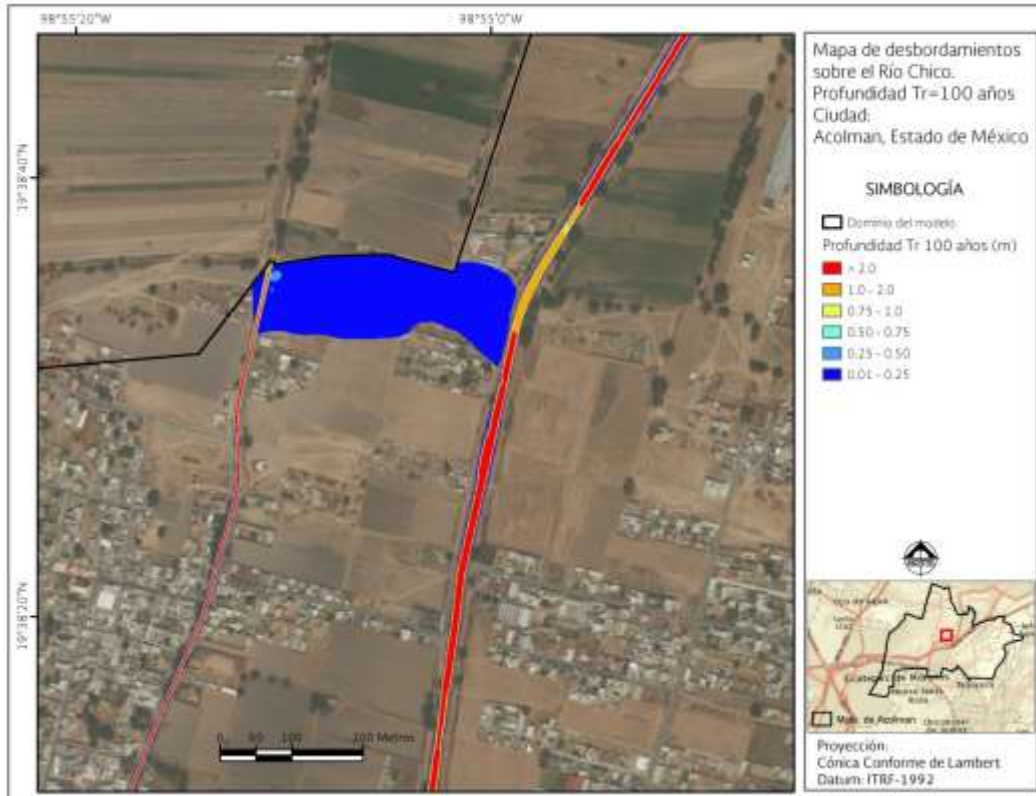


Figura 5.25 Zona de desbordamientos sobre el Río Chico hacia el Río Grande (TR= 100 años)



Figura 5.26 Fotografía de la sección transversal del Río Grande o San Juan

El río Grande o San Juan presenta un ligero desbordamiento en la parte sur de la zona urbana de Acolman para un periodo de retorno de 100 años. Este se debe a las estructuras de los cruces con la carretera México-Pirámides, lo que ocasiona un remanso en dicho cauce, y de acuerdo con comentarios de los habitantes de la zona, en ocasiones se desborda a la altura del Ex-Convento (Figura 5.28).

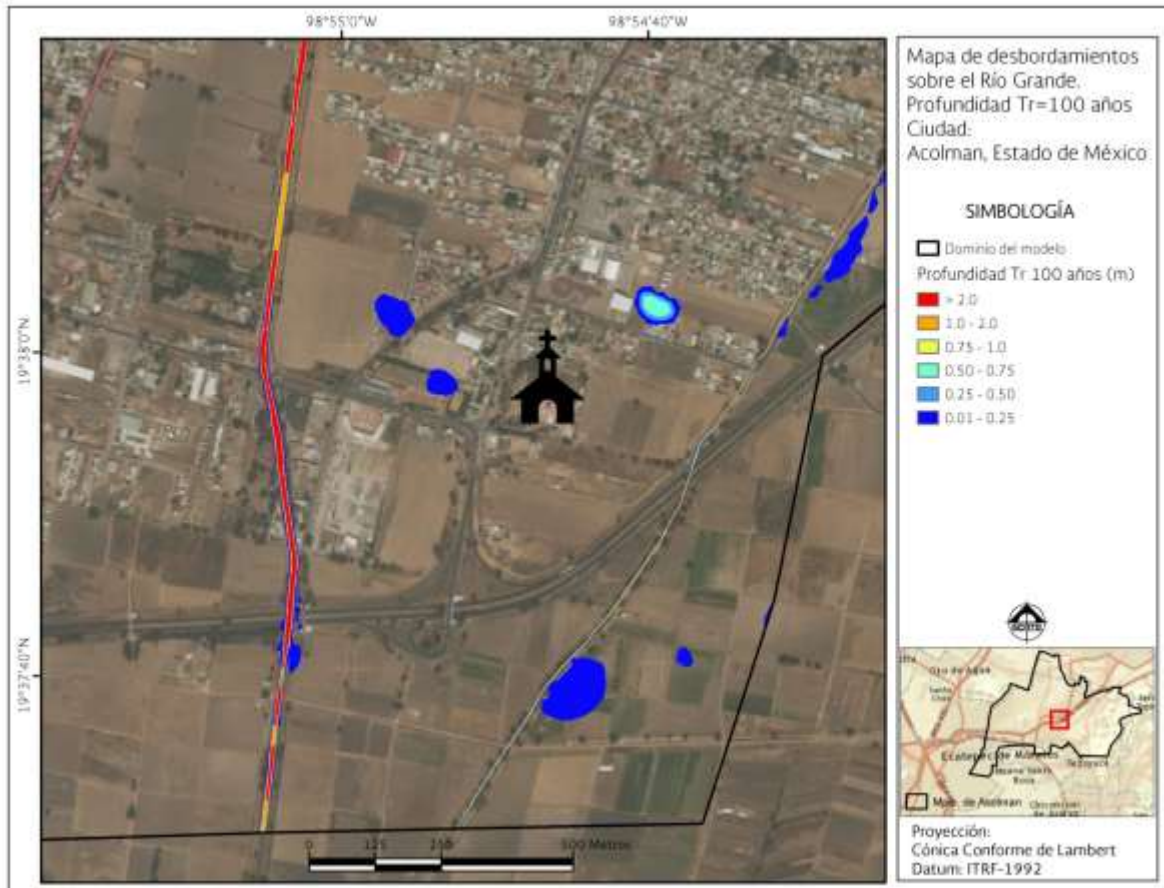


Figura 5.27 Zona de desbordamientos sobre el Río Grande y encharcamientos por lluvia (TR= 100 años)

Reportes históricos sobre inundaciones señalan que esta zona ha sido afectada debido a lluvias extremas, lo cual aunado a la topografía del lugar donde se encuentra el Ex-Convento, ha propiciado la inundación de lugar en varias ocasiones (Figura 5.29).





Figura 5.28 Ex-Convento de Acolman ubicado en una zona baja

Cabe señalar que la vegetación sobre el cauce del Río Grande es bastante densa y obstaculiza el escurrimiento aguas abajo de la zona del Ex-Convento de Acolman. La siguiente fotografía se tomó desde el puente Acolman mirando hacia el norte.



Figura 5.29 Vista del cauce del Río Grande o San Juan a la altura del puente Acolman

En lo que respecta al canal localizado en la parte derecha de la ciudad de Acolman, éste presenta desbordamientos considerables a partir de un gasto correspondiente para un periodo de retorno de 50 años, principalmente en la zona del cruce entre las calles Progreso y Miguel Hidalgo, al centro este de la zona urbana, donde se presentan tirantes de hasta 78 centímetros.

