



MÉXICO

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

CONAGUA

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUPERFICIALES E
INGENIERIA 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 ZITÁCUARO, MICHOACÁN
DE OCAMPO.**

REGIÓN HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA IV, BALSAS

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Programa Contra Contingencias Hidráulicas para la
Zona Urbana de Zitácuaro, Michoacán de Ocampo

Región Hidrológico-Administrativa IV, Balsas

Contenido

1. Introducción	1
2. Gestión integrada de crecidas	3
2.1 La perspectiva a largo plazo	4
2.2 Políticas y estrategias de gestión integrada de crecidas	4
2.3 Declaratoria de Desastre Natural por fenómenos hidrometeorológicos.....	7
2.4 Matriz de análisis de la ley estatal de protección civil.....	9
2.5 Instituciones involucradas en la gestión de crecidas	12
2.5.1 Atribuciones de las instituciones involucradas con la atención a fenómenos hidrometeorológicos.....	14
3. Caracterización de la cuenca y de las zonas inundables.....	19
3.1 Identificación de zonas potencialmente inundables.....	20
3.2 Socioeconómica.....	21
3.3 Fisiográfica, meteorológica e hidrológica.....	21
3.3.1 Subcuencas de aportación	22
3.3.2 Relieve.....	23
3.3.3 Uso de suelo	24
3.3.4 Edafología.....	25
3.3.5 Precipitación	27
3.3.6 Escurrimientos	33
3.4 Características geomorfológicas de los cauces y planicies de inundación	34
3.5 Descripción de inundaciones históricas relevantes	37
3.6 Obras de protección contra inundaciones y acciones no estructurales existentes	39
3.7 Identificación de actividades actuales en las planicies de inundación.....	39
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	45

4.5.	Identificación de la vulnerabilidad a las inundaciones	45
4.6.	Identificación y análisis de la coordinación entre instituciones involucradas en la gestión de crecidas.....	48
5.	Evaluación de riesgos de inundación	51
5.1	Estimación de caudales y tormentas de entrada al sistema	51
5.1.1	Cálculo de la precipitación media de diseño.....	51
5.1.2	Construcción de tormentas hipotéticas	55
5.1.3	Modelo lluvia-escorrimento	56
5.1.4	Resultados.....	57
5.2	Modelo hidráulico	61
5.2.1	Condiciones de frontera.....	61
5.2.2	Procesamiento del modelo digital de elevaciones	62
5.2.3	Infraestructura.....	64
5.3	Simulación en las condiciones actuales	64
5.4	Resultados.....	67
5.5	Análisis de los resultados	72
5.6	Elaboración del mapa de severidad.....	78
6.	Esquema de seguimiento de la ejecución del programa.....	85
6.1	Programas de ejecución de medidas no estructurales.....	86
6.2	Programas de ejecución de medidas estructurales.....	87
	GLOSARIO	88
	REFERENCIAS.....	94

Lista de figuras

Figura 2.1 Gestión integrada de crecidas.....	4
Figura 3.1 Ubicación de la zona de estudio	19
Figura 3.2 Zonas potencialmente inundables.....	20
Figura 3.3 Zona urbana de Zitácuaro.....	21
Figura 3.4 Subcuencas de aportación	22
Figura 3.5 Relieve.....	23
Figura 3.6 Uso de suelo.....	24
Figura 3.7 Edafología.....	26
Figura 3.8 Estaciones climatológicas.....	28
Figura 3.9 Precipitación anual acumulada en la estación climatológica 16061 Laguna del Fresno	29
Figura 3.10 Precipitación media mensual en la estación climatológica 16061 Laguna del Fresno	30
Figura 3.11 Precipitación media mensual de las estaciones climatológicas cercanas a la ciudad de Zitácuaro.....	31
Figura 3.12 Estaciones climatológicas cercanas a la ciudad de Zitácuaro	32
Figura 3.13 EMA's.....	33
Figura 3.14 Ríos principales y estación hidrométrica.....	35
Figura 3.15 Variación del número de escurrimiento por subcuenca.....	37
Figura 3.16 Zonas inundables de la ciudad de Zitácuaro identificadas en la visita de campo	38
Figura 4.1 Densidad de estaciones climatológicas.....	42
Figura 4.2 Marginación en la zona urbana de Zitácuaro, Michoacán	47
Figura 5.1 Interfaz del programa VELL elaborado por el CENAPRED	54
Figura 5.2 Hietograma adimensional para distribución de la precipitación de diseño	56
Figura 5.3 Esquema del modelo hidrológico en la plataforma HEC-HMS.....	57
Figura 5.4 Hidrogramas de Entrada 1 (subcuenca 1)	58
Figura 5.5 Hidrogramas de Entrada 2 (subcuenca2)	58
Figura 5.6 Hidrogramas de Entrada 3 (subcuenca 3)	59

Figura 5.7 Hidrogramas de Entrada 4 (subcuenca 4)	59
Figura 5.8 Hidrogramas de Entrada 5 (subcuenca 5)	60
Figura 5.9 Hidrogramas de Entrada 6 (subcuenca 6)	60
Figura 5.10 Vectores que delimitan el ancho de los ríos	63
Figura 5.11 Malla final obtenida en el modelo IBER, para una zona del río Sam Juan Viejo-Zitácuaro	63
Figura 5.12 Variación del coeficiente de rugosidad de Manning en la zona de Zitácuaro	65
Figura 5.13 Esquema del modelo hidráulico	67
Figura 5.14 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años	67
Figura 5.15 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 2 años	68
Figura 5.16 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años	68
Figura 5.17 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años	69
Figura 5.18 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años	69
Figura 5.19 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años	70
Figura 5.20 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años	70
Figura 5.21 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años	71
Figura 5.22 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años	71
Figura 5.23 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años	72
Figura 5.24 Zonas de encharcamientos o derivación del río Zitácuaro, colonia Educación (TR= 100 años)	73
Figura 5.25 Zonas de encharcamientos o derivación del río Zitácuaro, colonia 6 de Junio (TR= 100 años)	73
Figura 5.26 Zonas de encharcamientos por lluvia en varias colonias de Zitácuaro, (TR= 100 años)	74

Figura 5.27 Zonas de encharcamientos por lluvia en la Unidad Deportiva La Joya, (TR= 100 años)	75
Figura 5.28 Red de drenaje natural de la zona urbana de Zitácuaro, Michoacán	76
Figura 5.29 Vista de la zona poniente de Zitácuaro a la altura de la colonia 6 de Junio... 77	
Figura 5.30 Evolución de los tirantes en una sección del río San Juan Viejo-Zitácuaro (Tr=2 y 100 años)	78
Figura 5.31 Diagrama de Dórrigo	78
Figura 5.32 Código de colores para elaborar mapas de severidades	79
Figura 5.33 Envoltente de tirantes máximos	80
Figura 5.34 Envoltente de velocidades máximas	80
Figura 5.35 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años	80
Figura 5.36 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 2 años	81
Figura 5.37 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 5 años	82
Figura 5.38 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 10 años	82
Figura 5.39 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años	83
Figura 5.40 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años	83
Figura 9.1 Esquema de seguimiento de medidas	85
Figura 9.2 Esquema de seguimiento de medidas no estructurales.	86
Figura 9.3 Esquema de seguimiento de una medida estructural.....	87

Lista de tablas

Tabla 2.1 Estrategias y opciones para la gestión de crecidas.....	6
Tabla 2.2 Matriz de análisis de la Ley de Protección Civil del Estado de Michoacán	11
Tabla 2.3 Ámbito de competencia de las instituciones involucradas	14
Tabla 3.1 Área de las subcuencas	22
Tabla 3.2 Uso de suelo.....	25
Tabla 3.3 Edafología.....	27
Tabla 3.4 Estaciones climatológicas	28
Tabla 3.5 Estaciones hidrométricas.....	34
Tabla 3.6 Descripción de los cuatro grupos de suelo	36
Tabla 3.7 Valores del número de escurrimiento N por subcuenca	36
Tabla 4.1 Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie, en km ² 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 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Zitácuaro, Michoacán	48
Tabla 5.1 Distribución de estaciones pluviométricas con más de 20 años completos, en la República Mexicana	53
Tabla 5.2 Lluvia máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno.....	54
Tabla 5.3 Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning “n” de acuerdo con el uso del suelo.....	66
Tabla 5.4 Profundidades máximas alcanzadas a la salida del modelo sobre el río San Juan Viejo-Zitácuaro.....	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 Zitácuaro, Estado de Michoacán de Ocampo*, perteneciente a la Región Hidrológico-Administrativa IV, Balsas. 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 Sudáfrica¹– 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, Japón² (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, Japón³ (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.



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.

Figura 2.1 Gestión integrada de crecidas

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 aquellas 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, acuicultura, 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
	Predicción y alerta de crecidas
Atenuar los efectos de las inundaciones	Información y educación
	Preparación en caso de desastres
	Medidas de recuperación después de la inundación
	Seguro contra inundaciones
Preservar los recursos naturales de las llanuras de inundación	Determinación de zonas y regulación de las planicies de inundación

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 (prevaleciendo 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 leyes⁴.

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 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

⁴ Gestión Integrada de Crecidas: Documento Conceptual, Organización Meteorológica Mundial, 2009

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 Michoacán fue publicada en el periódico oficial del estado, el 28 de diciembre del 2011. La presente Ley tiene por objeto ordenar las acciones de protección civil y prevención de riesgos en el ámbito del Estado, sin perjuicio de lo que disponga la normativa federal.

A través de la política del Estado en materia de protección civil, se busca identificar, localizar y analizar los distintos riesgos en el Estado, para la evaluación de sus consecuencias y de la vulnerabilidad del territorio y de la población ante cada riesgo contemplado; implementar medidas de prevención frente a cada riesgo que reduzcan o eliminen la posibilidad de que se produzcan daños; promover entre los distintos colectivos la autoprotección de forma tal que la población sea capaz de prever y prevenir cualquier suceso no deseable que pueda causar daños a personas y bienes, y de actuar en caso de que se produzca para neutralizarlo, reducir sus consecuencias y facilitar la evacuación; planificar la respuesta en caso de producirse daños a personas y bienes, estableciendo planes de emergencia que contemplen la estructura jerárquica y funcional que permita la actuación coordinada de los distintos servicios llamados a intervenir en el siniestro; intervenir sobre las causas del siniestro de forma que se limite su extensión y se reduzcan sus efectos; restablecer servicios esenciales y propiciar programas de recuperación para las zonas afectadas por los siniestros; preparar personal de los servicios de intervención; e informar y formar ciudadanos que pueden resultar afectados por las situaciones de emergencia (Tabla 2.2).

Los Planes de Protección Civil constituyen el instrumento organizativo general, mediante el que se ordena la respuesta a situaciones de grave riesgo colectivo, emergencia, catástrofe o calamidad pública y se establecen los mecanismos para la movilización, coordinación y dirección de los recursos humanos y materiales necesarios para la protección de las personas, los bienes y el medio ambiente ante dichas situaciones. La

prevención de riesgos tiene como objetivo primordial evitar y reducir desastres así como aminorar el impacto de los mismos, formulación y ejecución de programas, planes y proyectos relacionados con desastres referentes a su prevención, mitigación, preparación, respuesta y recuperación.

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

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

Lo que incluye	Lo que omite
	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

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 el 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.
Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA)	28FXXXVI,38FVII	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

Instituciones	Artículos	Atribuciones
		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.
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.

Instituciones	Artículos	Atribuciones
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 Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU)	41 fi INCISO A Y B	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 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.

Instituciones	Artículos	Atribuciones
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.
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.

Instituciones	Artículos	Atribuciones
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 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 rijan en sus estados.

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 Zitácuaro se localiza en la sub-región noreste del Estado de Michoacán de Ocampo y su ubicación comprende las siguientes coordenadas en sus puntos extremos: al norte 19° 33' 28" (Cerro de la Peña), al sur 19° 19' 00" de latitud norte (Cerro El Águila); al este 100° 10' 33" (Lengua de Vaca) y al oeste 100° 29' 02" longitud oeste (Las Mesitas), a una altura de 1,950 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

Colinda al norte con los municipios de Tuxpan, Ocampo y el Estado de México; al este con el Estado de México; al sur con el Estado de México y los municipios de Juárez, Susupuato y Jungapeo; al oeste con los municipios de Juárez, Jungapeo y Tuxpan.

La extensión del municipio de Zitácuaro es de 509.59 km², superficie que representa el 0.85% del territorio estatal y ocupa el 43° lugar entre los demás municipios de la entidad y su cabecera es la ciudad de Heroica Ciudad de Zitácuaro. Su distancia a la capital del Estado de Michoacán, Morelia, es de 150 kilómetros.

En el territorio municipal se encuentran las subcuencas del Río Zitácuaro, del Río Tuxpan y la del Río Tilostoc, las cuales pertenecen a la cuenca del Río Cutzamala dentro de la Región Hidrológica Balsas.



Figura 3.1 Ubicación de la zona de estudio

3.1 Identificación de zonas potencialmente inundables

De acuerdo al Mapa Nacional de Índice de Inundación⁵ en la zona urbana de Zitácuaro, la cual incluye las localidades de La Gironda, El Maguey, La Calera, La Garita de Coatepec y La Angostura, se presenta una zona potencialmente inundable en la parte suroeste fuera de la localidad, identificada como el vaso inundable por la presa El Bosque, lo que indica que la zona urbana, en primera instancia, no tiene problemas de inundación (Figura 3.2).

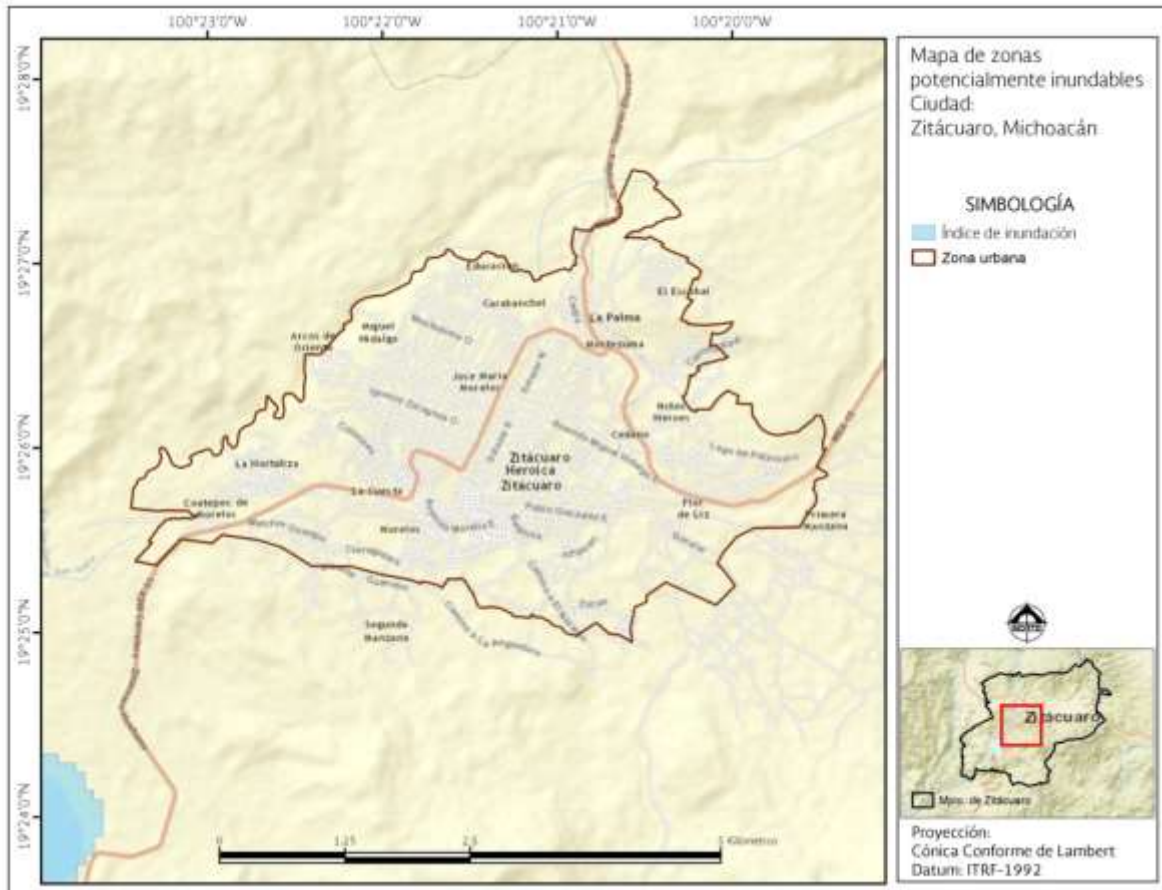


Figura 3.2 Zonas potencialmente inundables

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 pendiente⁶. 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.

⁵Uribe-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.

⁶Beven, 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

La localidad de Zitácuaro está situada en el municipio homónimo y tiene una población de 84,307 habitantes, de los cuales 9,335 son menores de 5 años y 8,153 mayores de 60. Se contabilizan 3,905 personas con capacidades limitadas. En relación a la escolaridad, el grado promedio es de 9.09 años. La población económicamente activa asciende a 34,440 habitantes, y en materia de salud 40,232 no tienen derecho a servicios de salud. Del total de viviendas (24,920), 1,644 tienen piso de tierra y 18,809 cuentan con servicios.

3.3 Fisiográfica, meteorológica e hidrológica

El territorio de Zitácuaro se encuentra surcado, de este a oeste, por los desprendimientos del Sistema Volcánico Transversal, lo que propicia que la superficie municipal esté integrada por sierra, con un porcentaje del 33.24%; por sierra con mesetas, 1.0%; lomerío con mesetas, 65.48% y llanura, 0.28%. Como se puede observar el territorio municipal es muy irregular y carece de valles y planicies. Como resultado de lo anterior, el 50% del territorio municipal es ocupado por elevaciones mayores de 2,000 metros. Esta situación orográfica impide que se tenga una práctica agrícola de mayores rendimientos.

La zona urbana de Zitácuaro tiene una extensión de 16.31 km², abarcando una longitud máxima de 7 kilómetros aproximadamente. Su altitud media es de 1,950 m.s.n.m., las altitudes máxima y mínima son de 2,150 y 1,750 m.s.n.m. respectivamente.

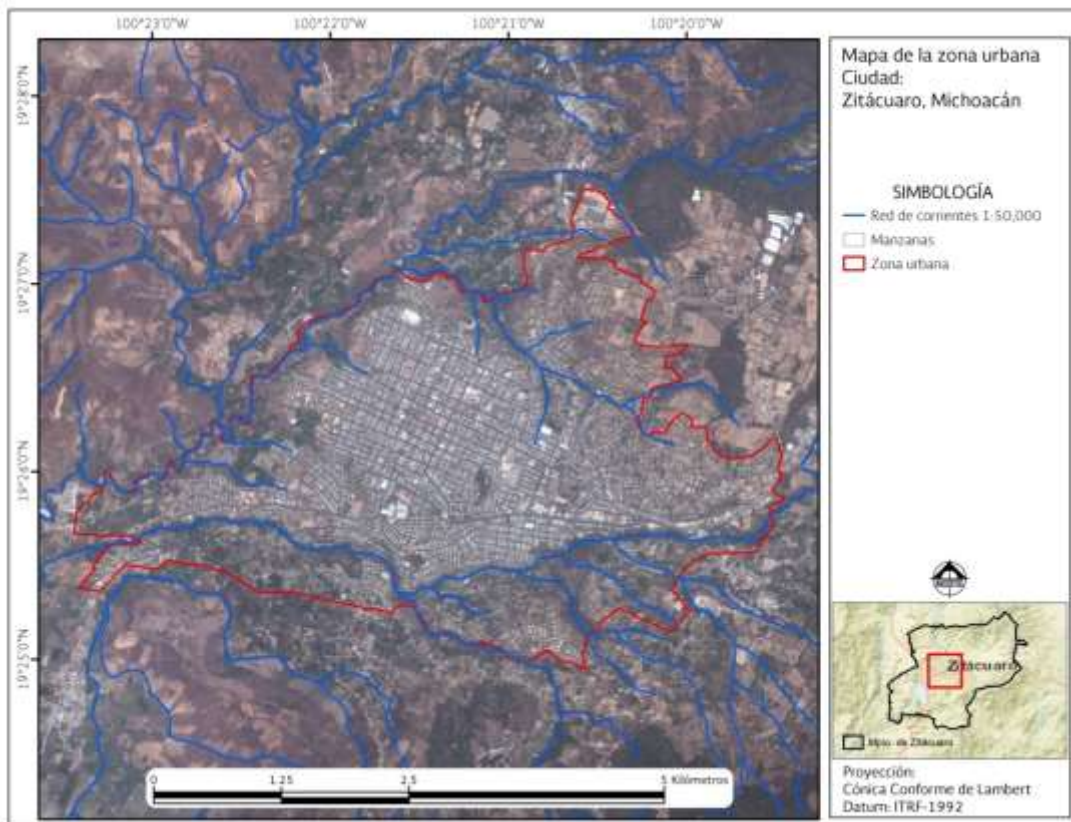


Figura 3.3 Zona urbana de Zitácuaro

3.3.1 Subcuencas de aportación

Con el fin de estimar el riesgo por inundación en la zona urbana de Zitácuaro se delimitaron siete áreas de drenaje natural (subcuencas) hasta la estación hidrométrica 18461 Zitácuaro, localizada aguas abajo de la zona urbana (Figura 3.4). Las subcuencas 1 a 6 se consideran entradas a la zona urbana, la subcuenca 7 corresponde al área urbana de Zitácuaro la cual se delimitó para ser considerada en el proceso de calibración del modelo hidrológico. El área total de las subcuencas es de 351.39 km², siendo la subcuenca dos la de mayor área de aportación con 148.02 km² (Tabla 3.1).