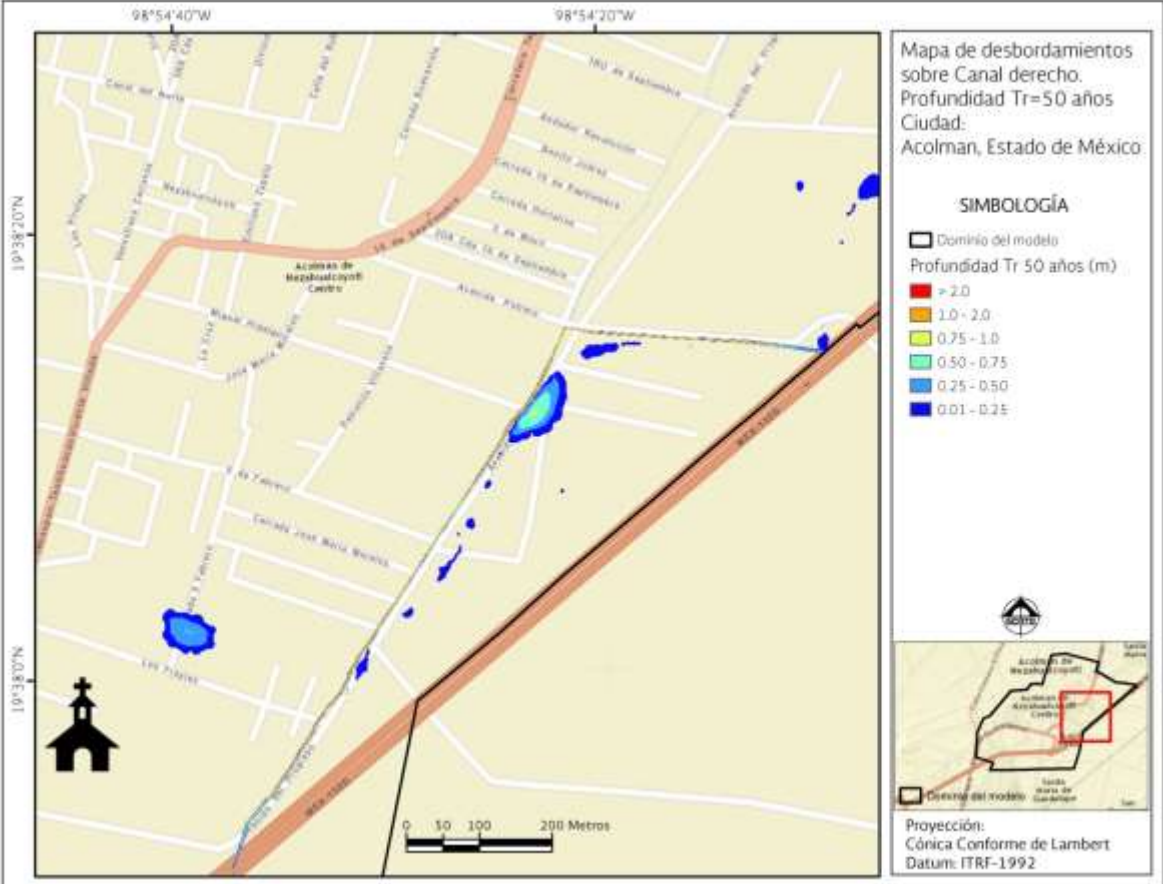


Figura 5.30 Zona de desbordamientos sobre el Canal derecho y encharcamientos por lluvia (TR= 50 años)

Se debe señalar que en esta zona existen terrenos destinados para uso agrícola, y se localizan varias viviendas alrededor de esta zona. Existen algunas estructuras de cruce sobre el canal, como son rampas para vehículos, puentes peatonales, tuberías de agua potable, entre otras (Figura 5.32).



Figura 5.31 Inundación en colonia La Laguna, calle Fresno (TR= 100 años)

Las zonas descritas anteriormente se ven mayormente afectadas para un gasto correspondiente para un periodo de retorno de 100 años, afectándose en mayor extensión con tirantes del orden de 1.20 metros (Figura 5.33). Al norte de la zona antes mencionada, se presenta un encharcamiento por lluvia, debido a lo plano del terreno y a que son terrenos agrícolas, por lo que se mantienen anegados gran parte del año.

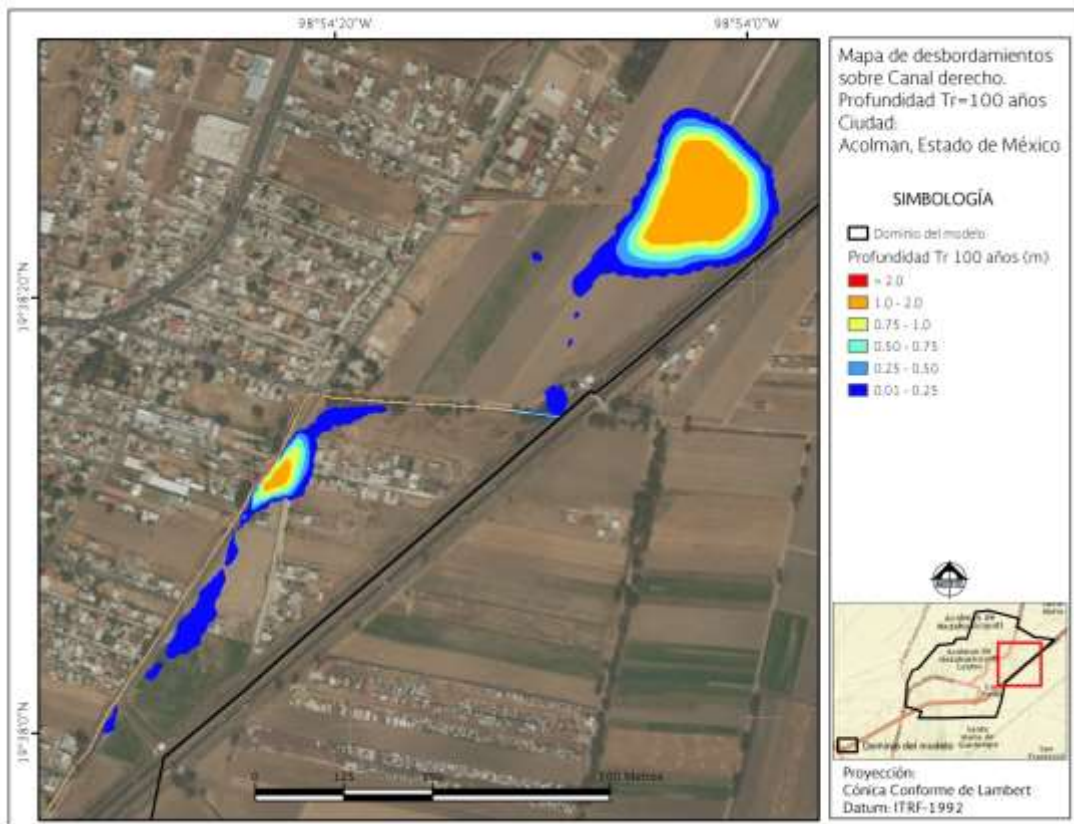


Figura 5.32 Zona de desbordamientos sobre el Canal derecho y encharcamientos por lluvia (TR=100 años)





Figura 5.33 Terrenos agrícolas en la zona este de Acolman

La profundidad máxima alcanzada en el Río Grande o San Juan, principal corriente de Acolman, a la salida de la zona urbana evolucionó de la siguiente forma: profundidad máxima de 4.30 metros para un periodo de retorno de 100 años, mientras que para un periodo de retorno de dos años se alcanzó una profundidad máxima de 1.64 m.