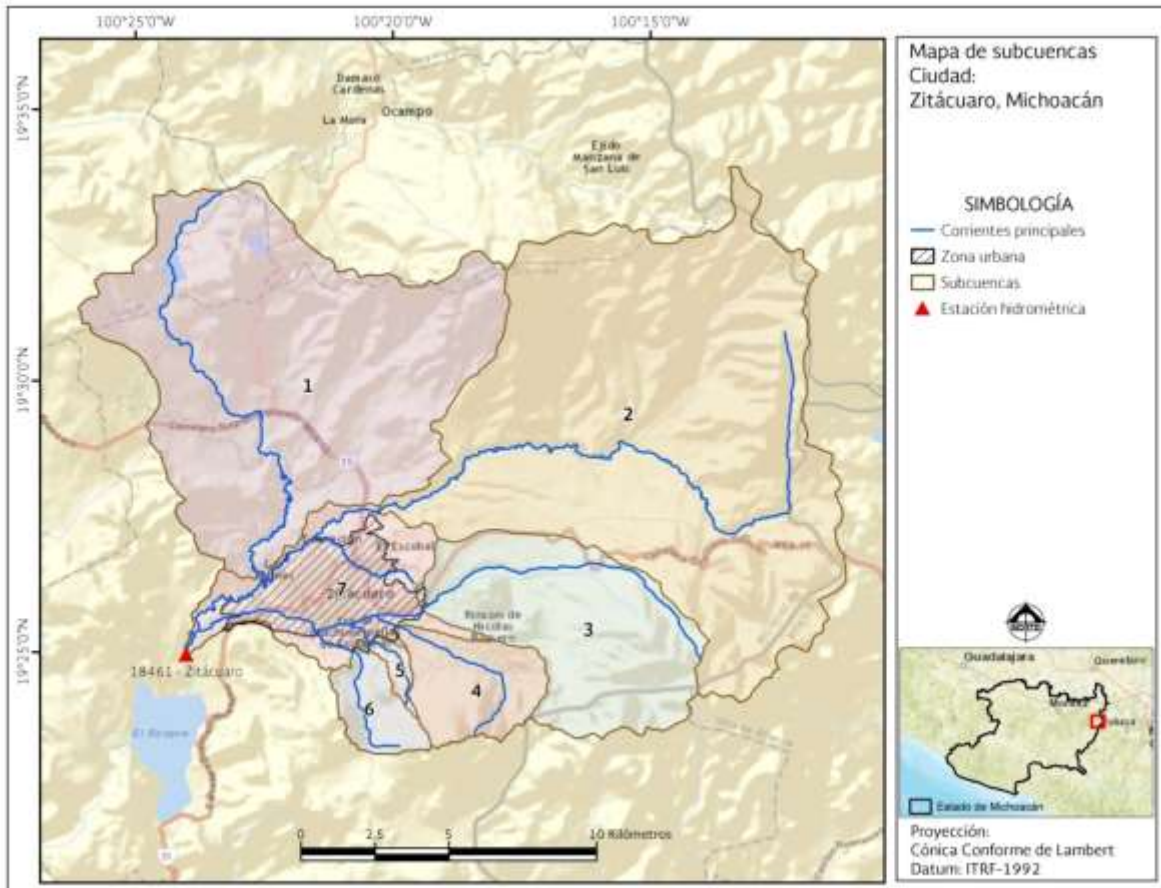


Figura 3.4 Subcuencas de aportación

Tabla 3.1 Área de las subcuencas

Subcuenca	Área (km ²)
1	109.66
2	148.02
3	42.28
4	14.47
5	1.77
6	7.39
7	27.79
TOTAL	351.39

3.3.2 Relieve

Su relieve lo constituyen el sistema volcánico transversal, la sierra de Zitácuaro, los cerros de Cacique, Santa Catarina, Coyota, Aquila, Zirahuato y Pelón y valles de Zitácuaro, San Felipe, Ocurio y el Polvorín.

Zitácuaro cuenta con varias elevaciones importantes por su altura; las principales son: Cerro Cacique, 3,200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.); Cerro el Huacal, 3,160; Cerro Zirahuato, 2,740; Cerro Gordo, 2,660; Cerro Las Flores, 2,540; Cerro La Campana, 2,460; Cerro La Pachuca, 2,460; Volcán El Molcajete, 2,360; Cerro El Epazote, 2,240 y Cerro La Pluma, 2,100⁷.

La elevación más alta de las subcuencas de aportación es de 3,600 m.s.n.m. mientras que la elevación más baja es de 1,700 m.s.n.m. (Figura 3.5).

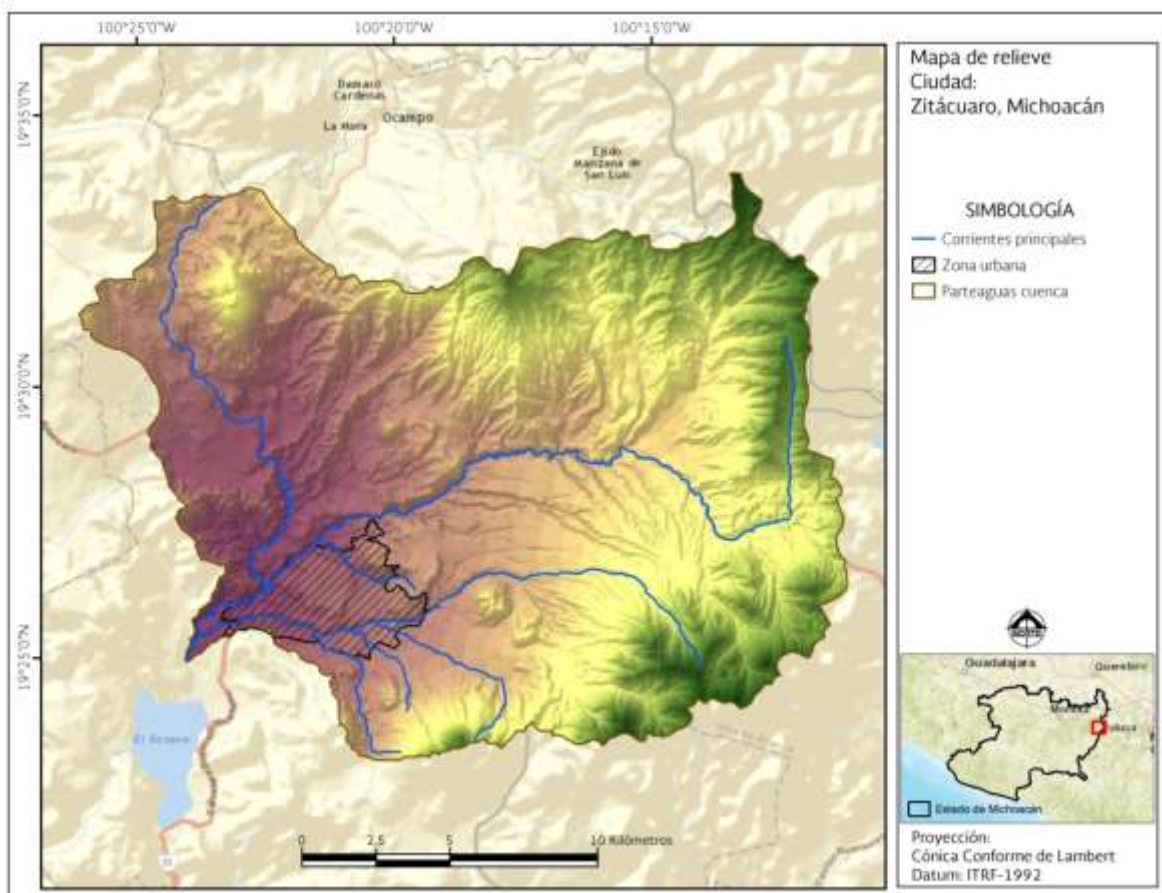


Figura 3.5 Relieve

⁷ Plan Municipal de Desarrollo 2015-2018. Gobierno Municipal de la Heroica Ciudad de Zitácuaro. Recuperado de: http://www.zitacuaro.gob.mx/2015_2018/ayuntamiento/plandedesarrollo16.pdf

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 ocho asociaciones vegetales: bosque cultivado, bosque de encino-pino, bosque de oyamel, bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña, vegetación secundaria arbórea, vegetación secundaria arbustiva y zonas agrícolas.

Dentro de las subcuencas de aportación existen zonas agrícolas en diferentes modalidades que ocupan en conjunto el 47.7% del total del área de drenaje. Enseguida existe el 31.65% de los terrenos ocupados por bosques, en tercer lugar la vegetación secundaria representa el 16.29%, las áreas de asentamientos humanos representan el 4.1% de la superficie total y finalmente en menor proporción el área de cuerpos de agua representa el 0.26% aproximadamente. (Figura 3.6 y tabla 3.2).

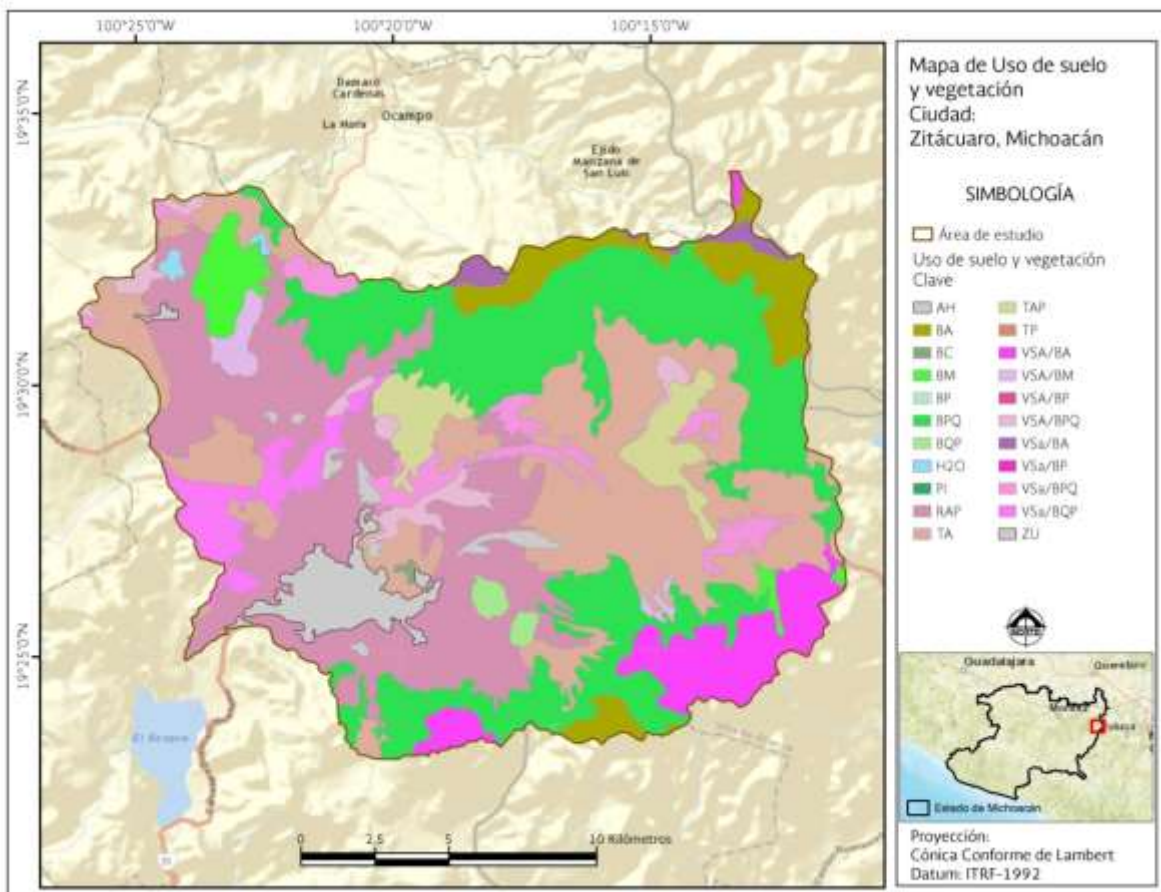


Figura 3.6 Uso de suelo

Tabla 3.2 Uso de suelo

Descripción	Clave	Área (km ²)	Porcentaje del área total (%)
Agricultura de riego anual y permanente	RAP	77.94	22.18
Agricultura de temporal anual	TA	76.70	21.83
Agricultura de temporal anual y permanente	TAP	12.98	3.69
Asentamientos humanos	AH	3.11	0.88
Bosque cultivado	BC	0.33	0.09
Bosque de encino-pino	BQP	2.26	0.64
Bosque de oyamel	BA	16.78	4.78
Bosque de pino-encino	BPO	84.41	24.02
Bosque mesófilo de montaña	BM	7.45	2.12
Cuerpo de agua	H2O	0.90	0.26
Vegetación secundaria arbórea de bosque de oyamel	VSA/BA	19.55	5.56
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	VSA/BPO	7.29	2.08
Vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña	VSA/BM	3.65	1.04
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	VSa/BQP	11.45	3.26
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de oyamel	VSa/BA	3.05	0.87
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	VSa/BPO	12.24	3.48
TOTAL		351.39	100%

3.3.4 Edafología

Los suelos del municipio datan de los períodos paleozoico y mesozoico, corresponden principalmente a los del tipo andosol y luvisol. Su uso es primordialmente agrícola y en menor proporción forestal y ganadero. 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: Andosol (AN), Leptosol (LP) y Luvisol (LV) y Vertisol (VR).

De acuerdo con las áreas de suelo primario la zona de estudio presenta en mayor proporción suelos de tipo Andosol⁸ que representan (57.81%). El término Andosol deriva de los vocablos japoneses "an" que significa negro y "do" que significa suelo, haciendo alusión a su carácter de suelos negros de formaciones volcánicas. El material original lo constituyen, fundamentalmente, cenizas volcánicas, pero también pueden aparecer sobre tobas, pumitas, lapillis y otros productos de eyección volcánica.

El término Leptosol (5.61%) 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

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

potencialidad muy limitada para cultivos arbóreos o para pastos. Lo mejor es mantenerlos bajo bosque.

Otro suelo primario es el Luvisol (32.40%). Del latín luvi, luo: lavar. Literalmente, suelo con acumulación de arcilla. Son suelos que se encuentran en zonas templadas o tropicales, aunque en algunas ocasiones también pueden encontrarse en climas más secos. La vegetación es generalmente de bosque o selva y se caracterizan por tener un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo. Son frecuentemente rojos o amarillentos, aunque también presentan tonos pardos, que no llegan a ser oscuros.

El término Vertisol (1.24%) 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 suelo sin clasificación (zonas urbanas) representa el 2.82% del total del suelo de las subcuencas de aportación y los cuerpos de agua representan el 0.13% (Figura 3.7 y tabla 3.3).

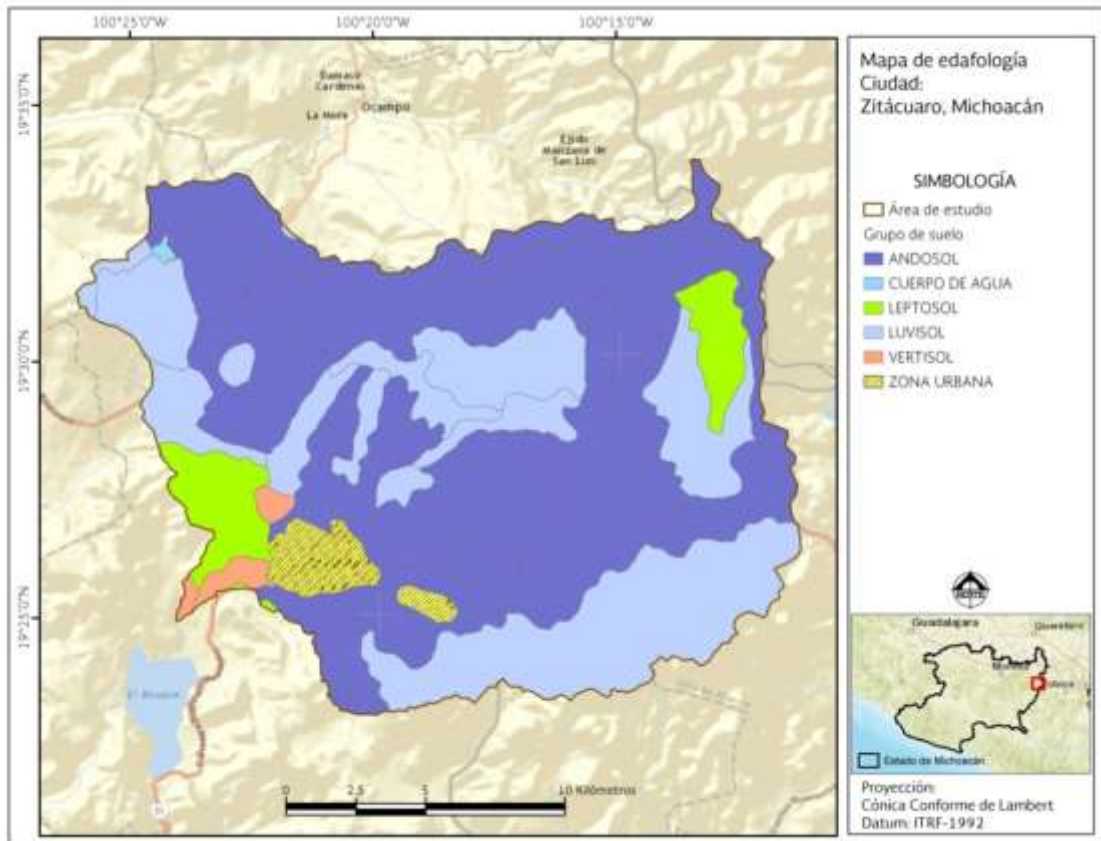


Figura 3.7 Edafología

Tabla 3.3 Edafología

Clave WRB	Suelo primario	Clasificación	Textura	Área (km ²)	Porcentaje de área (%)
ANdyvi+LVdy+ANum/2	Andosol	Dístrico	Media	52.57	14.96
ANdy+LPdyli/2R	Andosol	N	Media	141.16	40.17
ANumvi+ANdyvi+LVdy/2	Andosol	Úmbrico	Media	9.40	2.68
LPeuli+PHha/2	Leptosol	Éutrico	Media	19.70	5.61
LVcrlen+PHlv+LPeuli/3	Luvisol	Crómico	Fina	10.15	2.89
LVdylep+LPdyli/3	Luvisol	Dístrico	Fina	18.56	5.28
LVdylen/2	Luvisol	Dístrico	Media	21.69	6.17
LVsknhu+ANdy+LVcrdy/2	Luvisol	Endoesquelético	Media	0.13	0.04
LVdy/3	Luvisol	N	Fina	8.37	2.38
LVcr+ANeu+LPeuli/2R	Luvisol	N	Media	54.95	15.64
VRmzcr+LVcr/3	Vertisol	Mázico	Fina	1.99	0.57
VRmzlen+PHha+FLeu/2	Vertisol	Mázico	Media	2.38	0.68
H2O	Cuerpo de agua	-	-	0.44	0.13
ZU	Zona urbana	-	-	9.91	2.82
TOTAL				351.39	100%

3.3.5 Precipitación

Se localizaron seis estaciones climatológicas circundando la zona de estudio (Figura 3.8); sin embargo solo cuatro se encuentran en operación. Estas estaciones en conjunto cuentan con información climatológica desde 1960 y cumplen con el periodo mínimo de 20 años completos, por lo que se puede considerar que los registros son representativos de la zona de estudio.

La estación que cuenta con el mayor número de años con registros es la estación 16061 con el nombre de “Laguna del Fresno” con 67 años, pero solo tiene 49 años completos con registros y actualmente se encuentra operando. La estación con el menor número de registros es la estación 16189 “C.R.E.D.F.F.A. Zitácuaro” con ocho años de mediciones diarias y solamente dos años completos y actualmente se encuentra suspendida (Tabla 3.4).

El municipio de Zitácuaro tiene variedad de climas, cuenta con el templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad C(W2), cubre el 49.39% de la superficie municipal; el semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media Acw1, cubre el 27.22%; el templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media C(W1), cubre el 16.19% y el semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad C(E) (w2), cubre el 7.20% del territorio municipal.

En general, su clima es templado con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 838.5 milímetros y temperaturas que oscilan entre 9.3° y 23.0° centígrados. Las temperaturas máximas en verano y primavera oscilan de los 26 a los 32°C, aunque se han registrado temperaturas que han alcanzado 34°C en los meses de marzo, abril y mayo. En invierno pocas veces se encuentran por debajo de los 0°C.

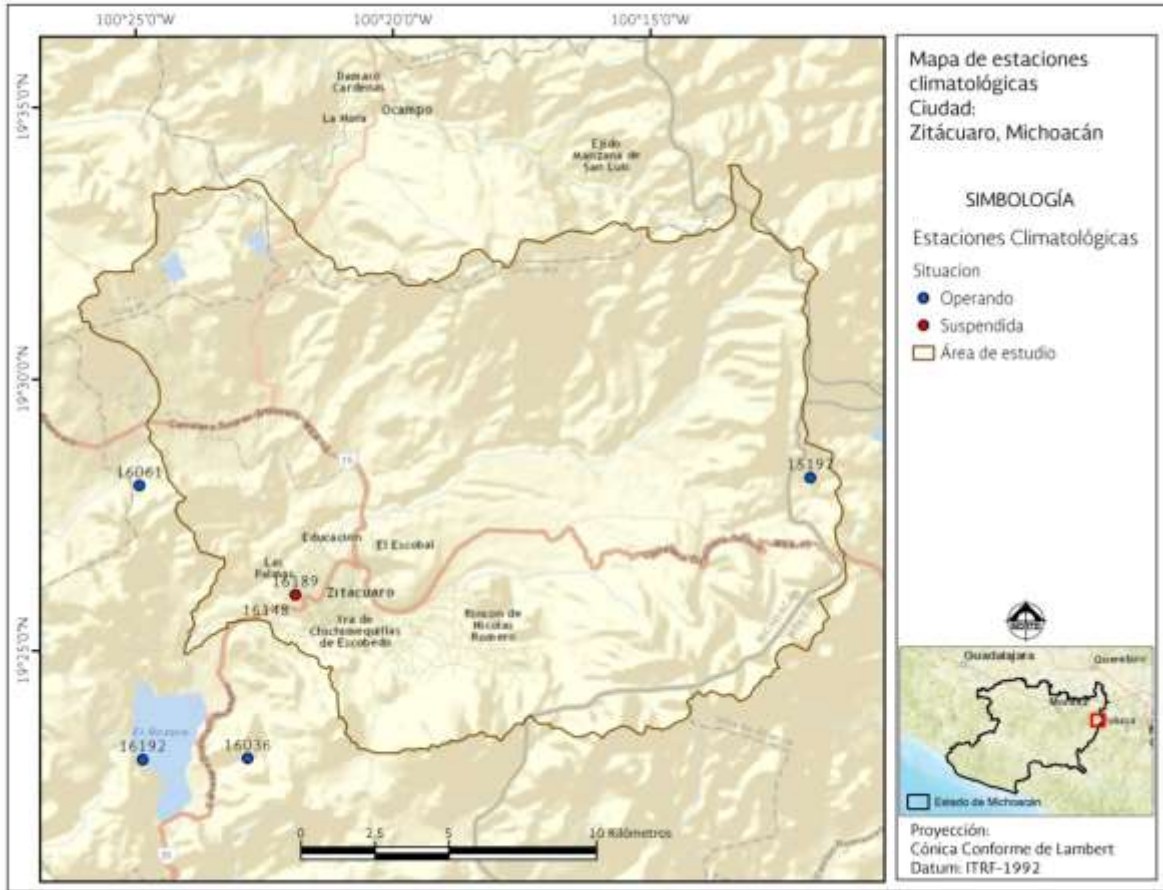


Figura 3.8 Estaciones climatológicas

Tabla 3.4 Estaciones climatológicas

Clave	Nombre	Situación (clicom)	Periodo inicio	Periodo Fin	Años con información	Años completos	Longitud	Latitud
15197	Cuesta del Carmen, V. A.	Operando	1974-8	2012-6	35	22	-100.200	19.467
16036	El Bosque, Zitácuaro	Operando	1960-1	2014-8	47	38	-100.383	19.383
16061	Laguna del Fresno	Operando	1960-1	2015-2	67	49	-100.417	19.467
16148	Zitácuaro, Zitácuaro	Suspendida	1960-1	1983-1	52	39	-100.367	19.433
16189	C.r.e.d.f.f.a., Zitácuaro	Suspendida	1973-11	1983-6	8	2	-100.367	19.433
16192	Encarnación, Zitácuaro	Operando	1974-9	2014-6	34	23	-100.417	19.383

Enseguida se observan los registros de precipitación de la estación climatológica convencional 16061 Laguna del Fresno (49 años completos de registros), para conocer el régimen histórico y la distribución media anual de la zona urbana de Zitácuaro, que por su localización geográfica cercana a la ciudad, brinda buenos resultados para caracterizar la zona de estudio. La precipitación media anual en la estación Laguna del Fresno es de 779.2 mm.

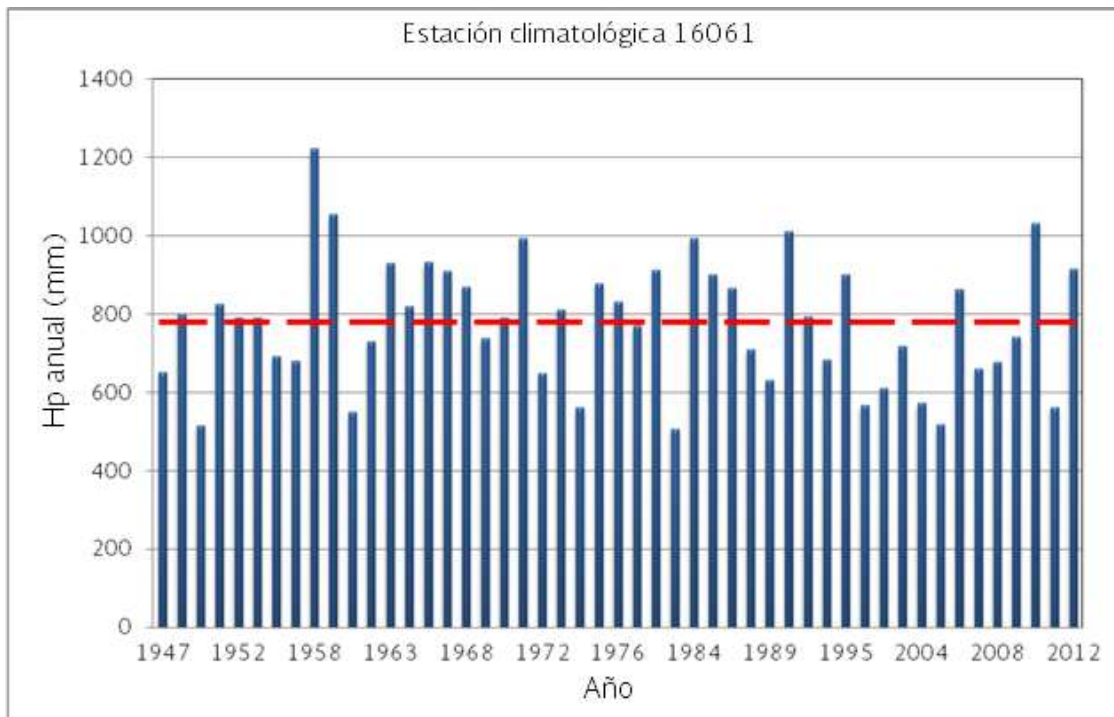


Figura 3.9 Precipitación anual acumulada en la estación climatológica 16061 Laguna del Fresno

También se puede observar la distribución de la lluvia en la zona urbana de Zitácuaro durante el año, donde la mayor precipitación ocurre en los meses de mayo a octubre como se muestra en la figura 3.10. La precipitación media mensual promedio para esta estación es de 64.9 mm.

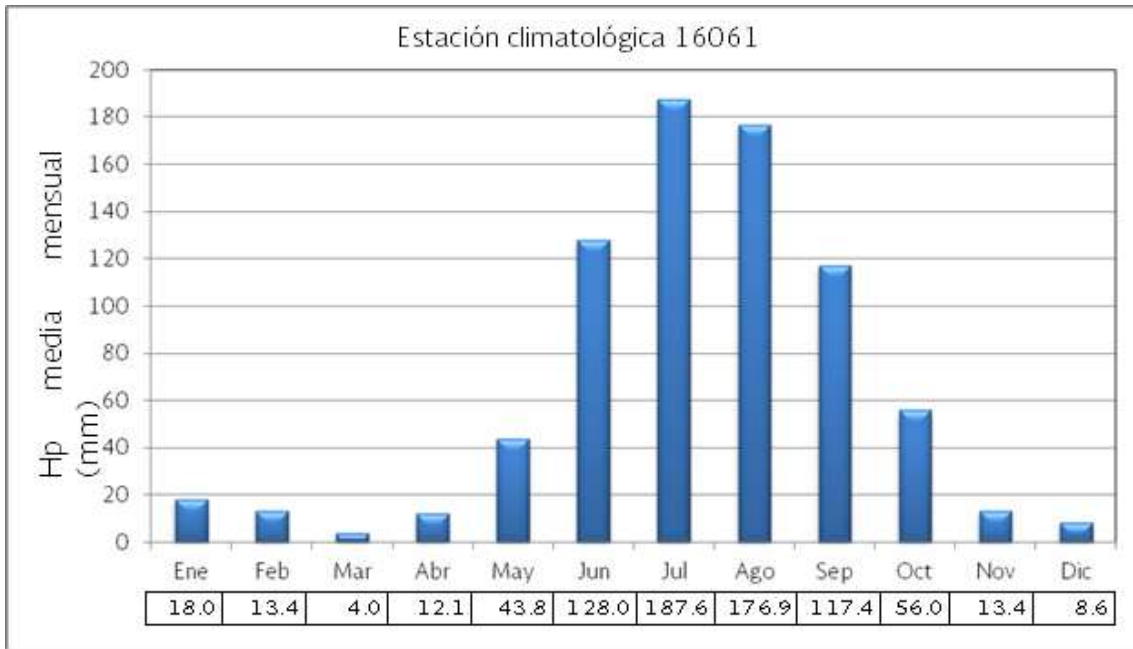


Figura 3.10 Precipitación media mensual en la estación climatológica 16061 Laguna del Fresno

A continuación se muestra una comparación de los registros históricos de las estaciones climatológicas que tienen un periodo de observación mayor a 20 años, con la finalidad de verificar la distribución mensual de la lluvia a lo largo del año dentro de la zona urbana de Zitácuaro.

Las estaciones comparadas son: 16061 Laguna del Fresno con 49 años completos con registros, 16036 El Bosque con 38 años completos y la estación 16192 Encarnación con 23 años completos con registros de precipitación diaria.

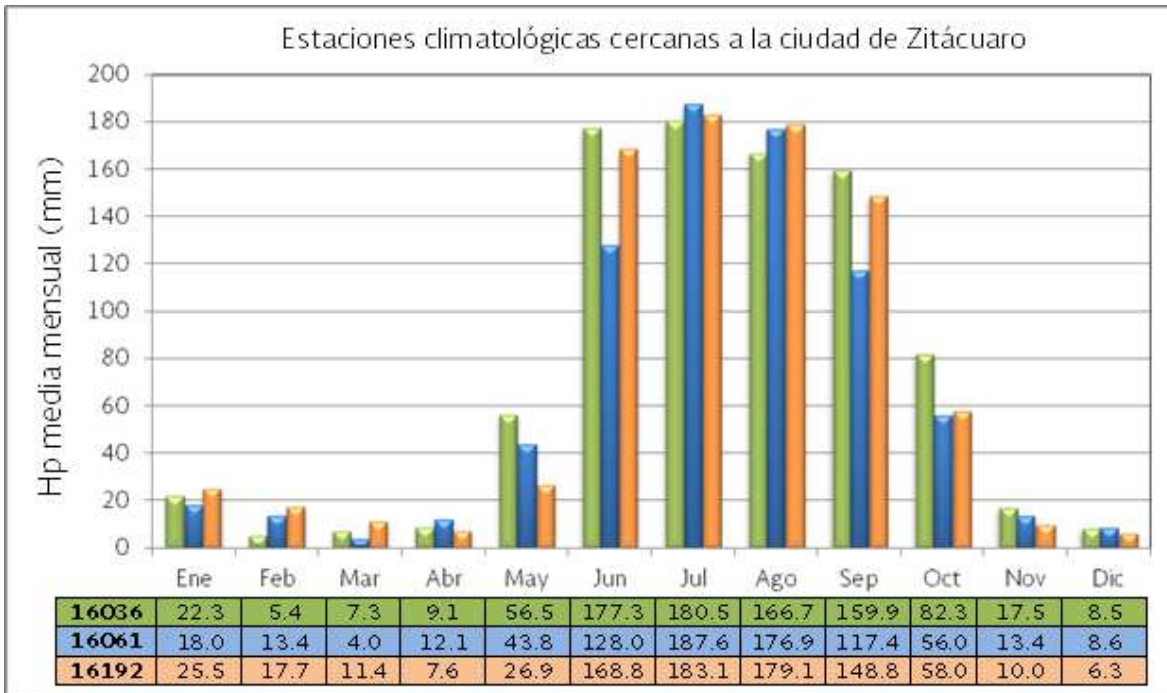


Figura 3.11 Precipitación media mensual de las estaciones climatológicas cercanas a la ciudad de Zitácuaro

A continuación se muestra la localización de estas tres estaciones climatológicas dentro del municipio de Zitácuaro.

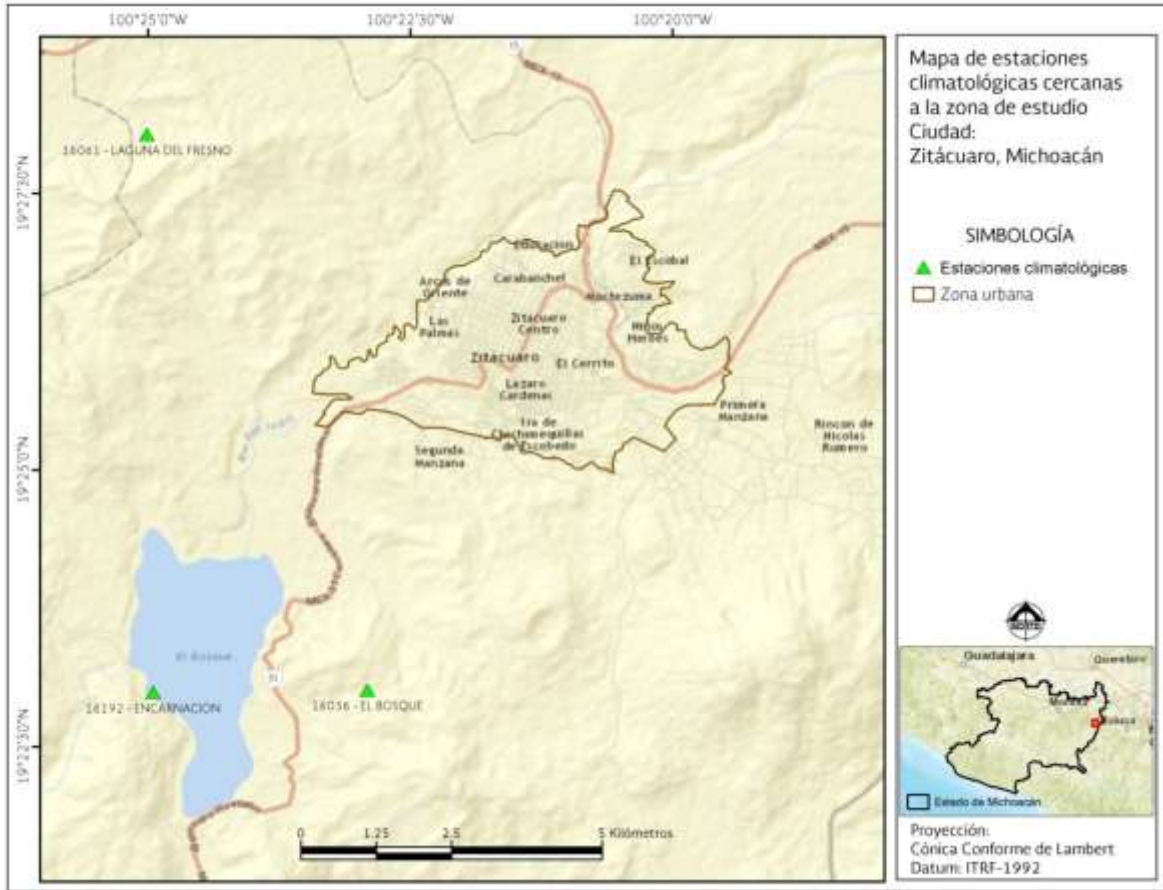


Figura 3.12 Estaciones climatológicas cercanas a la ciudad de Zitácuaro

Las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) más cercanas a la zona de estudio son Zitácuaro, El Bosque, Crescencio Morales y Mariposa Monarca II; las tres primeras están localizadas dentro del municipio de Zitácuaro y la cuarta en el municipio colindante al norte llamado Ocampo. Se encuentran operando las estaciones Zitácuaro, Crescencio Morales y Mariposa Monarca II, sin embargo, ninguna estación meteorológica cuenta con información de precipitación en un periodo mínimo de 20 años (Figura 3.13).