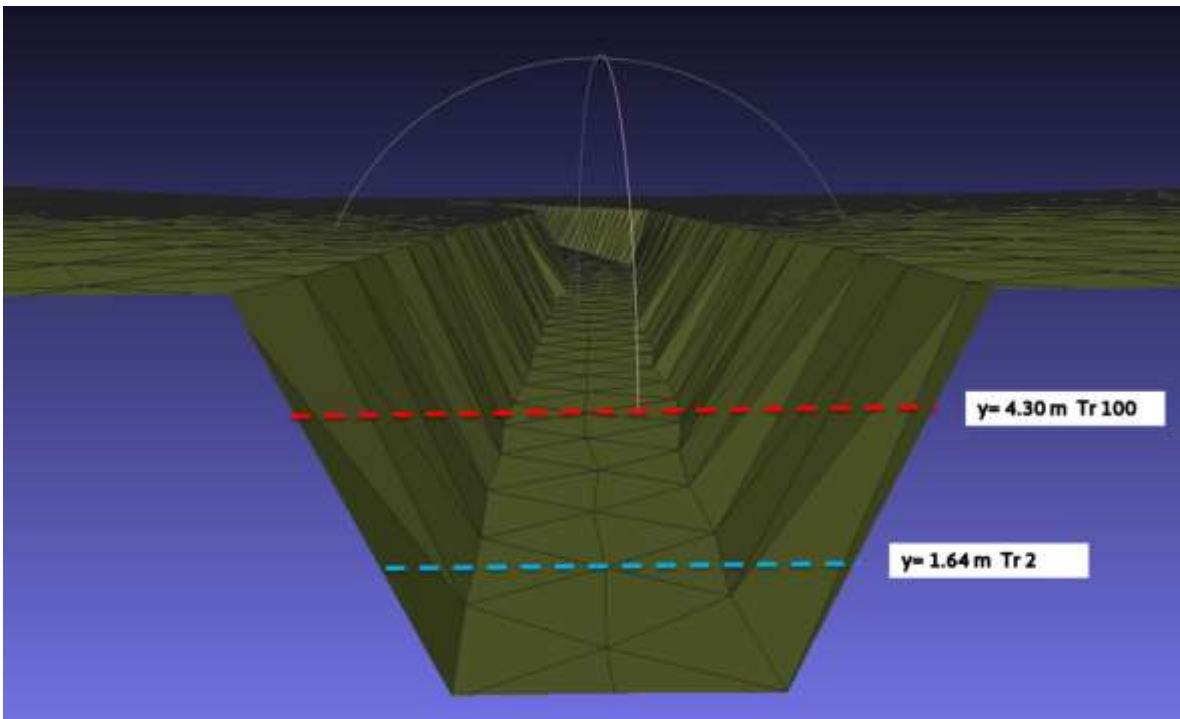


Figura 5.34 Evolución de los tirantes en el Río Grande o San Juan a la salida de la zona urbana

Tabla 5.3 Profundidades máximas alcanzadas a la salida del Río Grande o San Juan

Periodo de retorno (años)	Tirante (m)
2	1.64
5	1.83
10	2.51
50	2.93
100	4.30

### 5.6 Elaboración del mapa de severidad

Para dar mayor detalle de la estimación del daño por inundación, en los últimos años en México se ha venido usando con mayor frecuencia el “diagrama de resistencia al vuelco”, mejor conocido como Diagrama de Dórrigo (Figura 5.36. Peterson, 2007). El cual, en función de la velocidad del flujo y del tirante alcanzado por la inundación, permite identificar posibles efectos en cualquier punto de la zona inundada.

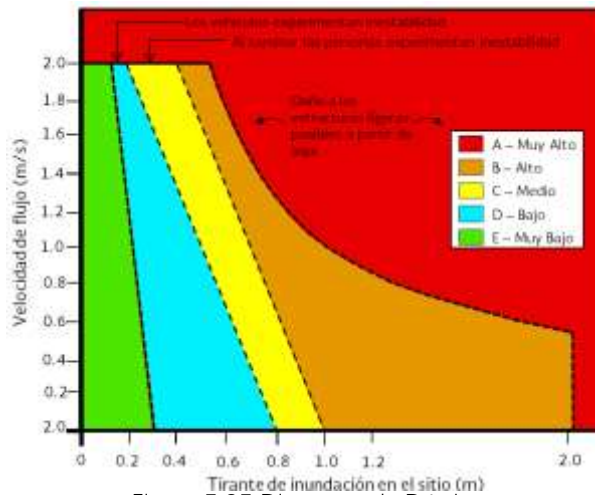


Figura 5.35 Diagrama de Dórrigo

El Diagrama de Dórrigo (Figura 5.36) presenta un cuadrante coordinado compuesto por la velocidad del flujo ( $v$ ), en el eje de las ordenadas, y el tirante que alcanza la inundación ( $y$ ), en eje de las abscisas, dividido en cinco diferentes regiones, en función de los efectos que pueden llegar a presentarse ante la combinación de las dos variables antes mencionadas, a través de las cuales es posible identificar algunos de los efectos generados por una inundación y, de esa manera, clasificar toda el área inundada en función de la combinación ( $y,v$ ).

Cada región se identifica a través de una letra, de la A a la E y la “severidad de la inundación” se clasifica a través de un código de colores: el rojo corresponde a severidad muy alta, mientras que el verde a la severidad muy baja.

En la Figura 5.37 se observa el criterio adoptado para clasificar la severidad ante una inundación.






Índices de severidad		<b>Letra</b>	<b>Índice</b>	<b>Color</b>
	Muy alto	<i>A</i>	Muy Alto	Rojo
	Alto	<i>B</i>	Alto	Naranja
	Medio	<i>C</i>	Medio	Amarillo
	Bajo	<i>D</i>	Bajo	Azul
	Muy bajo	<i>E</i>	Muy Bajo	Verde

Figura 5.36 Código de colores para elaborar mapas de severidades

El mapa de severidad permite que toda la zona afectada por la inundación sea clasificada en función de los efectos generados por la combinación del tirante y la velocidad estimados a través de la modelación hidráulica. Puede ser útil para restringir aquellas zonas que no deben ser utilizadas, o bien, reglamentar los usos del suelo que comprometan menos a la población o a la misma infraestructura, en función de esa severidad.

La elaboración de un mapa de severidad por inundación requiere los resultados de un modelo bidimensional (tirantes y velocidades calculadas en cada celda de la zona modelada). Estas variables se almacenan en archivos ráster (matrices de valores de velocidad por un lado y matrices de valores de tirantes por el otro), que se conforman a partir de la extracción del valor de ambas variables en cada celda y para cada tiempo de cálculo de la modelación, es decir:

- a) en la primera iteración se genera un archivo con el valor que resulte de cada variable en la matriz de tirantes y en la matriz de velocidades,
- b) en el paso siguiente se compara el resultado obtenido para las variables tirante y velocidad en toda la zona de análisis, con el valor existente (del primer paso de tiempo) en la matriz de tirantes y en la de velocidades y, en caso de que el nuevo valor sea mayor al existente, se sustituye y se guardan las nuevas matrices de tirantes y velocidades,
- c) para el resto de los paso de cálculo, y hasta el final de la simulación, se realiza la misma comparación entre el valor obtenido en cada paso de tiempo y los de las matrices de tirantes y velocidades existentes y cada vez que algún nuevo valor sea mayor a su antecesor, se sustituye,
- d) al final del proceso, la matriz velocidad y la matriz de tirantes contendrán el valor máximo alcanzado por cada variable en la zona de estudio, es decir, representarán la envolvente de tirantes máximos (Figura 5.38) y la envolvente de velocidades máximas (Figura 5.39).



Figura 5.37 Envolverte de tirantes máximos



Figura 5.38 Envolverte de velocidades máximas

- e) Por último, el mapa de severidades resulta de identificar la pareja de valores  $(y,v)$  para cada elemento de la matriz y verificar en qué zona del Diagrama de Dórrigo se ubica, procediendo a clasificar cada elemento (Figura 5.40).