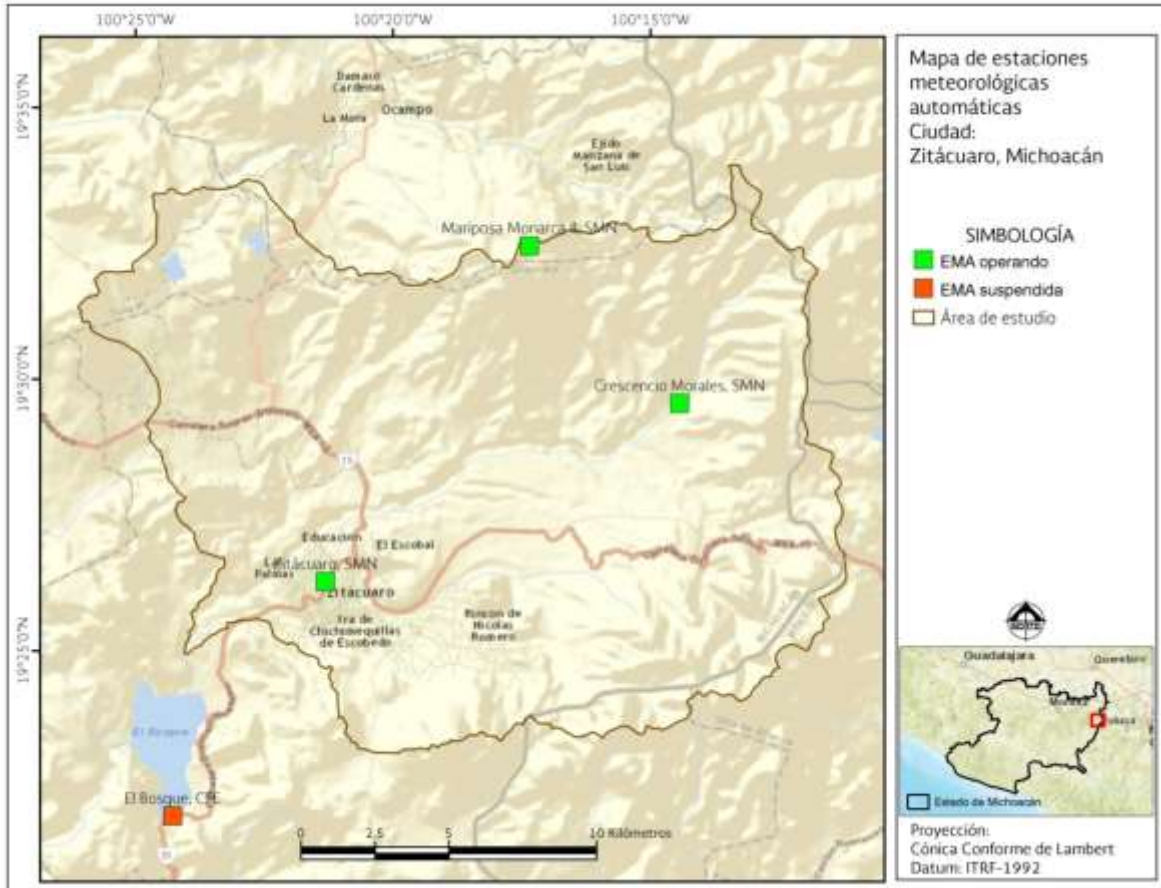


Figura 3.13 EMA's

3.3.6 Escurrimientos

El municipio de Zitácuaro cuenta con ricas fuentes de agua superficiales, que se podrían aprovechar en cubrir las necesidades de agua potable de la población, de la agricultura, de la ganadería y en la generación de energía eléctrica.

El municipio de Zitácuaro pertenece a la región del Río Balsas y a la cuenca de Cutzamala. En el territorio municipal se encuentra las subcuencas del Río Zitácuaro, del Río Tuxpan y la del Río Tilostoc.

Los ríos de mayor presencia en el municipio son el Zitácuaro o de San Juan Viejo, de considerable magnitud, se origina en la sierra de San Cristóbal y en las montañas del oriente del municipio, se alimenta de los afluentes de Macutzio, Crescencio Morales y El Diablo. Río de San Andrés o San Isidro nace al este del municipio, recibe las corrientes de las afluentes de Ojo de Agua, Seco y La Ciénaga. El Río Zitácuaro se forma al juntarse, en la parte poniente del municipio, los ríos de San Juan Viejo y de San Andrés; desagua en la Presa de El Bosque.

Existen otras importantes corrientes de agua localizadas en el territorio municipal, que se pueden considerar como arroyos; entre ellos están el de Guadalupe y Crescencio Morales, cuyo nacimiento se localiza en la tenencia de ese nombre; el de la Margara, San Isidro y el Seco, ubicados en territorio de la tenencia de Nicolás Romero; El Establo y Macutzio, con

nacimiento y trayectoria en la tenencia de San Felipe Los Alzati; El Oro, en la tenencia de Coatepec de Morelos; San Bartolomé y El Sauz, en Francisco Serrato.

El principal cuerpo de agua que se localiza en el municipio es el de la presa de El Bosque, con una capacidad de 202.4 millones de metros cúbicos del vital líquido. Esta presa se encuentra fuera de la zona de modelación, por lo que no fue considerada en los modelos hidrológico e hidráulico. En la parte noroeste se localizan dos cuerpos de agua pequeños, las presas Zirahuato y Laguna Verde, las cuales son presas derivadoras y por sus dimensiones y capacidades de almacenamiento no se consideraron en el análisis hidrológico.

Dentro del municipio se localizaron cinco estaciones hidrométricas, de las cuales dos se encuentran sobre canales y tres se encuentran en río principal y arroyos. De éstas últimas, una 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 la estación hidrométrica 18461 Zitácuaro, la cual se encuentra aguas abajo de la zona urbana de Zitácuaro sobre el río Zitácuaro (Figura 3.14).

Tabla 3.5 Estaciones hidrométricas

No	Clave	Nombre Estación	Tipo	Años de registro		
				Desde	Hasta	No. años
1	18171	El Oro	Arroyo	1948	1959	11
2	18285	Llegada al Bosque	Canal	1957	1979	29
				1981	1985	
				1996	1999	
3	18343	La Garita	Arroyo	1952	1959	7
4	18461	Zitácuaro	Río	1948	1981	33
5	18472	La Florida	Canal	1960	1985	25

3.4 Características geomorfológicas de los cauces y planicies de inundación

El territorio de Zitácuaro se encuentra surcado, de este a oeste, por los desprendimientos del Sistema Volcánico Transversal, lo que propicia que la superficie municipal esté integrada por sierra, con un porcentaje del 33.24%; por sierra con mesetas, 1.0%; lomerío con mesetas, 65.48% y llanura, 0.28%. Como se puede observar el territorio municipal es muy irregular y carece de valles y planicies. Como resultado de lo anterior, el 50% del territorio municipal es ocupado por elevaciones mayores de 2,000 metros. Esta situación orográfica impide que se tenga una práctica agrícola de mayores rendimientos.

La red de corrientes dentro de las cuencas de aportación a la ciudad de Zitácuaro presenta trayectorias con direcciones sur y suroeste. Las pendientes de los ríos principales oscilan entre el 0.63 y 8.96 %. Los tiempos de concentración varían entre 0.37 hrs y 3.04 hrs (Tabla 3.7).

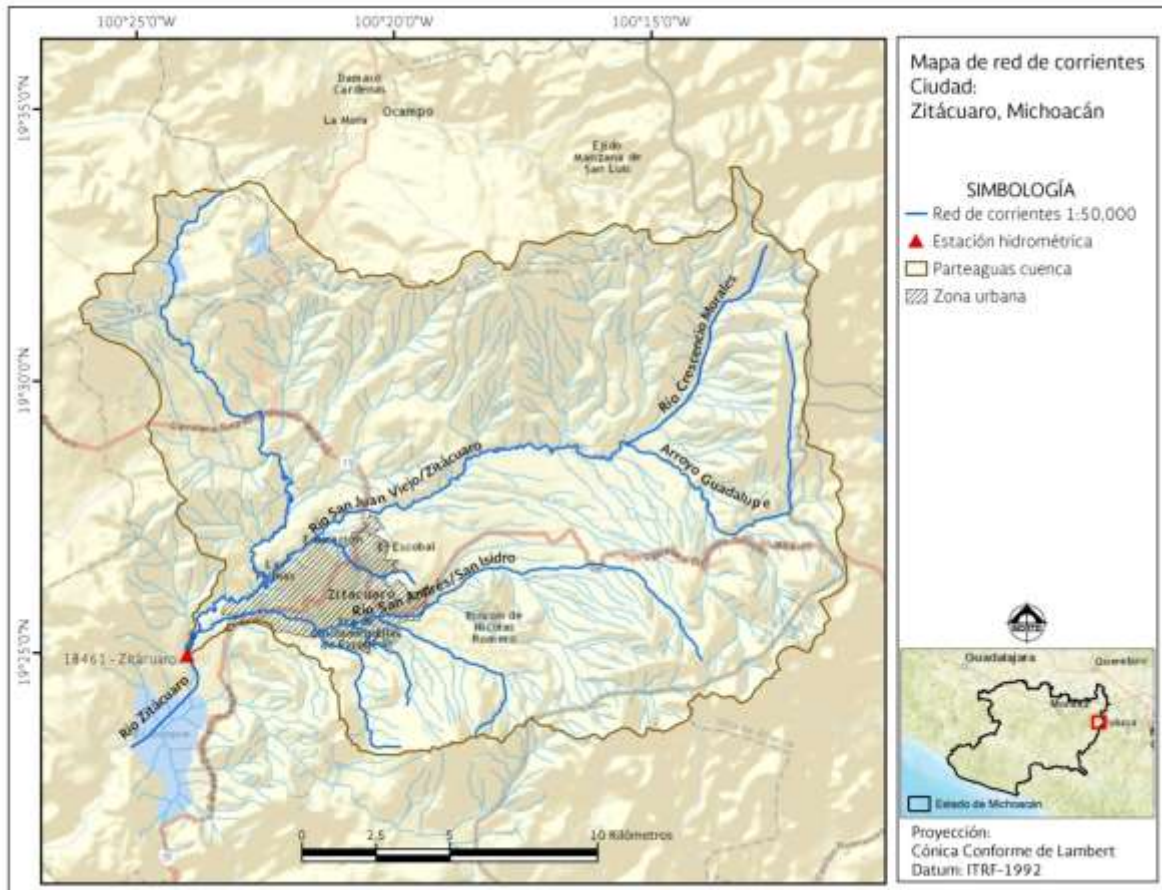


Figura 3.14 Ríos principales y estación hidrométrica

Dadas las condiciones del sistema hidrológico es importante resaltar que cada una de las subcuencas representa un hidrograma de entrada al modelo hidrológico; las subcuencas 1 a 6 son hidrogramas de entrada a la zona urbana de Zitácuaro; la subcuenca 7 representa el área urbana de Zitácuaro, la cual se delimitó hasta la estación hidrométrica 18461 Zitácuaro 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 depende de las características fisiográficas de la cuenca, como son área, pendiente y longitud del cauce principal. Las subcuencas 4, 5 y 6 tienen un tiempo de concentración de 0.62, 0.37 y 0.52 horas respectivamente por ser cuencas pequeñas. Las cuencas más grandes presentan tiempos de concentración mayores que van de 1 a 3 horas, mientras que el área urbana tiene un tiempo de concentración de 1.7 horas. Cabe recalcar que el valor mayor de número de escurrimiento N se presenta en la cuenca 7 que corresponde al área urbana, donde se supone 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 3.6), para lo cual se apoyó en la tabla presentada en el manual de la CNA (1987).

Tabla 3.6 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 3.15). Un resumen de los valores de *N* por subcuenca se muestra en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Valores del número de escurrimiento *N* por subcuenca

Subcuenca	Longitud del cauce principal (m)	Pendiente del cauce principal	Área subcuenca (km ²)	Tiempo de concentración (hr)	Número de curva <i>N</i> (SCS)
1	20,912.34	0.63%	109.66	3.04	73.0
2	29,079.41	3.57%	148.02	2.68	73.2
3	11,822.48	4.73%	42.28	1.08	71.7
4	6,599.89	8.65%	14.47	0.62	74.0
5	2,999.17	8.96%	1.77	0.37	70.9
6	4,679.02	6.42%	7.39	0.52	69.0
7	12,898.50	0.68%	27.79	1.71	81.7

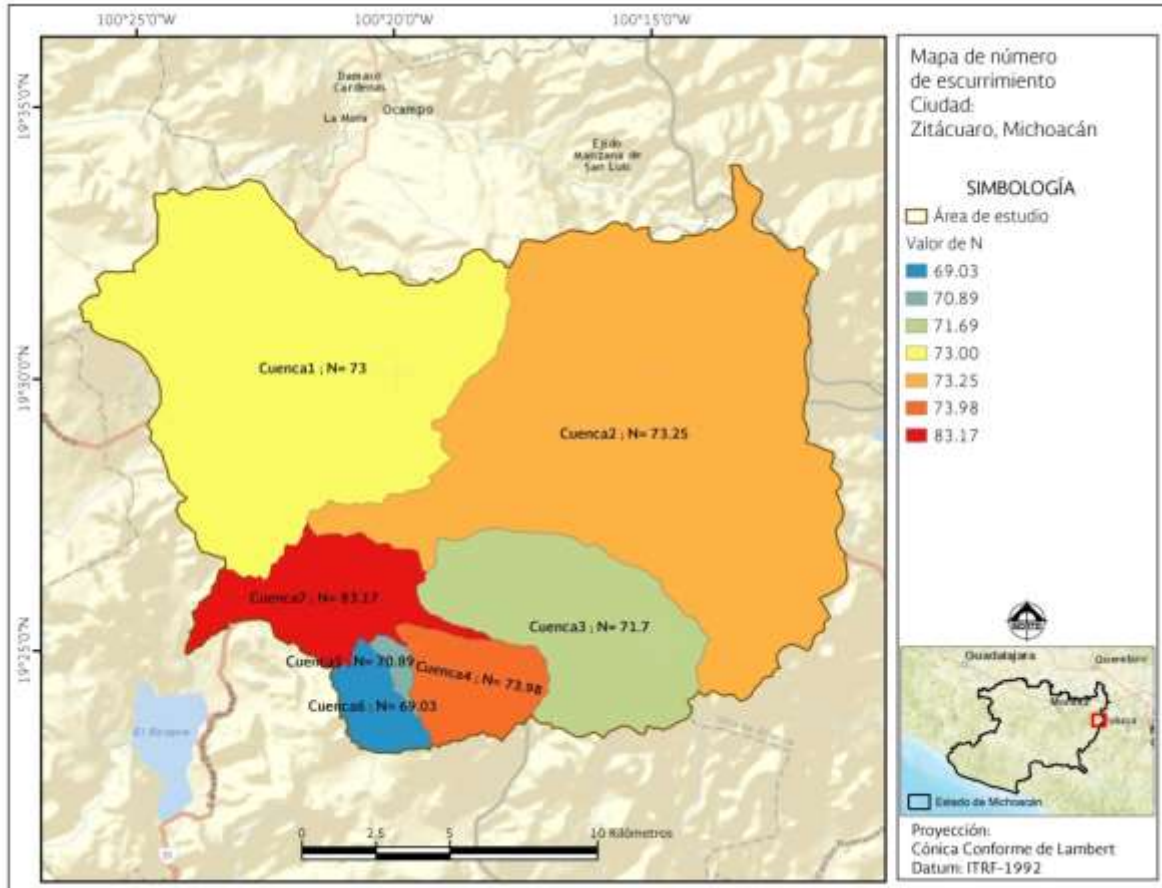


Figura 3.15 Variación del número de escurrimiento por subcuenca

3.5 Descripción de inundaciones históricas relevantes

De acuerdo a información del CENAPRED, el estado de Michoacán se encuentra dentro de la clasificación de intensidad muy alta a ser vulnerable a fenómenos de tipo hidrometeorológicos. Durante el periodo de 2000-2010 los fenómenos hidrometeorológicos dejaron daños y pérdidas que ascendieron a 96.9 millones de pesos y 44 decesos humanos.

De acuerdo a fuentes hemerográficas diversas, en la zona urbana de Zitácuaro se encontró información sobre inundaciones en los años: 2010, 2013, 2015.

En 2010 las lluvias e inundaciones ocurridas acumularon 27 muertos y 12 desaparecidos, especialmente en poblaciones de la entidad.

En 2013 las lluvias provocaron daños e inundaciones en calles y avenidas de Zitácuaro, debido a que en la ciudad no se cuenta con drenaje pluvial. Especialmente la zona poniente de la ciudad ha resentido los efectos de las lluvias, principalmente por drenajes azolvados y el arrastre de lodo y materiales. En el poniente, el declive oriente-poniente que presenta la ciudad provoca que el agua de lluvias se arrastre hacia esa zona y el volumen de agua aumente.

En 2015 las intensas lluvias que azotaron la zona urbana de Zitácuaro dejaron severas inundaciones en donde se registraron pérdidas materiales, de acuerdo a lo informado por

el Ayuntamiento. Al menos una docena de colonias presentaron afectaciones por inundaciones, además de que hubo varios autos varados y decenas de casas a las que se les metió el agua que alcanzó en algunos casos hasta el medio metro de altura.

De acuerdo con la información recabada con los habitantes que se entrevistaron durante la visita de campo a la ciudad de Zitácuaro, se identificaron las siguientes zonas que históricamente sufren de problemas de inundación ante las fuertes lluvias, destacando la zona poniente de la ciudad en la colonia Crescencio Morales y la colonia 6 de Junio principalmente. También se indicó que la Avenida Revolución, principal arteria de la ciudad, se convierte en un río de diez metros de ancho cuando se presentan lluvias muy fuertes debido a que Zitácuaro no cuenta con drenaje pluvial, causando estragos en la colonia Centro e Ignacio Zaragoza (figura 3.16).

Cabe señalar que la zona urbana en sí no sufre por desbordamiento de ríos, ya que éstos se encuentran encañonados y difícilmente superan los grandes taludes que encauzan a los ríos. Sin embargo, debido a la topografía y a que gran parte de la ciudad tiene un declive oriente-poniente, esto provoca que el agua de lluvia escurra hacia esa zona y el volumen de agua aumenta debido a que no existe drenaje pluvial. La gran problemática son los escurrimientos generados en la zona urbana que fluyen por las calles con dirección poniente, arrastrando sedimentos y gran volumen de agua afectando casas a su paso hasta llegar al río San Juan/Zitácuaro, donde finalmente se incorpora sin provocar desbordamiento del río.



Figura 3.16 Zonas inundables de la ciudad de Zitácuaro identificadas en la visita de campo

3.6 Obras de protección contra inundaciones y acciones no estructurales existentes

En la literatura sobre gestión del riesgo y en la Gestión Integrada de Crecientes, las medidas no estructurales ocupan un lugar significativo en la mitigación del riesgo, de la amenaza y de la vulnerabilidad. Éstas incluyen acciones de corte político, desarrollo del conocimiento, mecanismos de participación, entre otras.

La selección y aplicación adecuada de este tipo de medidas posibilitan no sólo reducir los impactos de las inundaciones, sino la vulnerabilidad de la población. En los programas regionales de prevención contra contingencias hidráulicas 2013, se propusieron cuatro estrategias orientadas a controlar el emplazamiento de asentamientos humanos en zonas de riesgo, a prevenir y mitigar los fenómenos que ocasionan los riesgos ambientales, a pronosticar y a alertar a la población ante situaciones de emergencia, y a desarrollar una cultura de prevención y mitigación de impactos por estos fenómenos.

La estrategia de acciones no estructurales consistía básicamente en el fortalecimiento del ordenamiento de los asentamientos humanos para la protección de la población frente a los fenómenos meteorológicos extremos, los cuales pueden arruinar en muy poco tiempo los esfuerzos realizados durante muchos años, especialmente en zonas rurales y urbanas marginadas. Zonas inundables libres de asentamientos humanos en conjunción con un eficaz sistema de alertamiento y prevención con tecnologías modernas es clave en la prevención de riesgos y en la disminución de la vulnerabilidad de la población.

Como resultado de la búsqueda de información de corte no estructural frente a inundaciones, se encontró lo siguiente:

En 2014 se actualizó el atlas de riesgos municipal a fin de sumar comunidades en las que se han identificado procesos que pueden ser riesgos. Por ejemplo, se incorporó a la comunidad de Curungueo, por tener peligro de deslave.

De igual forma se capacitaron brigadistas comunitarios, quienes harán labores de monitoreo en comunidades en riesgo y de concientización a las personas que pueden sufrir accidentes. Estas tareas están cargo de la Unidad Municipal de Protección Civil. Dentro de la zona urbana están bajo vigilancia las colonias 6 de Junio, Barandillas, Luis Donaldo Colosio, El Escobal, La Joya, Independencia, Educación, La Palma y Morelos.

En 2015, ante la presencia del huracán Patricia, Zitácuaro fue vigilado, especialmente las colonias más vulnerables, o las edificaciones que están en las riberas del río. Se identificaron 20 casas en peligro ante la persistencia e incremento de lluvia. También se acordonó parte de la avenida Revolución, pues se puede derrumbar una fracción de la cinta asfáltica.

Las campañas de reforestación en el municipio son otro tipo de acciones no estructurales que se llevan a cabo año con año. En general, se trata de acciones emprendidas por instancias gubernamentales estatales, locales y federales, a las que se suman grupos ambientalistas, la sociedad civil y empresarios, entre otros. Para Zitácuaro, se encontró información de campañas de reforestación del 2012 a la fecha.