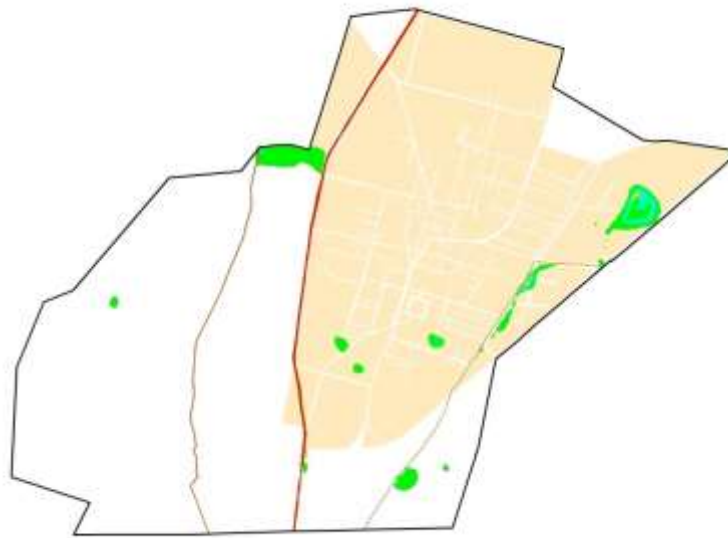


Figura 5.39 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años

Este último mapa, de severidades, puede ser útil para que con base en el grado de severidad identificado en las diferentes zonas que conforman el área de estudio, se definan posibles usos de suelo cuyo objetivo sea minimizar los daños que puedan presentarse en ellas.

También se muestra en este estudio, tal y como se mencionó en el subcapítulo precedente, los niveles de severidad, por lo que se presenta la figura siguiente que muestra datos valiosos, de la relación velocidad del flujo/profundidad hidráulica de inundación, la cual es fundamental.

La severidad aquí presentada se toma de acuerdo a la clasificación sugerida por Dorrigo en Paterson (2007), que corresponde a la dupla (velocidad, profundidad), donde los daños más severos o críticos están en la zona profundidad y velocidad mayor a 2 metros.

Para nuestro caso dicha zona se maneja en color rojo, hasta un total de cinco colores terminado con color verde en la zona de daños menos severos; y cada color es asociado a una letra.

En las figuras siguientes se observan los mapas de severidad para los periodos de retorno analizados.

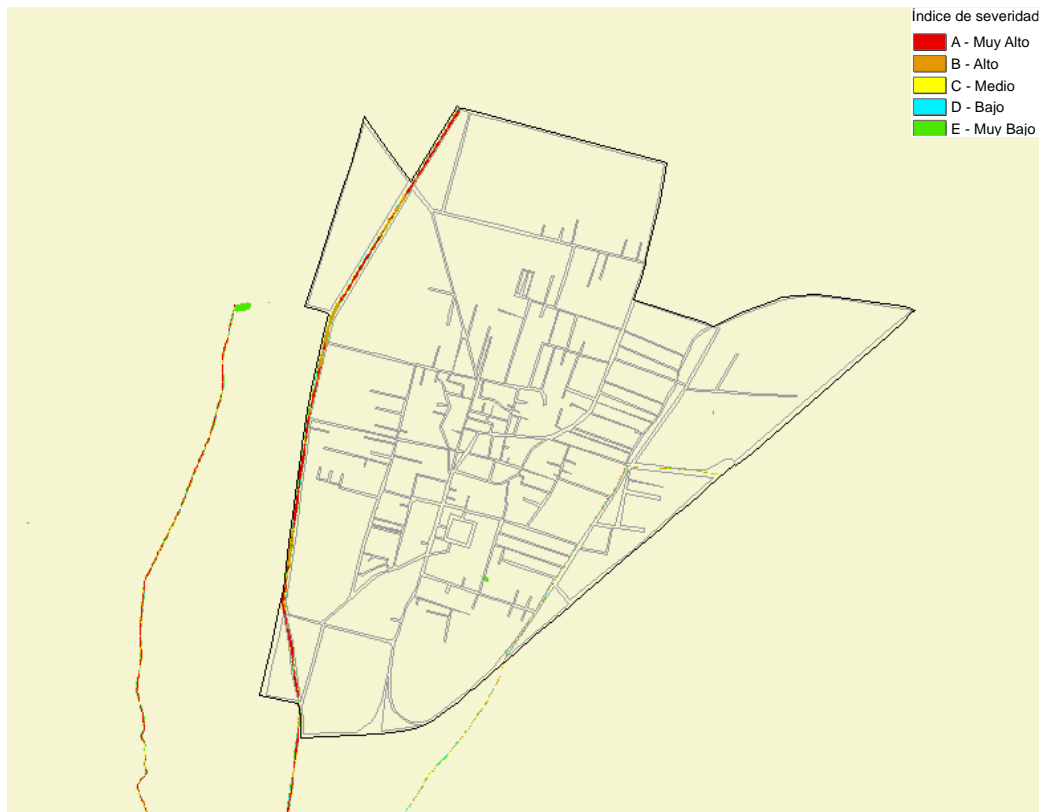


Figura 5.40 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 2 años



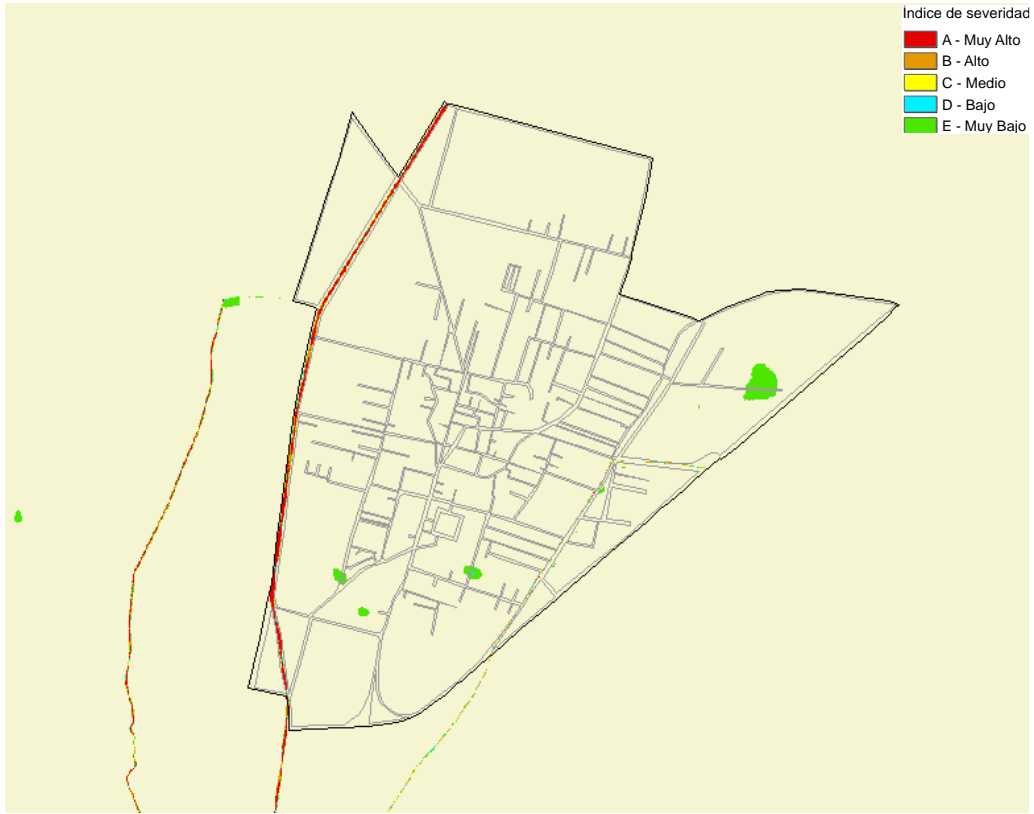


Figura 5.41 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 5 años

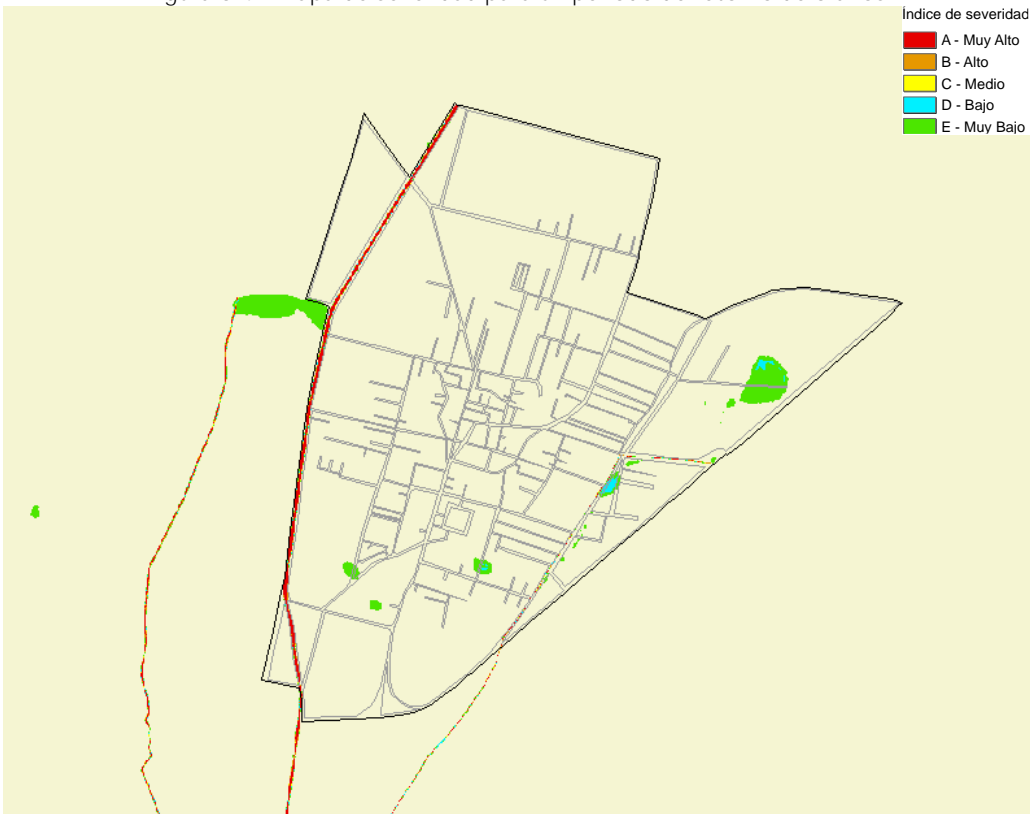


Figura 5.42 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 10 años

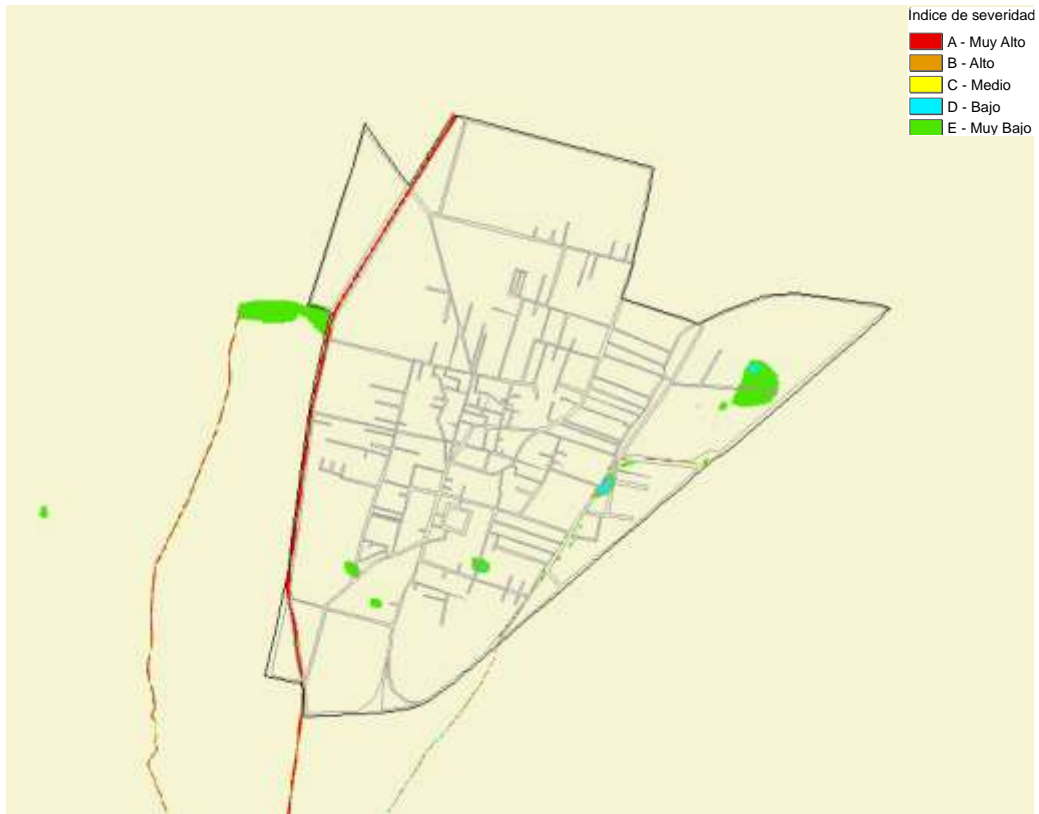


Figura 5.43 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años

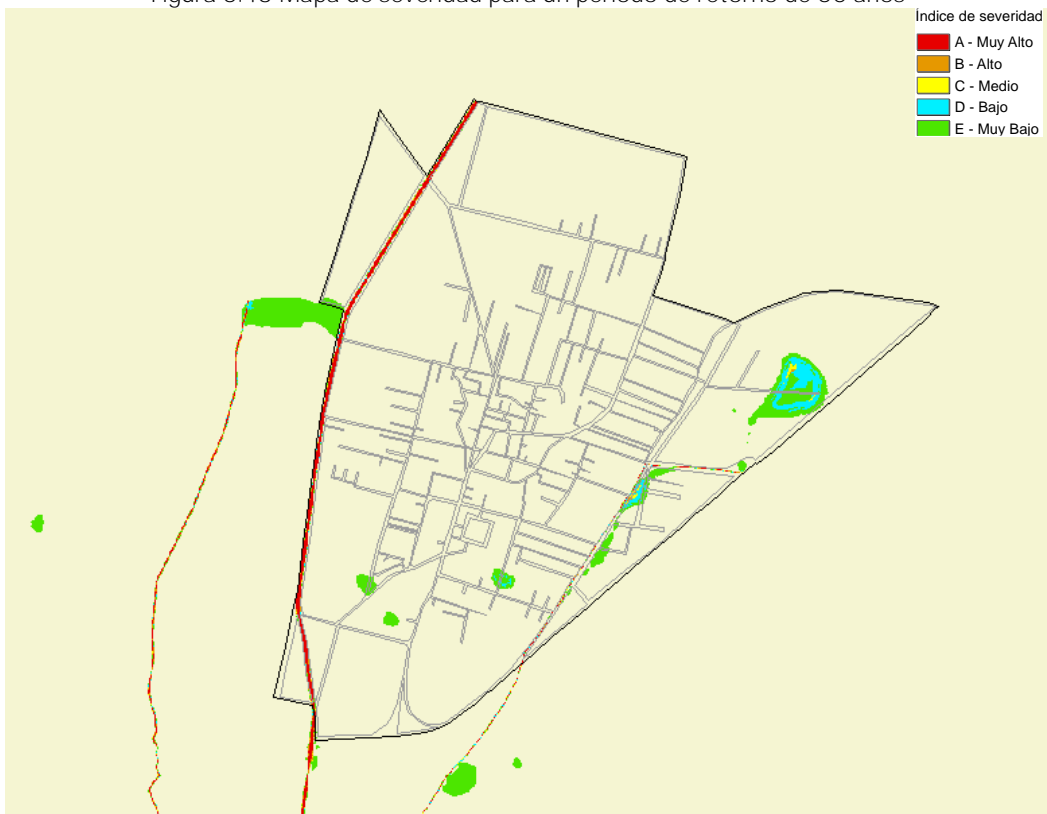


Figura 5.44 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años

Para el periodo de retorno de 2 años, se presentan los niveles de severidad muy baja en las márgenes de las tres corrientes analizadas. La severidad baja se presenta sobre el río Chico al noroeste de la zona urbana producida por desbordamiento del río. Al analizar el modelo hidráulico se aprecia que el desbordamiento del río se debe a la insuficiencia de una sección transversal por algún obstáculo presente en el terreno, a la altura de la colonia Santa Catarina: calles Torres y Arboledas cruce con Avenida Río Chico Tenango.