3.7 Identificación de actividades actuales en las planicies de inundación

El sector terciario o comercio y servicios, es el más importantes de la estructura económica del municipio, seguido por el sector secundario o industrial y en tercer sitio se

ubica el sector primario o agropecuario. Lo anterior, refleja que la economía del municipio, se encuentra terciarizada, siendo las actividades económicas más importantes el comercio y los servicios.

Dentro del sector primario o agropecuario, destaca la actividad agrícola, teniendo menor importancia la ganadería y la silvicultura. La industria manufacturera es la actividad más dinámica en el sector secundario. A nivel rama de actividad, destacan las siguientes: alimentos, textil, madera y productos metálicos.

En cuanto al valor de la producción, la rama de actividad de la industria de la madera, es la más importante. La industria de la construcción y generación de energía eléctrica, son actividades económicas menos importantes dentro del sector secundario, así como la minería es incipiente.

El comercio y los servicios son pilar de la economía municipal, ya que más del 60% de la oferta de trabajo se dedica a estas actividades económicas. Asimismo, los servicios han registrado un significativo crecimiento, sin embargo, existen marcadas deficiencias en materia de comunicaciones y transportes, así como en infraestructura. El turismo es una actividad económica con una gran potencialidad, para que sea detonante del desarrollo económico del municipio.

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)⁹ 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 km² 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 cuatro estaciones climatológicas convencionales (ECC) y tres estaciones meteorológicas automáticas (EMA) en operación, por lo que para el análisis de densidad se divide el área total de la cuenca de aportación (351.39 km²) 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 ²)	Unidad fisiográfica	Cumple
1	ECC	Cuesta del Carmen, V. A.	Edo. México	50.2	Montaña	Si
2	ECC	El Bosque	Michoacán	50.2	Montes/ondulaciones	Si
3	ECC	Laguna del Fresno	Michoacán	50.2	Planicie interior	Si
4	ECC	Encarnación	Michoacán	50.2	Montes/ondulaciones	Si
5	EMA	Zitácuaro	Michoacán	50.2	Áreas urbanas	No
6	EMA	Crescencio Morales	Michoacán	50.2	Montes/ondulaciones	Si
7	EMA	Mariposa Monarca II	Michoacán	50.2	Montaña	Si

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

⁹Organización Meteorológica Mundial (OMM). Guía de prácticas hidrológicas. Sexta edición, 2011.

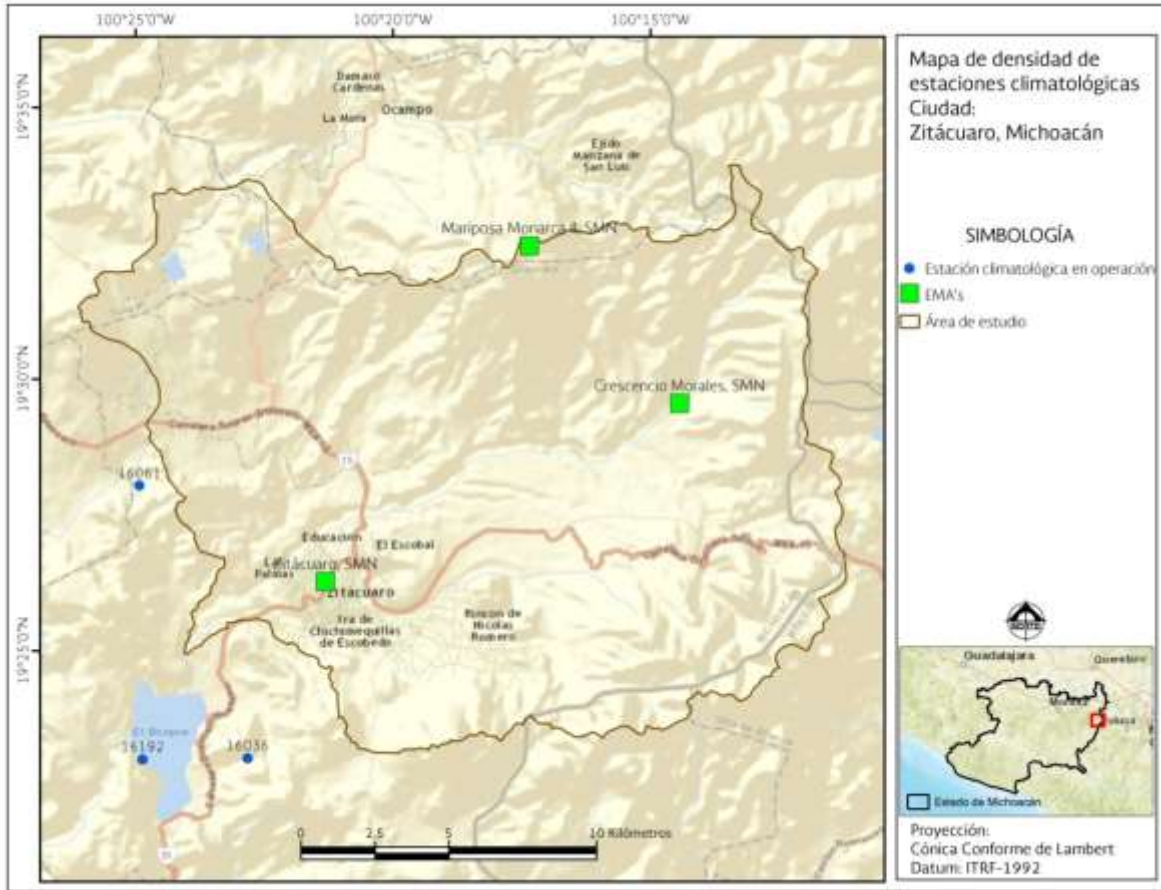


Figura 4.1 Densidad de estaciones climatológicas

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

El Municipio de Zitácuaro, si bien se ubica en una posición media, a nivel estatal respecto a la disponibilidad de servicios básicos en las viviendas, existen aún brechas en materia de infraestructura social básica, que posibilitan mejores condiciones de vida para la población zitacuareense.

El desarrollo armónico y sustentable del municipio de Zitácuaro, requiere más y mejor infraestructura. Este debe partir de una planeación de desarrollo integral, de tal forma que se promueva la sana convivencia de todos los habitantes del municipio, en un entorno sano.

En Zitácuaro prevalecen brechas en la dotación de servicios básicos de su población, aún no se ha logrado consolidar dicha modernización, es por ello que el gobierno municipal destinará recursos de inversión de manera eficaz y eficiente, valorando y priorizando aquellas obras de infraestructura de mayor impacto para la población Zitacuareense.

De acuerdo con el Plan Municipal de Desarrollo 2015-2018 de la ciudad de Zitácuaro, la tarea fundamental es la de mejorar la calidad de vida de su población garantizando su acceso a los servicios públicos relacionados con: agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales, alumbrado público, limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos, mercados y centrales de abasto, panteones, rastro, calles, parques, jardines y espacios públicos.

Las principales actividades contempladas en el Plan Municipal de Desarrollo 2015-2018, específicamente en el Eje rector 4: Servicios Municipales e Imagen Urbana, el cual está conformado por objetivos, estrategias y líneas de acción que serán la base para la Planeación del Desarrollo Municipal, se enlistan a continuación:

4.3 Servicios Básicos Municipales

4.3.8.- Agua potable y Alcantarillado Sanitario (SAPAS)

4.3.8.1 Actualizar la última etapa del Colector Norte y Sur.

4.3.8.2 Modernizar y rehabilitar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Zitácuaro.

4.3.8.3 Construir el subcolector Lerdo al colector Norte a la Altura del Manantial El Cangrejo.

4.3.8.4 Obtener 5 títulos que acrediten la propiedad de bienes inmuebles, ya que solo se cuenta con 4 escrituras de las 54 propiedades del SAPA.

4.3.8.5 Construir sanitarios en Coatepec de Morelos y La Encarnación.

4.3.8.6 Elaborar y desarrollar el programa de perforaciones y construcciones de pozos profundos, tanques de almacenamiento, de agua potable y drenajes sanitarios.

4.3.8.7 Construir obras públicas que incrementen y mejoren la infraestructura hidráulica del municipio.

4.3.8.8 Adquirir equipos mecánicos para la realización de obras hidráulicas en el Municipio.

4.3.8.9 Promover la inversión en maquinaria y equipo mecánico.

4.3.8.10 Aplicar la cobertura y calidad de las redes de agua potable.

4.3.8.11 Implementar programas Permanentes sobre el mantenimiento de tanques de almacenamiento y pozos profundos de abastecimiento.

- 4.3.8.12 Incrementar la cobertura de agua potable en zonas urbanas y rurales privilegiando a la población más vulnerable.
- 4.3.8.13 Propiciar una mayor capacitación a servidores públicos que se encargan de llevar a cabo la conexión del servicio de agua potable.
- 4.3.8.14 Desarrollar el programa de rehabilitación y sustitución de equipos eléctricos de los pozos profundos.

Como se puede observar, las actividades principales son de dotar a la población de servicios básicos municipales, y aún no se tiene la visión preventiva ante eventos hidrometeorológicos extremos, lo cual hace vulnerable a la ciudad de Zitácuaro ante lluvias torrenciales, aunado a que no cuenta con drenaje pluvial integral.

Acciones no estructurales

De las acciones no estructurales relacionadas al problema de las inundaciones en la zona urbana de Zitácuaro 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 consciente 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 –y ambiental, social, 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 Zitácuaro, 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.

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, en la localidad de Zitácuaro se observa un predominio de grados alto, medio y muy alto de marginación, con la excepción de un conjunto de manzanas localizadas en la parte norte de la zona urbana, en donde se presenta baja marginación y un pequeño grupo de manzanas en la periferia este con muy baja marginación.

El mapa muestra entonces condiciones desfavorables en indicadores de distribución de la población, educación, ingresos por trabajo y vivienda, lo que apunta a la prevalencia 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.

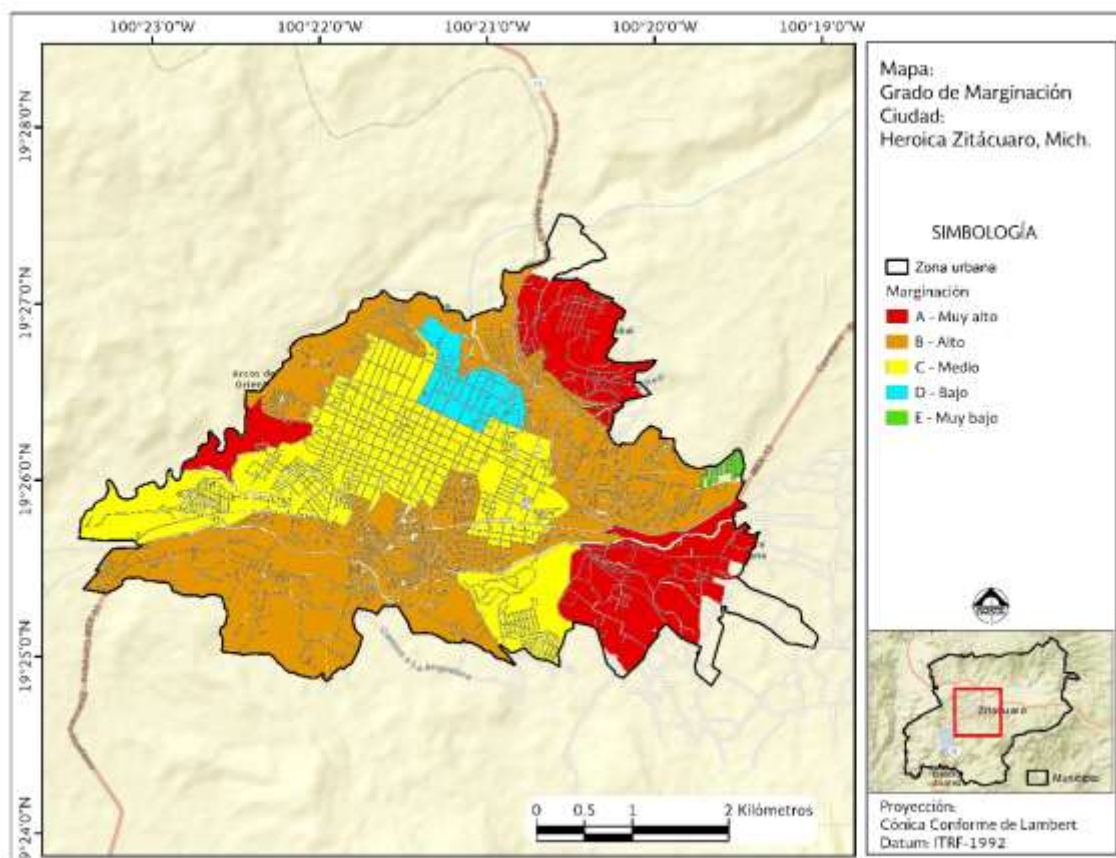


Figura 4.2 Marginación en la zona urbana de Zitácuaro, Michoacán

Lo que muestran los datos estadísticos complementarios es la existencia de un 20.6% de población en condiciones propensas a la vulnerabilidad, particularmente ante la ocurrencia de eventos súbitos como las inundaciones, es decir, población infantil menor a 5 años

(10.2%), adultos mayores de 65 años (6.3%) y población con problemas en la movilidad¹⁰ (4.1%). En otras palabras, en cada manzana urbana hay en promedio 13.9 adultos mayores y 9.8 con limitaciones físicas, principalmente¹¹. En cuanto a la desocupación laboral, el promedio es de 3.9 personas por manzana en esta situación, lo que representa el 1.4% de la población total. Es importante que este dato sea considerado como un indicador que influye en el nivel de vida material de las personas, lo que puede favorecer o inhibir su vulnerabilidad.

Tabla 4.4 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Zitácuaro, Michoacán

	Población total	Población menor a 5 años	Población mayor a 65 años	Población con limitación en la actividad	Población desocupada
Totales	84,307	8,675	5,338	3,476	1,225
Promedio	150.7	s/d	13.9	9.8	3.9
Porcentaje	100	10.2	6.3	4.1	1.4

4.6. Identificación y análisis de la coordinación entre instituciones involucradas en la gestión de crecidas

La adopción de un enfoque que enfatiza la prevención, la disminución y mitigación del riesgo, exige la participación de una amplitud de actores en el proceso de la comunicación. Es deseable que la comunicación cubra todas las etapas de la gestión integral del riesgo desde la prevención hasta la reconstrucción y que fluya de manera horizontal (entre sectores e instituciones) y vertical (de los niveles federales de gobierno hasta la población). Debe además, ser multidireccional y tener un camino de ida y vuelta.

A partir de la información encontrada para el caso particular de la zona urbana de Zitácuaro, en cuanto a acciones de corte no estructural, se identifican algunas problemáticas en relación a la actuación de instancias gubernamentales del mismo y de diferente orden de gobierno, dentro y fuera del sistema de protección civil. Así, cooperación y coordinación resultan ser dos pilares sobre los que se cimientan la mayoría de los problemas que incrementan los daños por inundaciones:

- La organización institucional sigue estando fragmentada y existe una instancia que atienda en su justa dimensión la complejidad y las diferentes dimensiones que conforman la ocurrencia de las inundaciones, es decir, no sólo lo técnico, sino la integralidad y transversalidad de estos fenómenos.
- Continúa existiendo una atención mayormente enfocada a las acciones de corte estructural, faltando una política que busque el balance entre las medidas estructurales y no estructurales para prevenir y atenuar el impacto de los fenómenos extremos.

¹⁰ INEGI considera dentro de este rubro dificultades para caminar, moverse, subir o bajar; incapacidad para vestirse, bañarse o comer; incapacidad para poner atención o aprender cosas sencillas.

¹¹ Los datos corresponden solamente a aquellas manzanas que tienen información.

- Se ha identificado pero no se ha hecho nada para solucionar la carencia de una unidad administrativa que vigile la aplicación de Ley de Aguas y las consecuencias coercitivas de su incumplimiento en cuanto a invasión de cauces y asentamientos en zonas de riesgo.
- Existen pendientes legales aún no resueltos como la imposibilidad de la aplicación de la ley en cuanto a la invasión de zonas federales por la inexistencia de denuncias. En otros casos, la propiedad federal no se puede comprobar a causa de documentos extraviados. Después de 10 años de permanencia en una zona invadida se da la prescripción positiva a favor del propietario.
- No se tiene un sistema institucional para elaborar un catálogo de proyectos y programas que atiendan los problemas de los fenómenos extremos de manera integral. El presupuesto para la atención de los problemas generados por la ocurrencia crónica de los fenómenos extremos en el país es limitado e insuficiente y una buena parte del presupuesto asignado se dedica a la reconstrucción de infraestructura dañada y atención de emergencias.
- Falta de coordinación en planes y programas en las dependencias gubernamentales.
- Falta de coordinación entre los actores que otorgan licencias de construcción en zonas de riesgo; duplicación de funciones y atribuciones, lo que se traduce en vacíos en la actuación y el fincamiento de responsabilidades.
- Los recursos económicos son insuficientes para la elaboración de estudios y la falta de comunicación entre instancias inhibe que los estudios puedan ser coordinados y complementarios.
- No hay un dimensionamiento del personal profesional y especializado que se requiere para atender los fenómenos extremos ni programas en curso que atiendan las carencias de personal calificado.

En ámbitos urbanos, todo lo anterior deriva en evidenciar que en los programas de desarrollo urbano y los procesos de planificación urbana y regional no se han formulado aún claras políticas de prevención contra eventos extraordinarios como las inundaciones, lo que trae como resultado la falta de coordinación entre los actores, la superposición de sus funciones, los conflictos en la toma de decisiones, el uso ineficiente de los recursos, la adopción de medidas que pueden no considerar las necesidades reales de la población, en intervenciones con matices de paternalismo o de autoritarismo.

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 Zitácuaro sobre el río San Juan Viejo o Zitácuaro, 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 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 ²)	Existentes	Usadas	(km ² /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
	TOTAL	1,964,173	5,338	2,243	1,092.90

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 (CENAPRED¹²), 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

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	52.9	67.7	80	111.7	126.2
2	50.4	64.9	76.4	105.9	119.3
3	52.5	68	80.3	112	126.5
4	53.7	69.3	81.9	114.3	129.1
5	53.6	69.2	81.8	114.4	129.2
6	54.6	70.4	83.3	116.6	131.8

¹²CENAPRED, Mapas de Precipitación para Diferentes Duraciones y Periodos de Retorno. Octubre 2013.

7	51.4	65.2	77.1	108	122.1
---	------	------	------	-----	-------

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 Zitácuaro, 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.

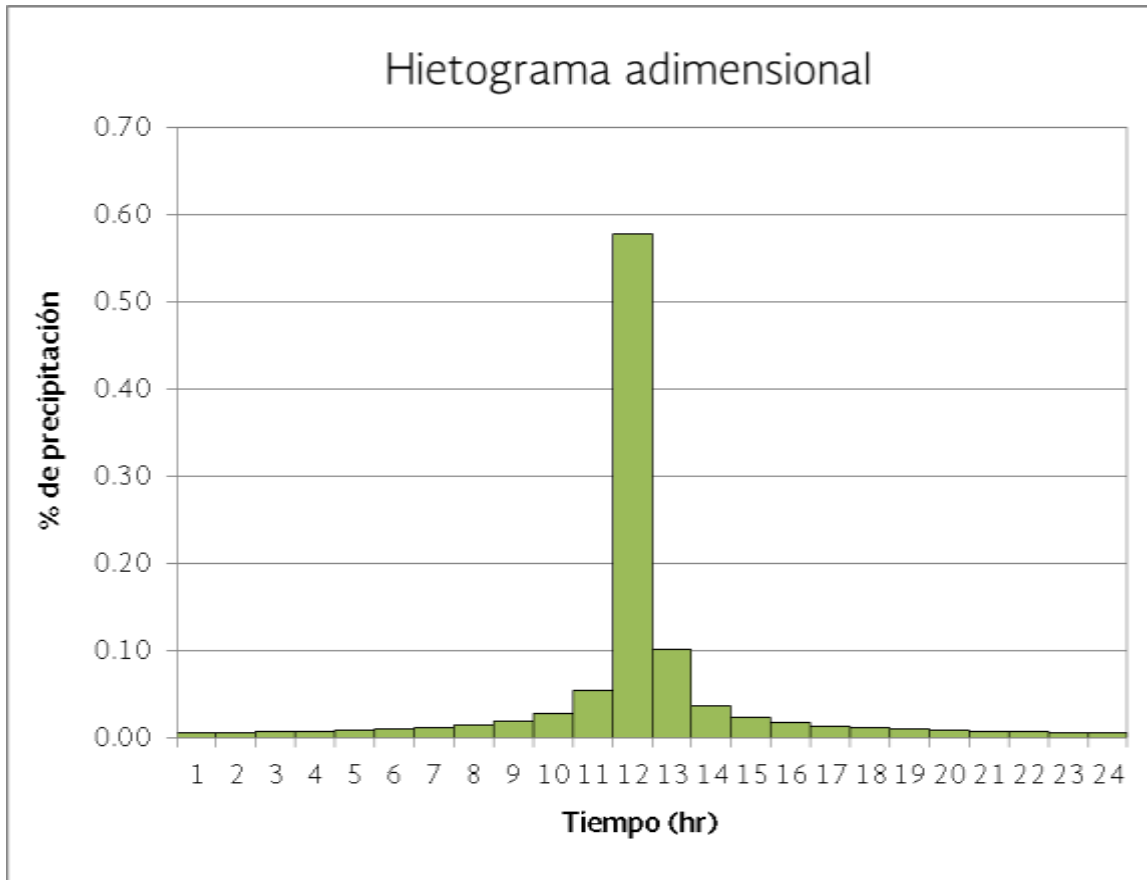


Figura 5.2 Hietograma adimensional para distribución de la precipitación de diseño

5.1.3 Modelo lluvia-escorrimento

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 escurrimiento 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-escorrimento: 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.