Para el periodo de retorno de 5 años comienzan a aparecer zonas de severidad baja en la parte centro de Acolman, sobre la calle Los Frayles, cerca del Palacio Municipal, así como cerca del cruce de las calles Progreso y 1° de Septiembre, además de incrementarse la zona anteriormente mencionada para el Tr de dos años.

Las avenidas de diseño de 10 años de retorno producen apenas unas pequeñas zonas de severidad media, localizadas sobre las márgenes de los ríos considerados en el modelo. Éstas se encuentran al inicio del tramo analizado del Río Chico y sobre el canal analizado en la parte derecha de la ciudad. En la parte centro aparecen nuevas manchas de severidad baja, justo en la zona del Ex-Convento de Acolman.

La avenida de diseño con periodo de retorno de 50 años produce una severidad Alta en las márgenes de las tres corrientes analizadas. Con esta avenida es evidente que se han extendido las zonas que se detectaron con severidad baja para el Tr de 10 años. Llama la atención que el Río Chico desborda sobre su margen izquierda produciendo una mancha de severidad muy baja pero muy extensa, casi juntándose con el Río Grande o San Juan a la altura de la colonia Santa Catarina, cubriendo por completo la calle Arboledas. En este tramo se encontraron varios puentes y vados que obstaculizan el libre tránsito de los escurrimientos, al verse disminuida la sección hidráulica de la corriente Río Chico.

Para el periodo de retorno de 100 años se incrementa el área de afectación en las colonias y zonas especificadas para el periodo de retorno de 50 años antes mencionadas. Además se extiende la zona de encharcamiento por lluvia en la zona de la Preparatoria Oficial 107, entre la calle Progreso y la carretera México-Pirámides.



## GLOSARIO

Alerta. Se avisa de que se aproxima un peligro, pero que es menos inminente que lo que implicaría un mensaje de advertencia (2,7).

Alerta temprana (Aviso temprano). Provisión de información oportuna y eficaz de instituciones y actores claves, que permita a individuos expuestos a una amenaza la toma de decisiones a fin de evitar o reducir su riesgo y prepararse para una respuesta efectiva (2,7).

Área de Aportación. Véase cuenca (4).

Avenida (Crecida). Elevación, generalmente, rápida en el nivel de las aguas de un curso fluvial, hasta un máximo a partir del cual dicho nivel desciende a una velocidad menor (3).

Azolve. Material de acarreo que obstruye una corriente de agua (4).

Bienes Expuestos. Son todos aquellos bienes y servicios usados por la población para satisfacer sus necesidades y que pueden ser afectados durante una inundación (4).

Bordo de protección. Estructura que sirve para contener el agua de una corriente, ya sea no dejando que ésta salga e inunde las zonas vecinas, o bien, una vez que el escurrimiento del río ha sobrepasado la capacidad de conducción de la corriente y se ha desbordado, éste no alcance una determinada zona (4).

Caudal. Volumen de agua que fluye a través de una sección transversal por unidad de tiempo (2).

Capacidad de conducción. Potencial máximo con el que cuenta una corriente para desalojar un determinado volumen de agua durante cierto tiempo (4).

Cauce. Se refiere a la zona más baja del terreno por donde normalmente escurre el agua que se precipita en las zonas aledañas (4).

Control de crecidas (control de inundaciones). Manejo de los recursos de agua a través de construcciones de diques, represas, etc. para evitar inundaciones (2).

Cuenca. Área que aporta el agua precipitada hasta un determinado punto sobre una corriente, a través de un sistema de corrientes. Está delimitada por el parteaguas.

Cuerpo de agua. Formación hídrica que en conjunto forman la hidrosfera como charcos temporales, estanques, lagunas, lagos, mares, océanos, ríos, arroyos, manantiales, reservas subterráneas, acuíferos, casquetes polares y masas nubosas. (Sarmiento, 2001) (4).

Cubierta vegetal. Conjunto de plantas localizadas en un área geográfica definida que forman una capa protectora para el suelo; puede ser total, parcial, rala, dispersa, etc. (Sarmiento, 2001) (4).

**Daño.** Efecto adverso o grado de destrucción causado por un evento peligroso de inundación sobre las personas, los bienes, los sistemas de producción y servicios, y en sistemas naturales o sociales (4).

**Deforestación.** Limpieza o destrucción de un área previamente forestada (2).

**Desbordamiento.** Volumen de agua que sale por los lados de un río, cuando la capacidad de conducción de éste ha sido superada.

**Emergencia.** Situación anormal que puede causar un daño a la sociedad y propiciar un riesgo excesivo para la seguridad e integridad de la población en general, generada o asociada con la inminencia, alta probabilidad o presencia de un agente perturbador (5).

**Estaciones Hidrométricas.** Sitio junto a un río donde periódicamente se lleva a cabo la medición del escurrimiento, para conocer su régimen hidráulico a lo largo del año (4).

**Evaluación del riesgo.** Abarca el análisis, evaluación e interpretación de las distintas percepciones de un riesgo y de la tolerancia de la sociedad ante el riesgo como información para tomar decisiones y acciones en el proceso de riesgo de inundaciones. Es el postulado de que el riesgo resulta de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos en un territorio y con frecuencia a grupos o unidades sociales y económicas particulares. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y las consecuencias en un área determinada. Análisis de amenazas y de vulnerabilidades componen facetas del análisis de riesgo y deben estar articulados con este propósito y no comprender actividades separadas e independientes. Un análisis de vulnerabilidad es imposible sin un análisis de amenazas, y viceversa (3).

**Gasto.** Es la cantidad de escurrimiento que pasa por un sitio determinado en un cierto tiempo, también se conoce como caudal. Este concepto se usa para determinar el volumen de agua que escurre en un río (4).

**Gestión Integral de Riesgos:** El conjunto de acciones encaminadas a la identificación, análisis, evaluación, control y reducción de los riesgos, considerándolos por su origen multifactorial y en un proceso permanente de construcción, que involucra a los tres niveles de gobierno, así como a los sectores de la sociedad, lo que facilita la realización de acciones dirigidas a la creación e implementación de políticas públicas, estrategias y procedimientos integrados al logro de pautas de desarrollo sostenible, que combatan las causas estructurales de los desastres y fortalezcan las capacidades de resiliencia o resistencia de la sociedad. Involucra las etapas de: identificación de los riesgos y/o su proceso de formación, previsión, prevención, reducción, preparación, auxilio, recuperación y reconstrucción (5).

**Hidrograma.** Es la representación gráfica de la variación continua del gasto en el tiempo. En cada instante se conoce el gasto que está pasando en el sitio de medición (4).

**Hietograma.** Es una gráfica de barras que muestra la variación de la altura o de la intensidad de la precipitación en intervalos de tiempo, usualmente de una hora (4).

Intensidad de precipitación. Es la cantidad de lluvia que se precipita en cierto tiempo (altura de precipitación por unidad de tiempo). Sus unidades son mm/h, mm/día, etc. (4).

Inundación. Evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica que provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, genera invasión o penetración de agua en sitios donde “usualmente” no la hay (4).

Mapa de riesgos de inundaciones. Mapa confeccionado según criterios científicos, que indica los elementos de riesgo e informa sobre el grado y la extensión espacial de la inundación (3).

Medidas estructurales. Cualquier construcción física concebida para reducir o evitar el posible impacto de eventos peligrosos, ellas, incluyen obras de ingeniería y construcción de estructuras hidráulicas e infraestructuras resistentes a las inundaciones (3).

Medidas no estructurales. Acciones concebidas para reducir o evitar el posible impacto de fenómenos peligrosos, se encaminan a través del ordenamiento físico de los asentamientos humanos, la planificación de proyectos de inversión de carácter industrial, agrícola o de infraestructura, la educación y el trabajo con comunidades expuestas. Estas medidas son de especial importancia para que, en combinación con las medidas estructurales, se pueda reducir el riesgo de una manera efectiva y equilibrada. Las medidas no estructurales pueden ser activas o pasivas. Las medidas no estructurales activas son aquellas en las cuales se promueve la interacción directa con las personas y destacan: la organización para la atención de emergencias, el desarrollo y fortalecimiento institucional, la educación formal y capacitación, la información pública y campañas de difusión así como la participación comunitaria y la gestión a nivel local. Las medidas no estructurales pasivas son aquellas más directamente relacionadas con la legislación y la planificación. (3).

Monitoreo (Vigilancia). Sistema que permite la observación, medición y evaluación continúa del progreso de un proceso o fenómeno a la vista, para tomar medidas correctivas (2).

Nivel de alarma de crecida (Alarma de nivel de inundación). Nivel de agua que se considera peligroso y en el cual deberían iniciarse las advertencias (2).

Ordenamiento territorial (Planificación del uso de la tierra). Rama de la planificación física y socioeconómica que determina los medios y evalúa el potencial o limitaciones de varias opciones de uso del suelo, con los correspondientes efectos en diferentes segmentos de la población o comunidad, cuyos intereses han sido considerados en la toma de decisiones. Es la asignación planificada y regulada de determinado uso del suelo, ya sea urbano, rural, área natural, etc. El ordenamiento territorial tiene en cuenta el uso actual y futuro del suelo, así como, el interés colectivo para asignar los diferentes “usos del suelo” (3).

Parteaguas. Es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico que separa una cuenca de sus vecinas (4).



Peligro. Probabilidad de ocurrencia de un agente perturbador potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo y en un sitio determinado (5).

Periodo de retorno. Es el tiempo que, en promedio, debe transcurrir para que se presente un evento igual o mayor a una cierta magnitud. Normalmente, el tiempo que se usa son años y la magnitud del evento puede ser el escurrimiento, expresado como un cierto gasto, una lámina de precipitación o una profundidad de inundación (tirante). Se subraya que el evento analizado no ocurre exactamente en el número de años que indica el periodo de retorno, ya que éste puede ocurrir el próximo o dentro del periodo especificado (4).

Preparación: Actividades y medidas tomadas anticipadamente para asegurar una respuesta eficaz ante el impacto de un fenómeno perturbador en el corto, mediano y largo plazo (5).

Precipitación. Proceso por el cual el vapor de agua que forma las nubes se condensa, formando gotas de agua que al alcanzar el tamaño suficiente se precipitan, en estado líquido como lluvia o sólido como nieve o granizo, hacia la superficie terrestre. La precipitación pluvial se mide en milímetros (Ahrens, 2000).

Prevención: Conjunto de acciones y mecanismos implementados con antelación a la ocurrencia de los agentes perturbadores, con la finalidad de conocer los peligros o los riesgos, identificarlos, eliminarlos o reducirlos; evitar o mitigar su impacto destructivo sobre las personas, bienes, infraestructura, así como anticiparse a los procesos sociales de construcción de los mismos (5).

Previsión: Tomar conciencia de los riesgos que pueden causarse y las necesidades para enfrentarlos a través de las etapas de identificación de riesgos, prevención, reducción, preparación, atención de emergencias, recuperación y reconstrucción (5).

Probabilidad de excedencia. Probabilidad de que una magnitud dada de un evento sea igual o excedida (2).

Protección civil. Sistema de medidas, usualmente ejecutadas por una agencia del gobierno, para proteger a la población civil en tiempo de guerra, responder a desastres y prevenir y mitigar las consecuencias de un desastre mayor en tiempos de paz. El término Defensa civil se usa cada vez más en estos días (2).

Población en riesgo. Una población bien definida cuyas vidas, propiedades y fuentes de trabajo se encuentran amenazadas por peligros dados. Se utiliza como un denominador (2).

Pronóstico. Determinación de la probabilidad de que un fenómeno físico se manifieste con base en: en el estudio de su mecanismo generador, la observación del sistema perturbador y/o registros de eventos en el tiempo. En el caso de las inundaciones corresponde a la previsión del nivel, caudal tiempo de ocurrencia y duración de la avenida, especialmente de su caudal máximo en un punto determinado, producida por precipitación sobre la cuenca (3).

Reducción de Riesgos: Intervención preventiva de individuos, instituciones y comunidades que nos permite eliminar o reducir, mediante acciones del impacto adverso

de los desastres. Contempla la identificación de riesgos y el análisis de vulnerabilidades, resiliencia y capacidades de respuesta, el desarrollo de una cultura de la protección civil, el compromiso público y el desarrollo de un marco institucional, la implementación de medidas de protección del medio ambiente, uso del suelo y planeación urbana, protección de la infraestructura crítica, generación de alianzas y desarrollo de instrumentos financieros y transferencia de riesgos, y el desarrollo de sistemas de alertamiento (5).

Régimen Hidráulico. Variación temporal de una corriente. Normalmente hay dos regímenes: el estiaje y la temporada de lluvias (4).

Regulación. Capacidad de un río, en un cierto tramo y para un instante dado, de sacar más agua de la que entra, es decir, almacenar instantáneamente un cierto volumen (4).

Rehabilitación. Operaciones y decisiones tomadas después de un desastre con el objeto de restaurar una comunidad golpeada, y devolverle sus condiciones de vida, fomentando y facilitando los ajustes necesarios para el cambio causado por el desastre (2,7).

Reubicación. Acciones necesarias para la instalación permanente de personas afectadas por un desastre, a un área diferente a su anterior lugar de vivienda (2).

Remanso. Aumento en el nivel de agua de un río, debido al taponamiento natural o artificial de éste (2).

Riesgo. Es la combinación de tres factores: el valor de los bienes expuestos,  $C$ , la vulnerabilidad,  $V$ , y la probabilidad,  $P$ , de que ocurra un hecho potencialmente dañino para lo expuesto (4).

Riesgo Inminente. Aquel riesgo que según la opinión de una instancia técnica especializada, debe considerar la realización de acciones inmediatas en virtud de existir condiciones o altas probabilidades de que se produzcan los efectos adversos sobre un agente afectable (5).

Seguro. Instrumento de Administración y Transferencia de Riesgos (5).

Sistema de información geográfica. Es una herramienta de software que permite capturar, almacenar, organizar, presentar y realizar análisis sobre información geográficamente referenciada, es decir, que posee coordenadas terrestres. La tecnología GIS integra operaciones de bases de datos comunes tales como búsquedas o análisis estadísticos apoyados por la ayuda y beneficios ofrecidos por el desplegado gráfico de dicha información (1).

Tirante. Elevación de la superficie del agua sobre un punto en el terreno (4).

Vulnerabilidad. Susceptibilidad o propensión de un agente afectable a sufrir daños o pérdidas ante la presencia de un agente perturbador, determinado por factores físicos, sociales, económicos y ambientales (5).

Zona de Riesgo. Espacio territorial determinado en el que existe la probabilidad de que se produzca un daño, originado por un fenómeno perturbador (5).

- (1) Ciclones tropicales. Serie Fascículos. Centro Nacional Prevención de Desastres. Secretaría de Gobernación. 1ª. Edición, diciembre 2003.
- (2) Department of Humanitarian Affairs (DHA) (1992). Internationally agreed glossary of basic terms related to Disaster Management. United Nations.
- (3) González T. M. E. (2008), Tesis doctoral. Un modelo integral para la valoración del riesgo de inundación en centros urbanos y/o suburbanos. Enfoque metodológico utilizando indicadores Caso: Pueblo Viejo, Veracruz, México. Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Geografía.
- (4) Inundaciones. Serie Fascículos. Centro Nacional Prevención de Desastres. Secretaría de Gobernación. 1ª. Edición, octubre 2004. ISBN 978-870-821-002-7.
- (5) Ley General de Protección Civil. Decreto por el que se expide la Ley General de Protección Civil. Diario Oficial de la Federación. Junio de 2012.
- (6) Proyecto de norma mexicana. PROY-NMX-AA-175-SCFI-2015. Operación segura de presas. Parte 1.- Análisis de riesgo y clasificación de presas.
- (7) Este término no se maneja en el presente documento, sin embargo, sirvió de base para la gestión integrada de la zona de estudio.