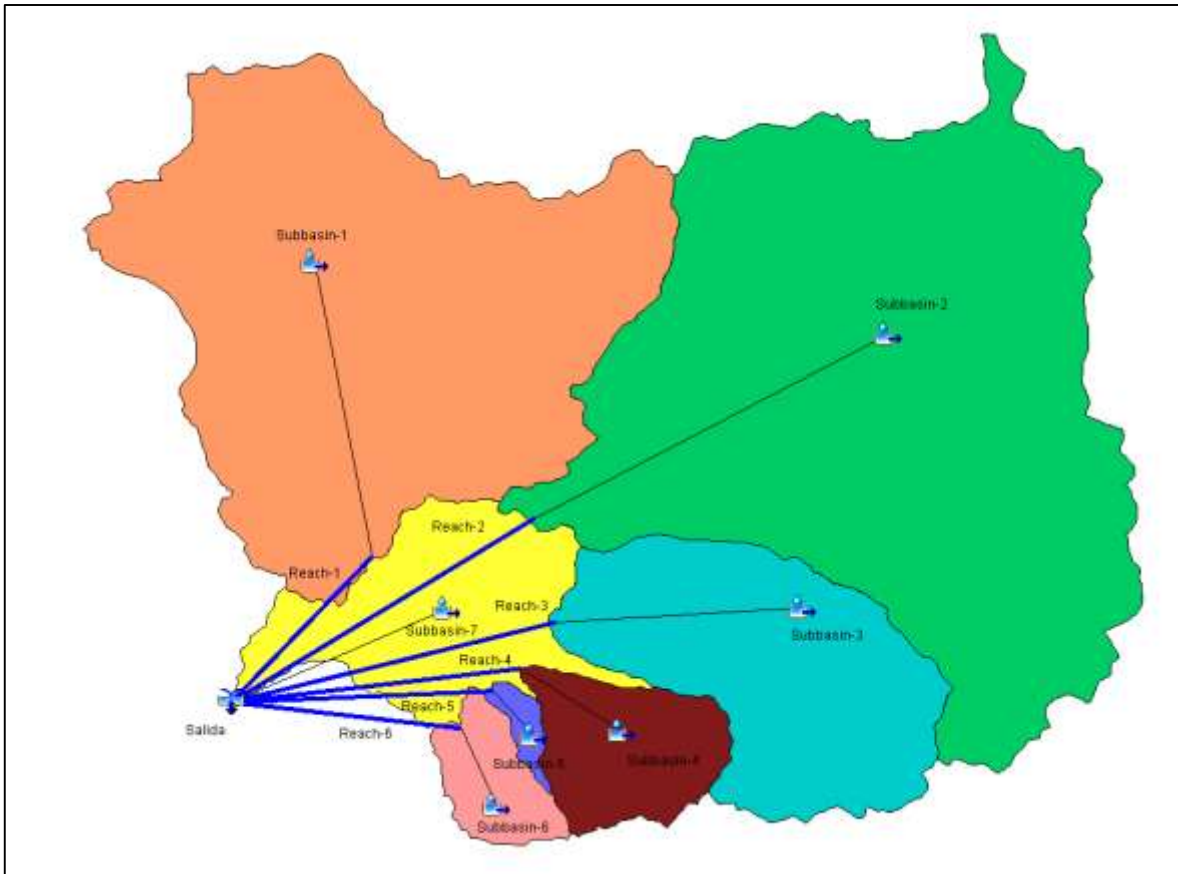


Figura 5.3 Esquema del modelo hidrológico en la plataforma HEC-HMS

5.1.4 Resultados

En este apartado se muestran seis gráficas que resumen los resultados obtenidos de la modelación hidrológica, que corresponden a los hidrogramas de salida en cada una de las seis subcuencas. Dichas salidas corresponden a los hidrogramas de ingreso de gastos a la zona urbana: Entrada 1 (subcuenca 1), Entrada 2 (subcuenca 2), Entrada 3 (subcuenca 3), Entrada 4 (subcuenca 4), Entrada 5 (subcuenca 5) y Entrada 6 (subcuenca 6).

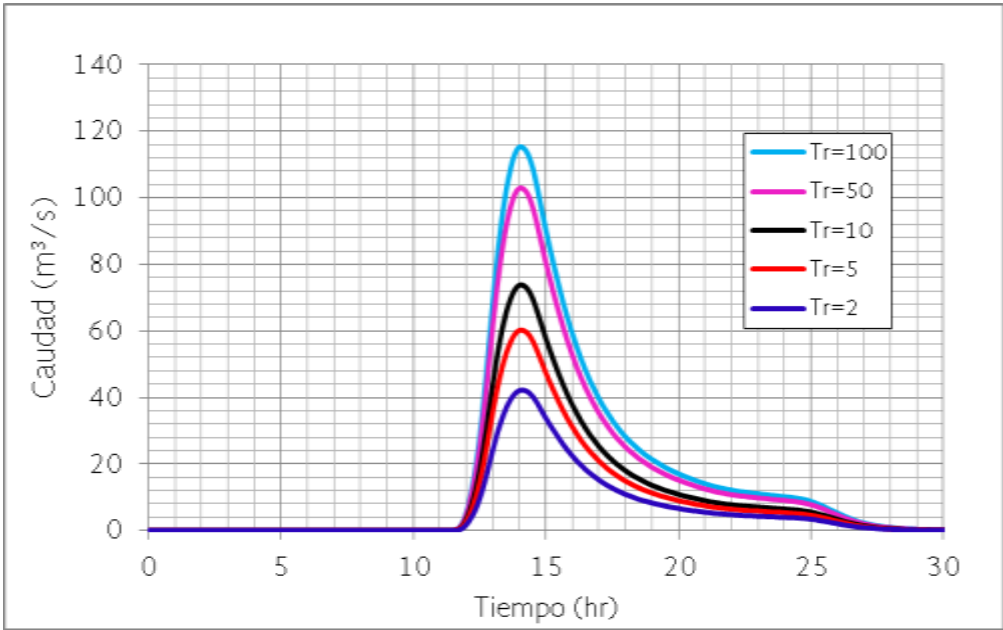


Figura 5.4 Hidrogramas de Entrada 1 (subcuenca 1)

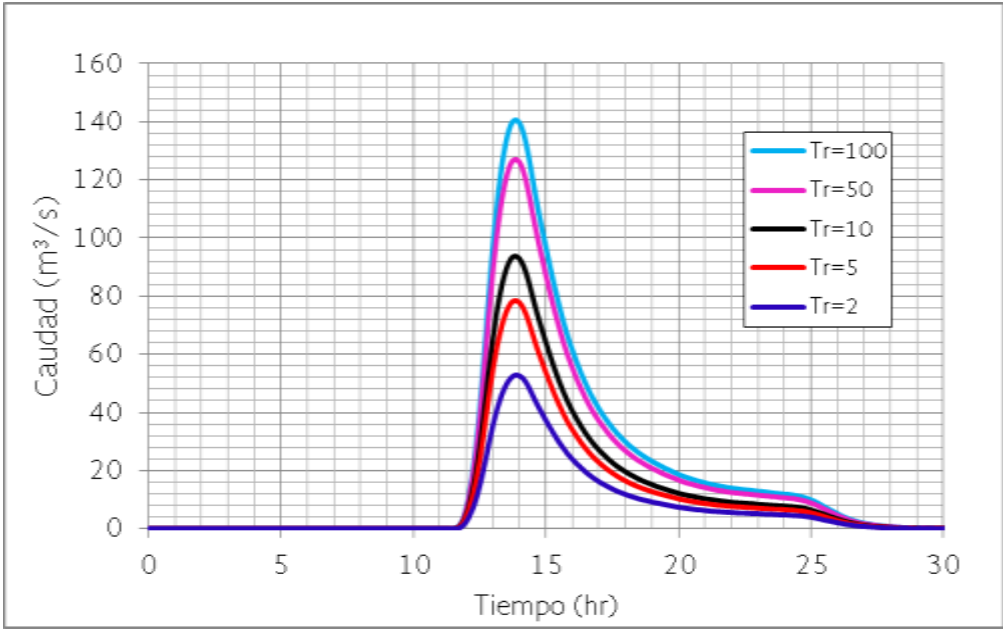


Figura 5.5 Hidrogramas de Entrada 2 (subcuenca2)

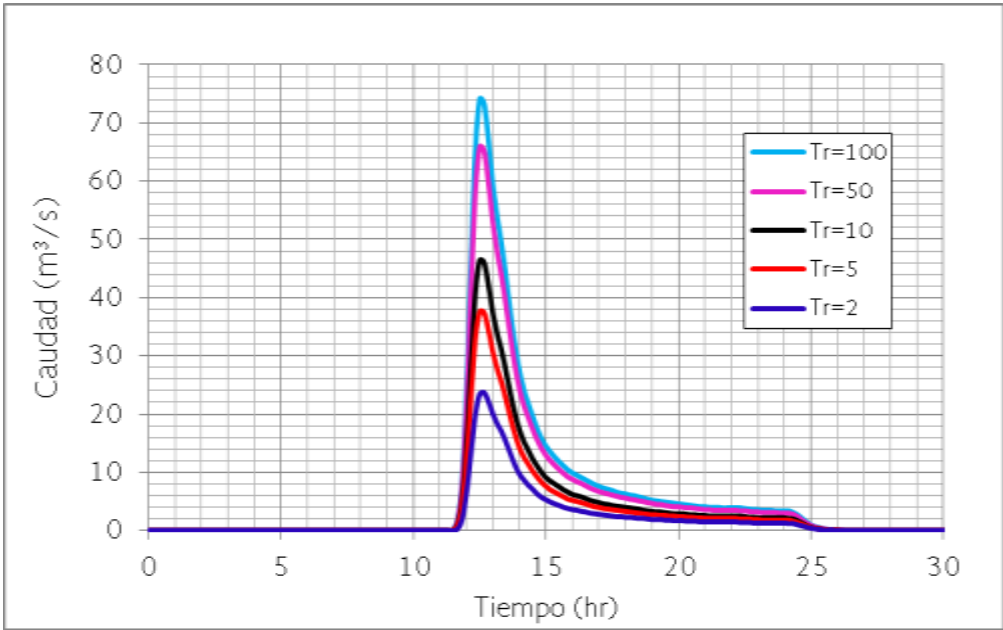


Figura 5.6 Hidrogramas de Entrada 3 (subcuenca 3)

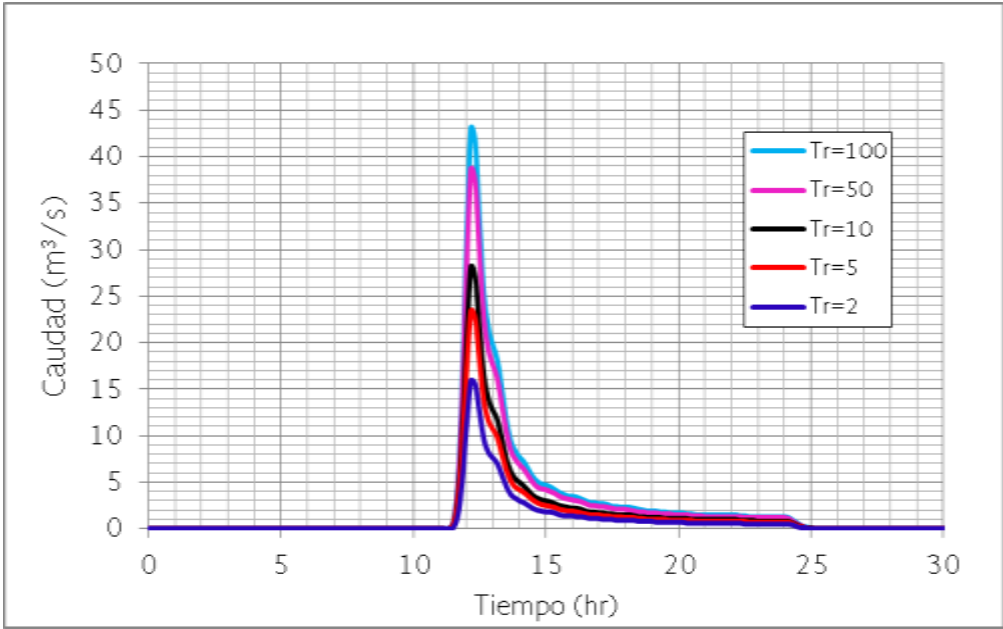


Figura 5.7 Hidrogramas de Entrada 4 (subcuenca 4)

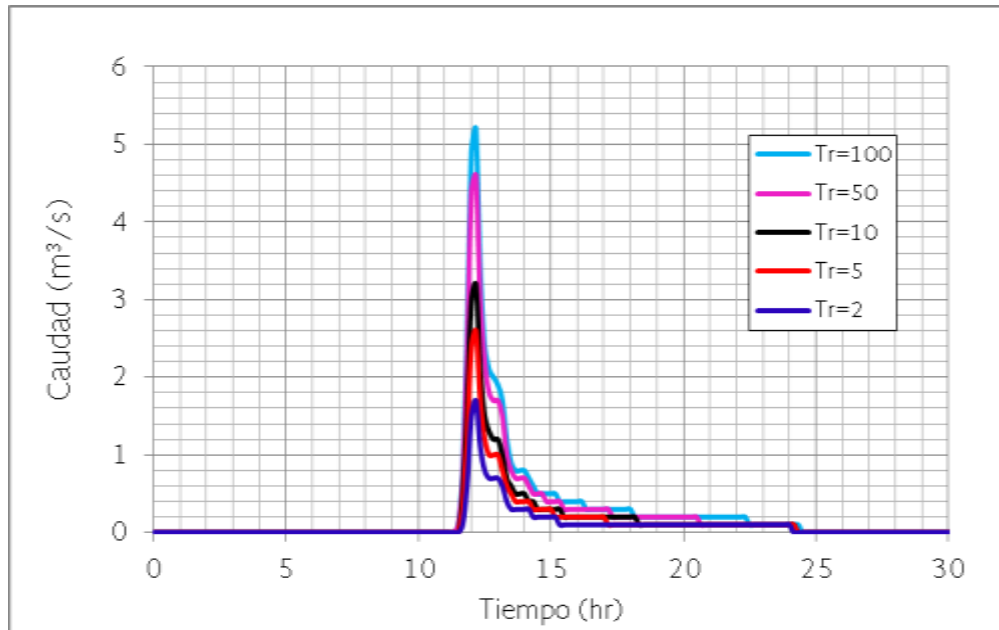


Figura 5.8 Hidrogramas de Entrada 5 (subcuenca 5)

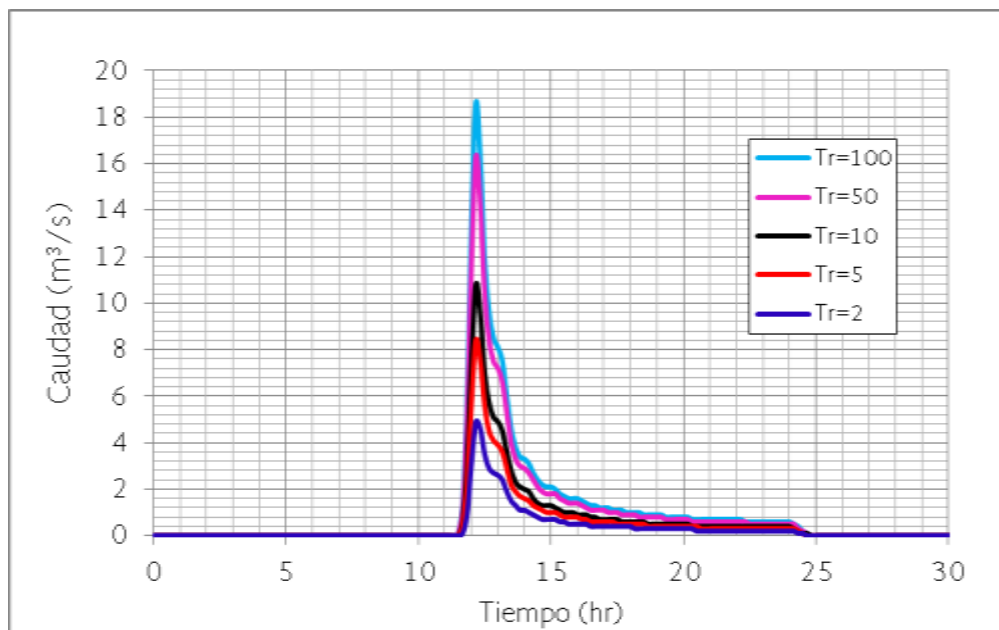


Figura 5.9 Hidrogramas de Entrada 6 (subcuenca 6)

Estas seis entradas son las que se introdujeron al modelo hidráulico. La Entrada 1 corresponde al hidrograma de la subcuenca 1; la Entrada 2 es la aportación de la subcuenca 2; la Entrada 3 corresponde a la subcuenca 3; la Entrada 4 corresponde a la aportación de la subcuenca 4, la Entrada 5 corresponde al hidrograma de la subcuenca 5 y la Entrada 6 es la aportación de la subcuenca 6.

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 2.3.2¹³.

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 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.

¹³Bladé, 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

5.2.2 Procesamiento del modelo digital de elevaciones

El modelo hidráulico de la zona de Zitácuaro 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 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 5.10 Vectores que delimitan el ancho de los ríos

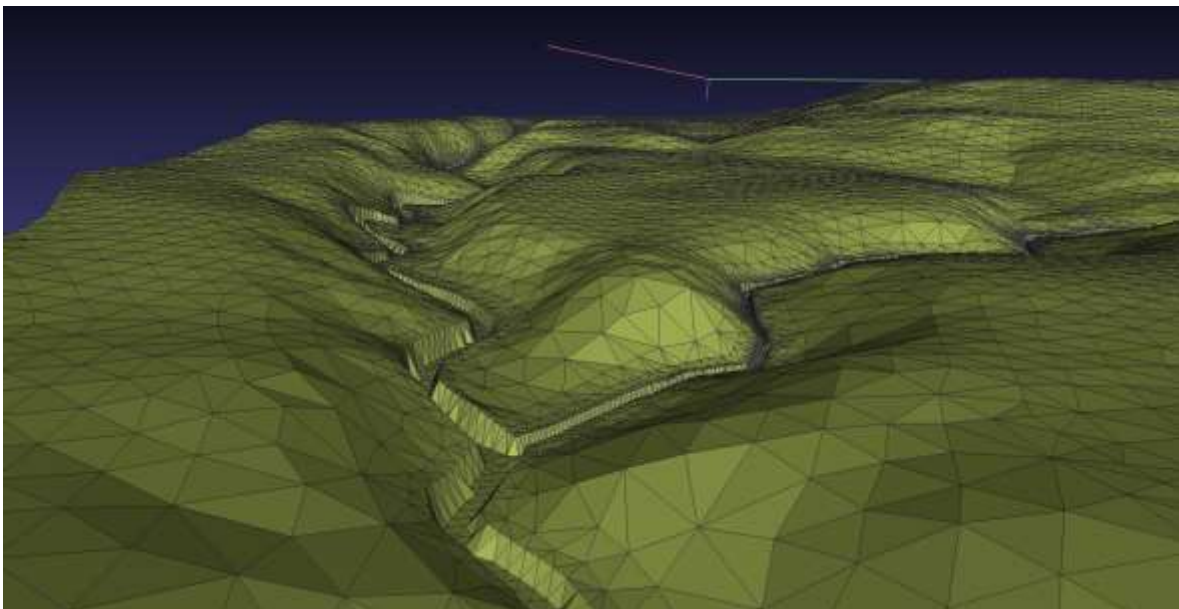


Figura 5.11 Malla final obtenida en el modelo IBER, para una zona del río Sam Juan Viejo-Zitácuaro

5.2.3 Infraestructura

En el modelo hidráulico de la zona de Zitácuaro, 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 de IBER, 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 3 m y 7 m en los cauces para los diferentes tipos de cauce, de 25 metros en la zona urbana, que es la planicie de inundación o zonas residenciales y de 30 y 40 m para las zonas más retiradas de la zona urbana que corresponden a montañas principalmente. Lo anterior para disminuir 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 5.12). A cada polígono definido por las manzanas y calles y con apoyo de la imagen de satélite se le asignó un uso de suelo.