## ANEXOS

Los anexos se presentan de manera digital en disco adjunto al presente documento. El disco contiene la siguiente estructura:

a) Carpeta: Capítulo 3

Carpeta: Mpks \_figuras

Esta carpeta contiene los proyectos de ArcGIS en formato Mpk de la información correspondiente al capítulo 3 “Caracterización de la cuenca y de las zonas inundables”. Los proyectos que contiene la carpeta son:

1. Ubicación
2. Zonas potencialmente inundables
3. Zona urbana
4. Subcuencas de aportación
5. Relieve
6. Uso de suelo
7. Edafología
8. Estaciones climatológicas
9. EMA's
10. Ríos principales
11. Número de curva

Carpeta: Estaciones

Esta carpeta contiene los registros de la información de la precipitación de las estaciones climatológicas convencionales y de las estaciones Meteorológicas automáticas. Además, contiene la información relacionada con los escurrimientos de cada una de las estaciones hidrométricas y de las presas. La información está agrupada como sigue:

12. Registros de estaciones climatológicas
13. Registros de estaciones meteorológicas automáticas (no aplica)
14. Registros de estaciones hidrométricas
15. Registros de las presas de almacenamiento y de control de inundaciones (no aplica)

b) Carpeta: Capítulo 4

Carpeta: Mpks de figuras

Esta carpeta contiene los proyectos de ArcGIS en formato Mpk de la información correspondiente al capítulo 4 “Diagnóstico de las zonas inundables”. Los proyectos que contiene la carpeta son:

16. Densidad de estaciones climatológicas convencionales

- 17. Densidad de estaciones meteorológicas automáticas
- 18. Grados de marginación de la zona urbana (no aplica)

c) Carpeta: Capítulo 5

Carpeta: Mpk de figuras

Esta carpeta contiene los proyectos de ArcGIS en formato Mpk de la información correspondiente al capítulo 5 “Evaluación de riesgos de inundación”. Los proyectos que contiene la carpeta son:

- 19. Delimitación de los hombros del cauce
- 20. Coeficiente de rugosidad de la zona urbana (uso de suelo)
- 21. Esquema del modelo hidráulico

Carpeta: Hidrología

Esta carpeta contiene los modelos lluvia-escorrentamiento construidos con el software HEC-HMS, y la información de entrada al modelo hidráulico el cual se construyó con el software IBER. La información es:

- 22. Modelo HEC-HMS actual
- 23. Análisis de frecuencias de gastos máximos anuales
- 24. Hidrogramas actuales de entrada al modelo IBER en Excel
- 25. Hietograma actual de entrada a la ZU en Excel

Carpeta: MDE

Esta carpeta contiene la información de los modelos digitales de elevación utilizados en la modelación hidráulica.

- 26. MDE de la Zona Urbana con el dragado incorporado
- 27. TXT del uso de suelo detallado en la Zona Urbana

Carpeta: Modelos IBER

Esta carpeta contiene el modelo hidráulico en condiciones actuales construido en el software IBER.

- 28. Modelos simulados en condiciones actuales para cada TR

Carpeta: Resultados IBER

Esta carpeta contiene los resultados con las condiciones actuales de la modelación hidráulica con IBER y los Daños Anuales Esperados.

- 29. MPK's de resultados: profundidades, velocidades, severidad y riesgo en condiciones actuales para cada TR y riesgo con medida
- 30. Pérdidas económicas actuales por TR en Excel

d) Carpeta: Capítulo 6

Carpeta: Mpks de figuras

Esta carpeta contiene los proyectos de ArcGIS en formato Mpk de la información correspondiente al capítulo 6 "Propuesta de medidas para disminuir los daños".

Los proyectos que contiene la carpeta son:

- 31. Coeficiente de Manning con medida de revestimiento en canal

Carpeta: Hidrología

Esta carpeta contiene los modelos lluvia-escorrentía construidos con el software HEC-HMS, y la información de entrada al modelo hidráulico el cual se construyó con el software IBER. La información es:

- 32. Modelo HEC-HMS con medida (no aplica)
- 33. Hidrogramas con medida de entrada al modelo IBER en Excel (no aplica)
- 34. Hietograma con medida de entrada a la Zona Urbana en Excel (no aplica)

Carpeta: Modelos IBER

Esta carpeta contiene el modelo hidráulico con medida construido en el software IBER.

- 35. Modelos simulados con medida para cada TR

Carpeta: Resultados IBER

Esta carpeta contiene los resultados considerando las medidas de la modelación hidráulica con IBER y los Daños Anuales Esperados.

- 36. MPK's de resultados: profundidades, velocidades, severidad y riesgo con medida
- 37. Pérdidas económicas con medida por TR en Excel

## REFERENCIAS

Baró-Suárez, J. E., Díaz-Delgado, C., Calderón-Aragón, G., Cadena-Vargas, E. y Esteller-Alberich, M.V., 2011. Costo más probable de daños por inundación en zonas habitacionales de México. *Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería Hidráulica en México*, volumen II, núm. 3, julio-septiembre de 2011, pp. 201-218.

Beven, K.J. and Kirkby, M.J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.* Vol. 24, no. 1, 1979, pp. 43-69.

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M.E., Dolz, J., Coll, A. (2014). "Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos". *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, Vol.30(1) pp.1-10

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2014. Programa Nacional de Prevención Contra Contingencias Hidráulicas. 13 Organismos de Cuenca. Primera Versión.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2011. Manual para el control de inundaciones.

De la Cruz L. F. Presentación de avance de proyecto del Instituto de Ingeniería ante CONAGUA. Septiembre de 2013. Participantes Faustino De la cruz Luna, Laura Vélez Morales, Griselda.

Diccionario de datos de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250,000. Noviembre (2009). Recuperado el 20 de noviembre de 2015 de: [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usuarios/doc/dd\\_usyv\\_v1\\_250k.pdf](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usuarios/doc/dd_usyv_v1_250k.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, ed. (2016). «Censo de población y vivienda 2010». Consultado el 11 de noviembre de 2015 de: [http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general\\_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=27770](http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=27770)

Meyer V. et al.(2012) Economic evaluation of structural and non-structural flood risk management measures: examples from the Mulde River. *Nat Hazards* (2012) 62:301-324. DOI 10.1007/s11069-011-9997-z. Received: 21 April 2011 / Accepted: 25 September 2011 / Published online: 14 October 2011\_ Springer Science+Business Media B.V. 2011.

Organización Meteorológica Mundial (OMM). Guía de prácticas hidrológicas. Volumen I Hidrología. OMM Sexta edición, 2011.

Paterson Consultants Pty Limited, 2007. Dorrigo Flood Study. Final Report. Bellingen Shire Council. December 2007. Consultado en: [http://www.bellingen.nsw.gov.au/index.php?option=com\\_content&view=article&id=47576:dorrigo-flood-study&catid=523&Itemid=1711](http://www.bellingen.nsw.gov.au/index.php?option=com_content&view=article&id=47576:dorrigo-flood-study&catid=523&Itemid=1711)

Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Acolman. H. Ayuntamiento de Acolman, Estado de México. (243 pp.). Recuperado el 20 de octubre de 2015 de:



[http://seduv.edomexico.gob.mx/planes\\_municipales/acolman/PMDU%20Acolman%20ok.pdf](http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/acolman/PMDU%20Acolman%20ok.pdf)

Salas S. M. A. Conferencia: Indicadores ambientales y el riesgo climático. Atlas de riesgo climático. 3er Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático. UNAM. Consultado en <http://www.pincc.unam.mx/congresonacional2013/presentaciones.html> Fecha de consulta: Septiembre, 2013.

UNESCO (1975). Soil map of the World. Volume III Mexico and Central America. Italy: 1975.

Uribe-Alcántara, Edgar Misael, et al, Mapa Nacional de Índice de Inundación. Agroasemex, S. A., Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México, vol. I, núm. 2, abril-junio de 2010, pp. 73-85.

USACE, 1991. Expected Annual Flood Damage Computation. User's Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. March 1989, pp 45-49