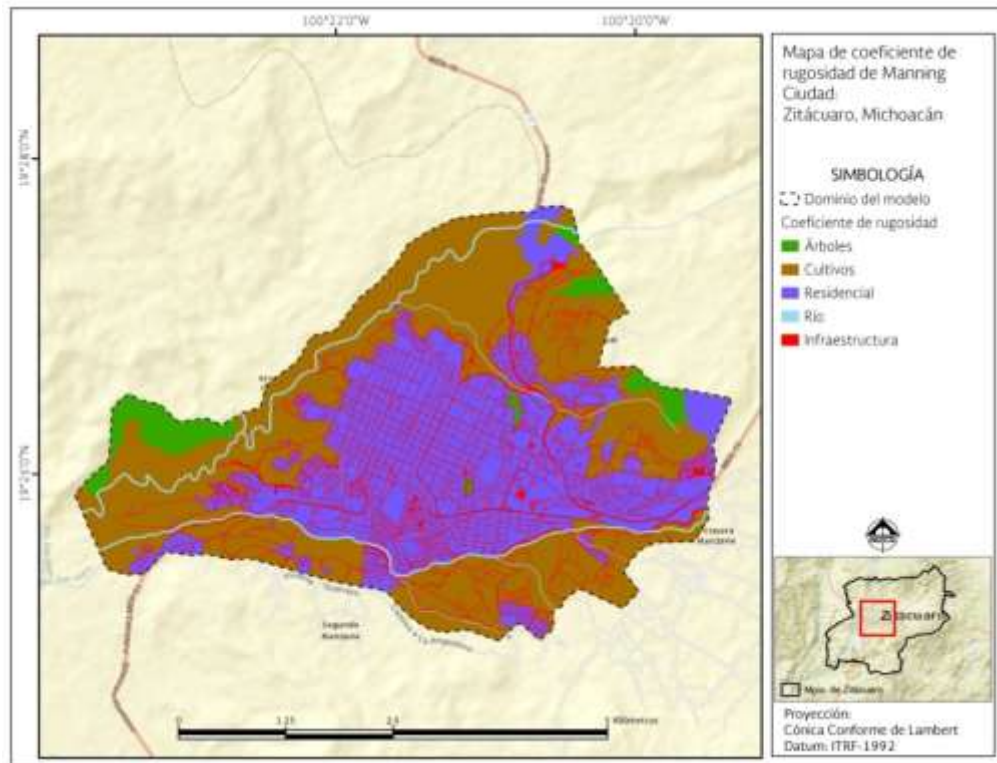


Figura 5.12 Variación del coeficiente de rugosidad de Manning en la zona de Zitácuaro

Luego de procesar la capa arriba mencionada, para asignarle valores se emplearon los sugeridos por Ven Te Chow¹⁴, en combinación con los valores definidos por defecto en el programa IBER (Tabla 5.3).

¹⁴ Chow, Ven Te. Hidráulica de Canales Abiertos, pag. 108, Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning "n". Mc Graw Hill. 2004.

Tabla 5.3 Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning “n” de acuerdo con el uso del suelo

Clases	n Manning	Fuente
Río angosto < a 30m y recto con matorrales y piedras	0.035	Chow
Río angosto < a 30m y serpenteante con matorrales y piedras	0.06	Chow
Río angosto < a 30m montañoso	0.04	Chow
Río ancho > a 30 m con sección irregular y rugoso	0.04	Chow
Suelo desnudo	0.023	IBER
Pastizales	0.03	IBER
Bosque	0.12	IBER
Playa	0.023	IBER
Matorrales	0.06	Chow
Árboles	0.12	IBER
Vegetación urbana	0.023	IBER
Escasa vegetación	0.08	IBER
Vegetación densa	0.18	IBER
Colectores pluviales	0.017	Chow
No clasificado	0.032	IBER
Calles	0.02	IBER
Industrial	0.1	IBER
Viviendas	0.15	IBER
Cultivos	0.04	Chow
Arbustos	0.06	Chow
Cuerpos de agua	0.07	Chow
Parque	0.12	IBER
Canal concreto	0.02	Chow

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

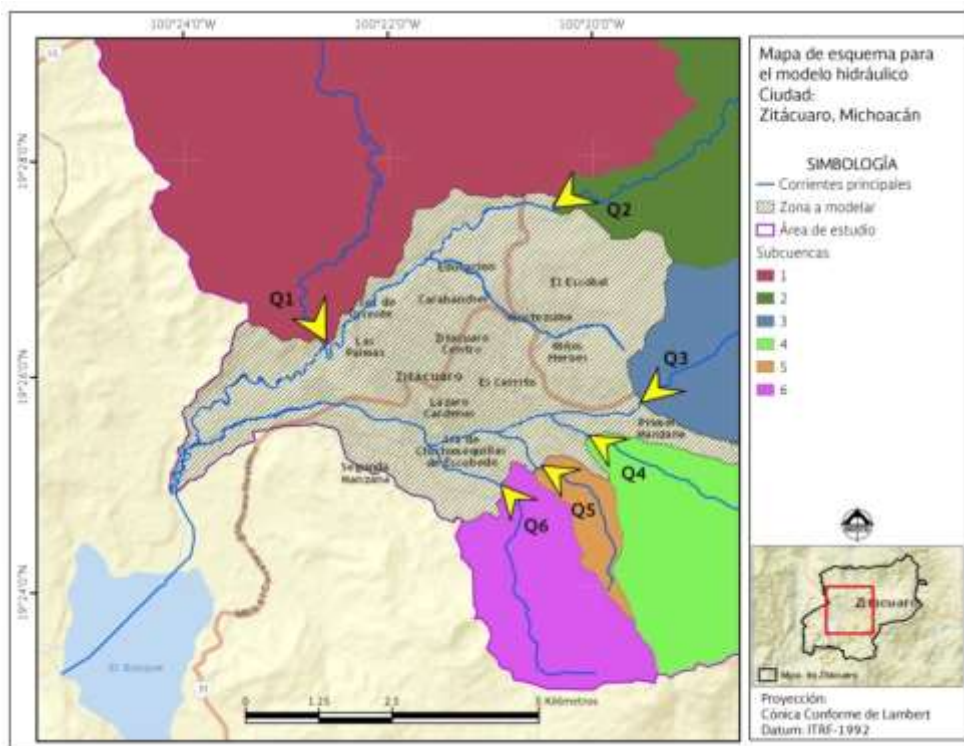


Figura 5.13 Esquema del modelo hidráulico

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.

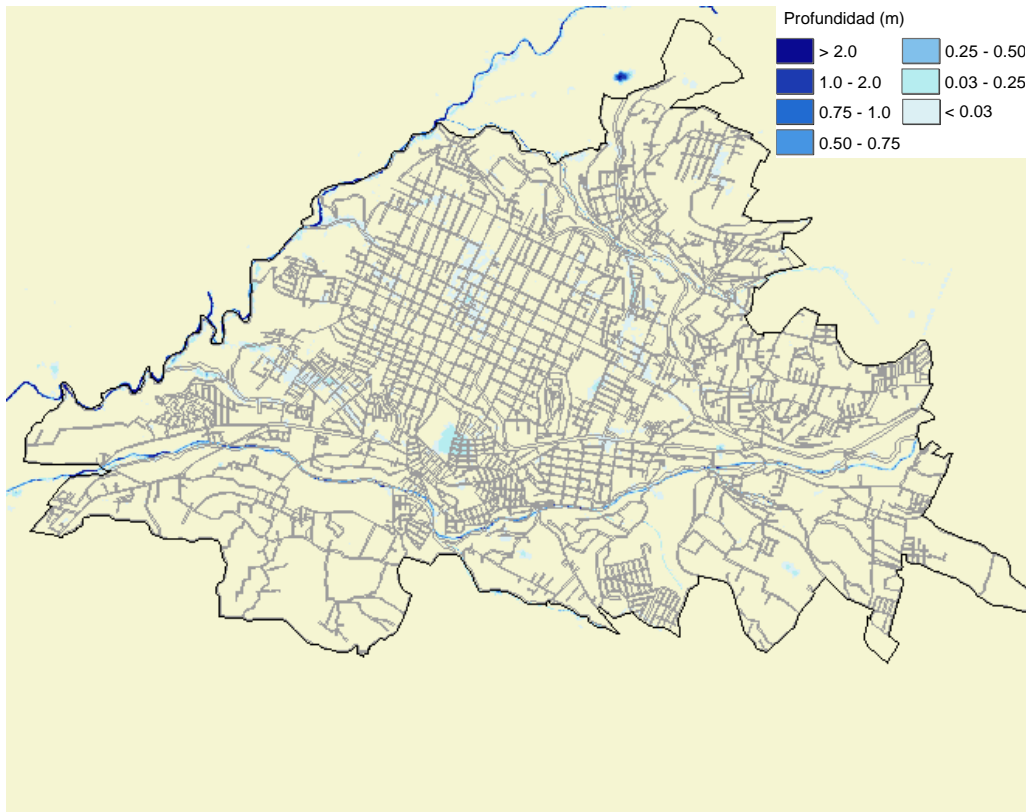


Figura 5.14 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años

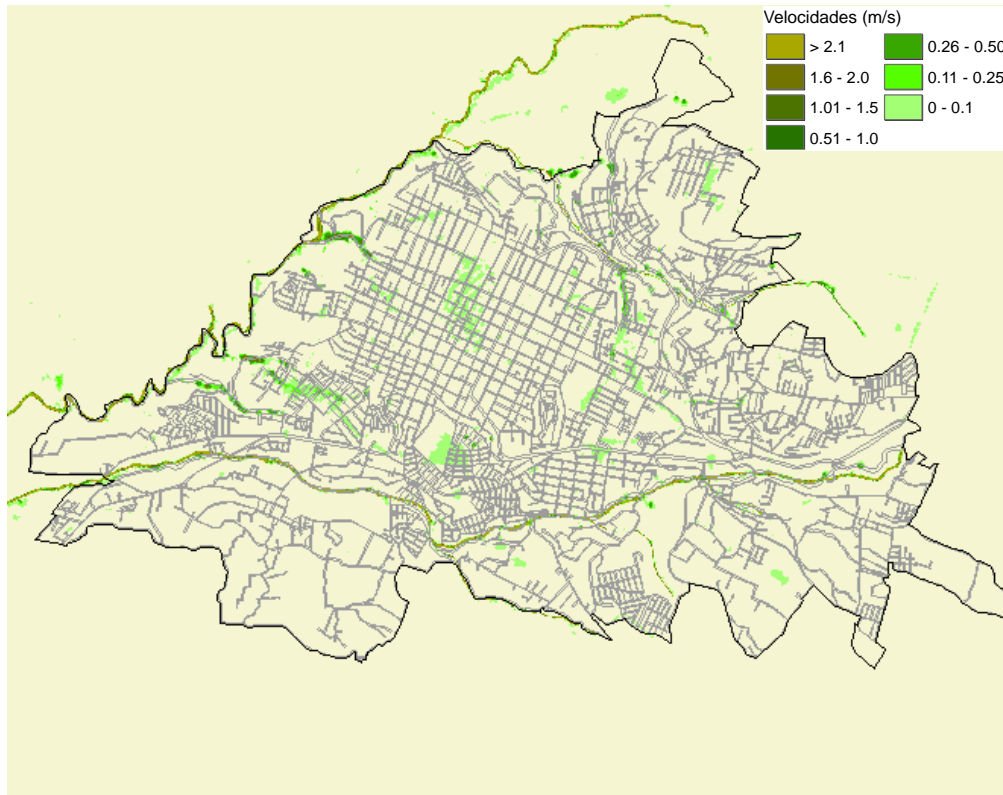


Figura 5.15 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 2 años

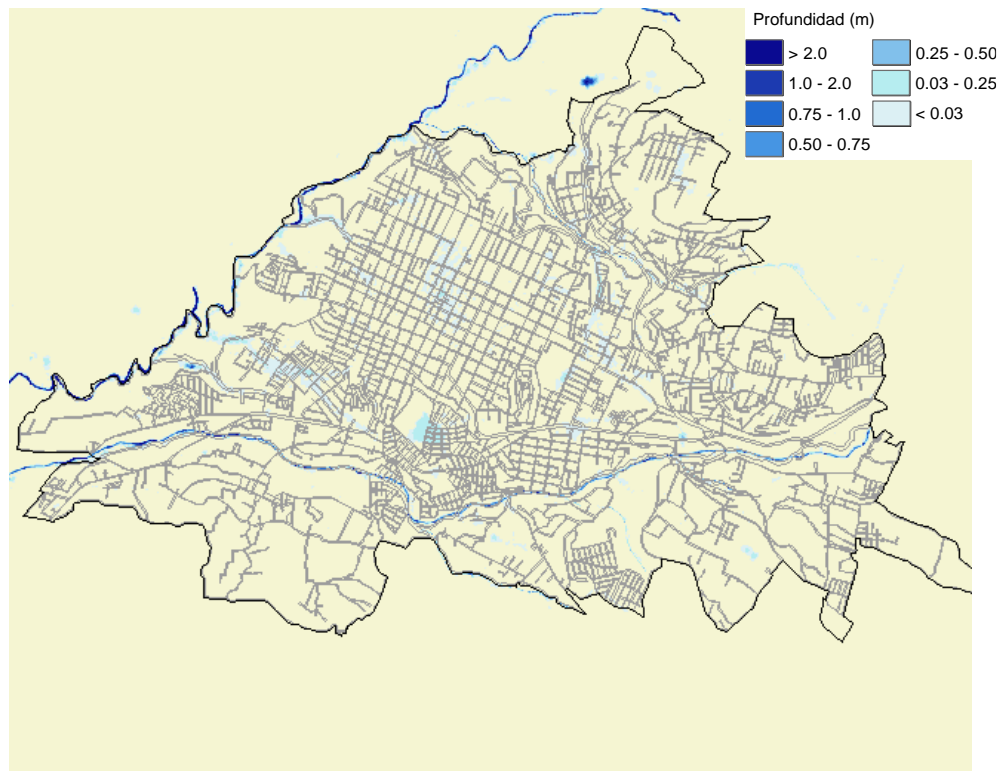


Figura 5.16 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años

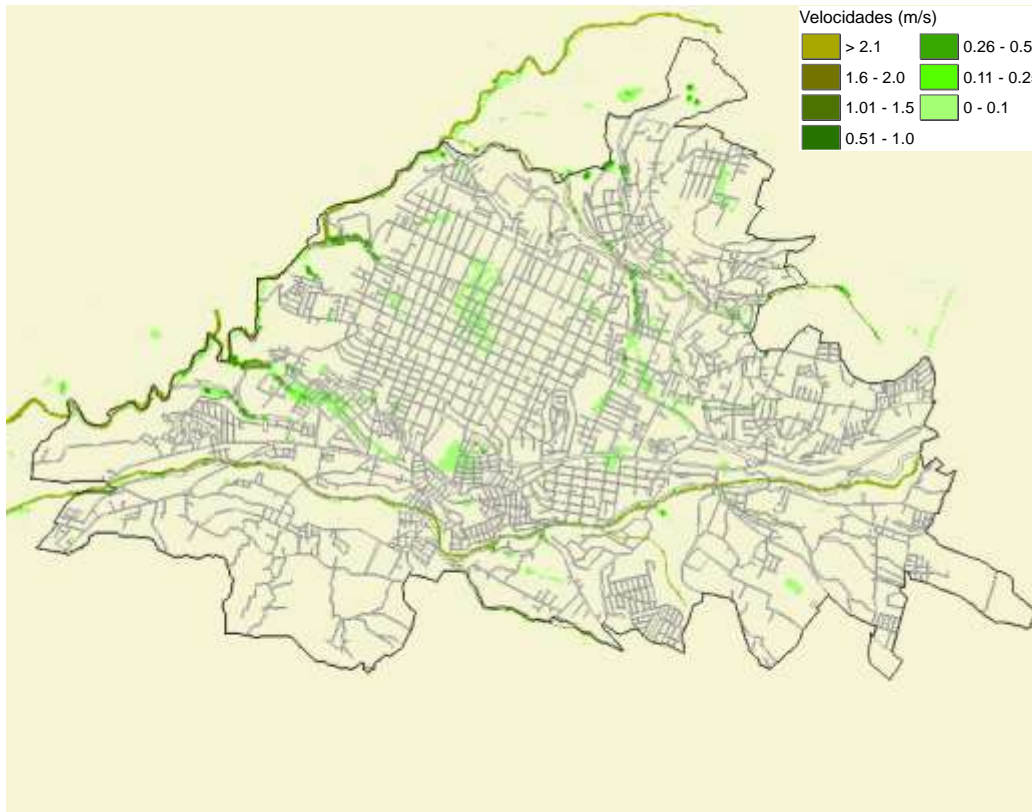


Figura 5.17 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años

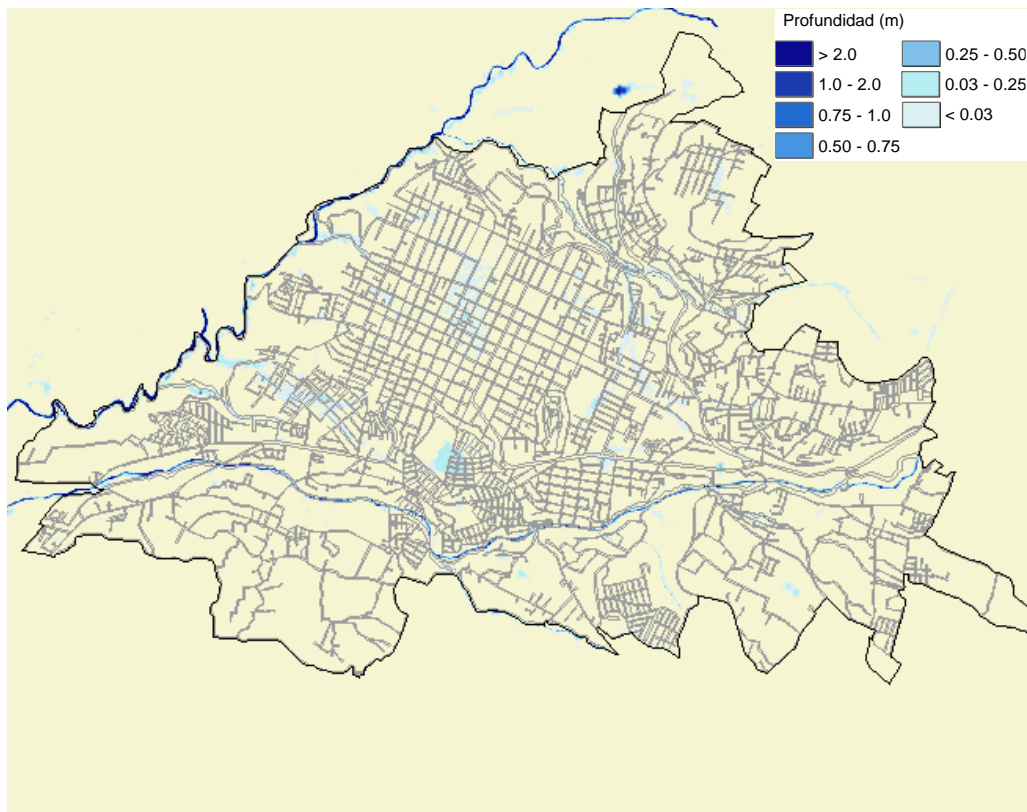


Figura 5.18 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años

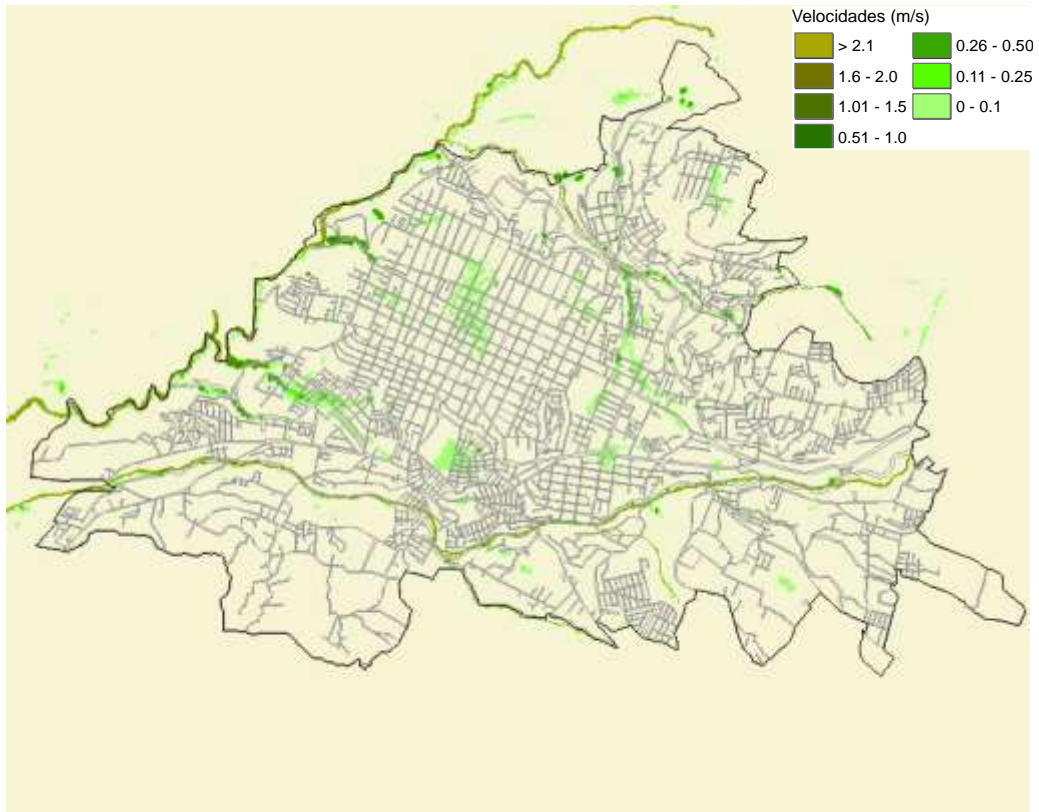


Figura 5.19 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años

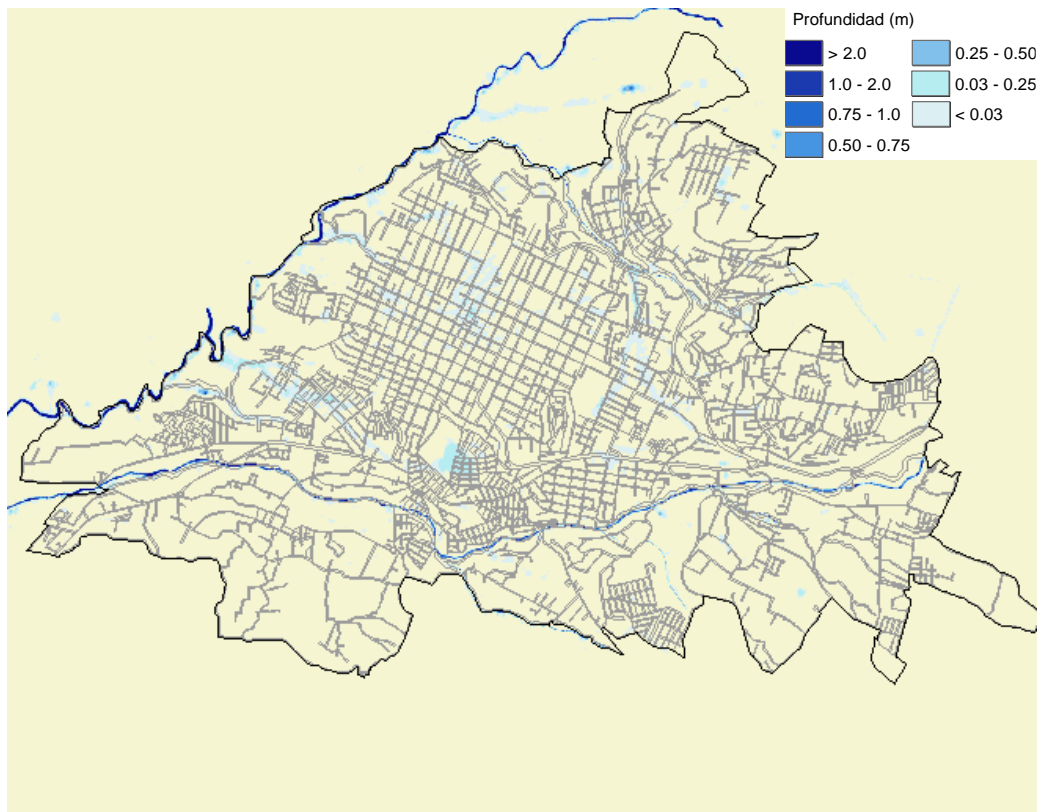


Figura 5.20 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años

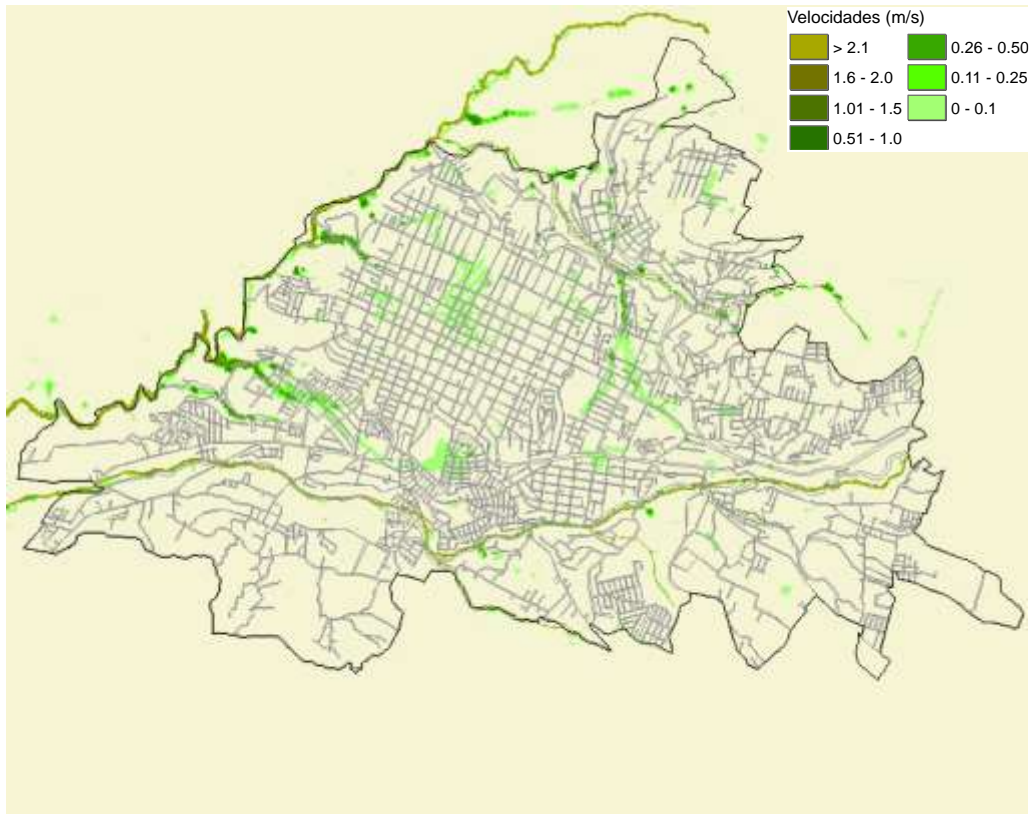


Figura 5.21 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años

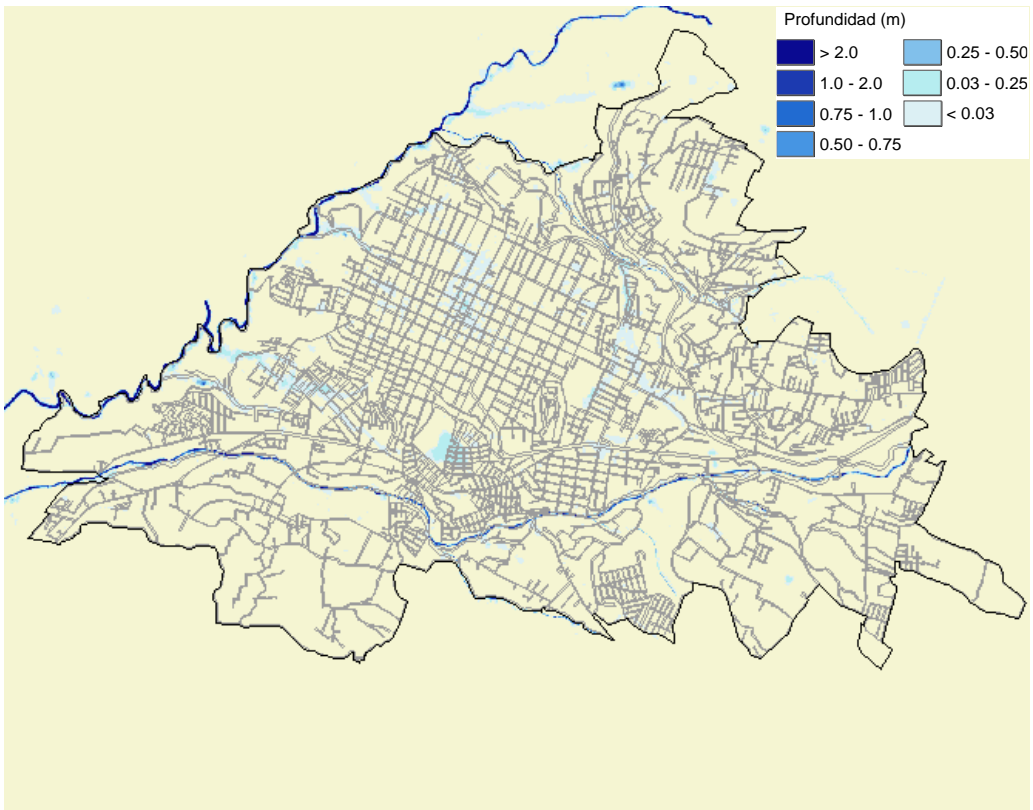


Figura 5.22 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años

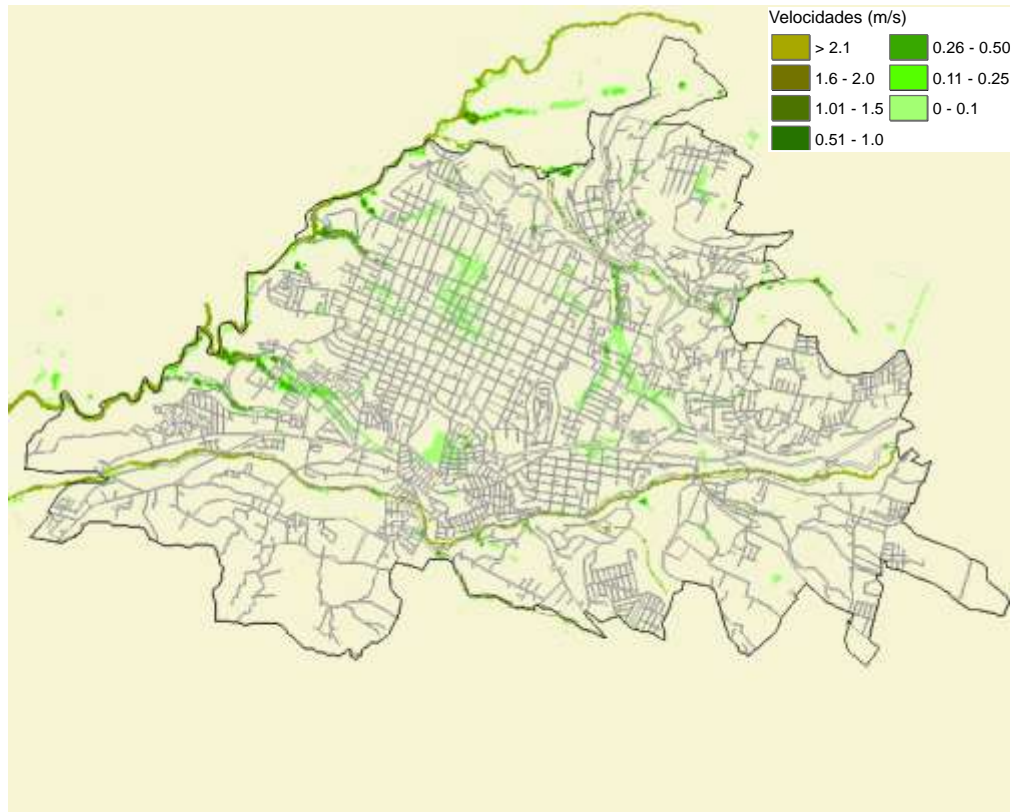


Figura 5.23 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años

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 San Juan Viejo-Zitácuaro y San Andrés-San Isidro, con el objeto de conocer directamente la evolución del caudal y volumen, por ser las dos corrientes más importantes de la ciudad de Zitácuaro.

Cabe señalar que el río San Juan Viejo-Zitácuaro no presenta problemas de desbordamientos considerables dentro de la zona urbana considerando la avenida para un periodo de retorno de 100 años, solo se muestran unas pequeñas manchas de inundación que en realidad son islas o derivaciones del río, así como pequeños encharcamientos en predios sobre la margen del río, lo cual no representa riesgo alguno para los habitantes de la zona urbana. Lo anterior se presenta en las colonias Educación y 6 de Junio (Figuras 5.24 y 5.25).

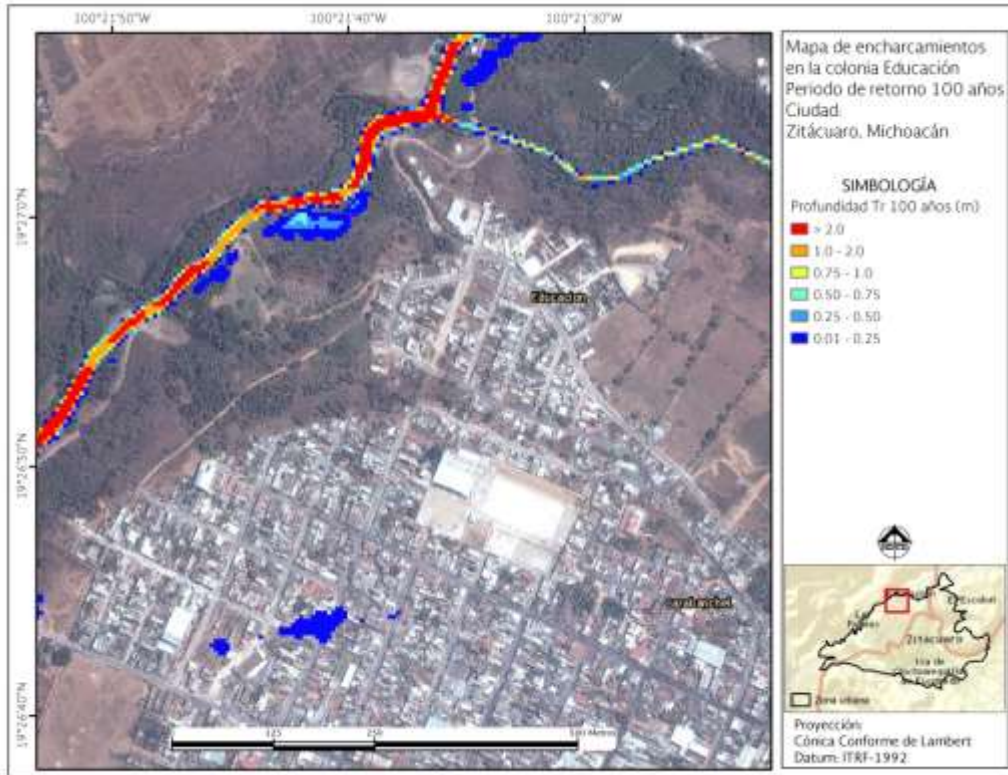


Figura 5.24 Zonas de encharcamientos o derivación del río Zitácuaro, colonia Educación (TR= 100 años)

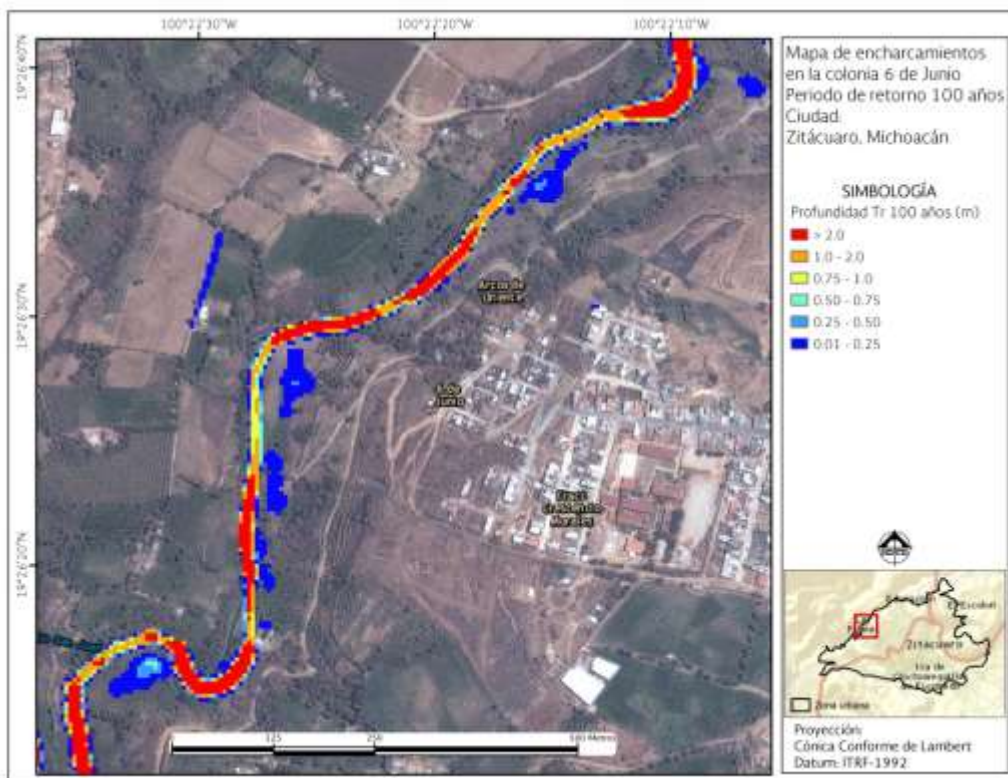


Figura 5.25 Zonas de encharcamientos o derivación del río Zitácuaro, colonia 6 de Junio (TR= 100 años)

Existen varias zonas de encharcamientos dentro de la mancha urbana ocasionadas por lluvia. Dichas zonas se localizan en las colonias Las Palmas, Miguel Hidalgo, Morelos, Centro, Moctezuma, Poetas y especialmente en la Independencia, afectando parte de la Avenida Revolución y La Unidad Deportiva La Joya (Figuras 5.26 y 5.27). Los tirantes máximos presentados son del orden de 10 a 20 centímetros en la mayoría de las colonias mientras que en la Unidad Deportiva es de 15 centímetros.

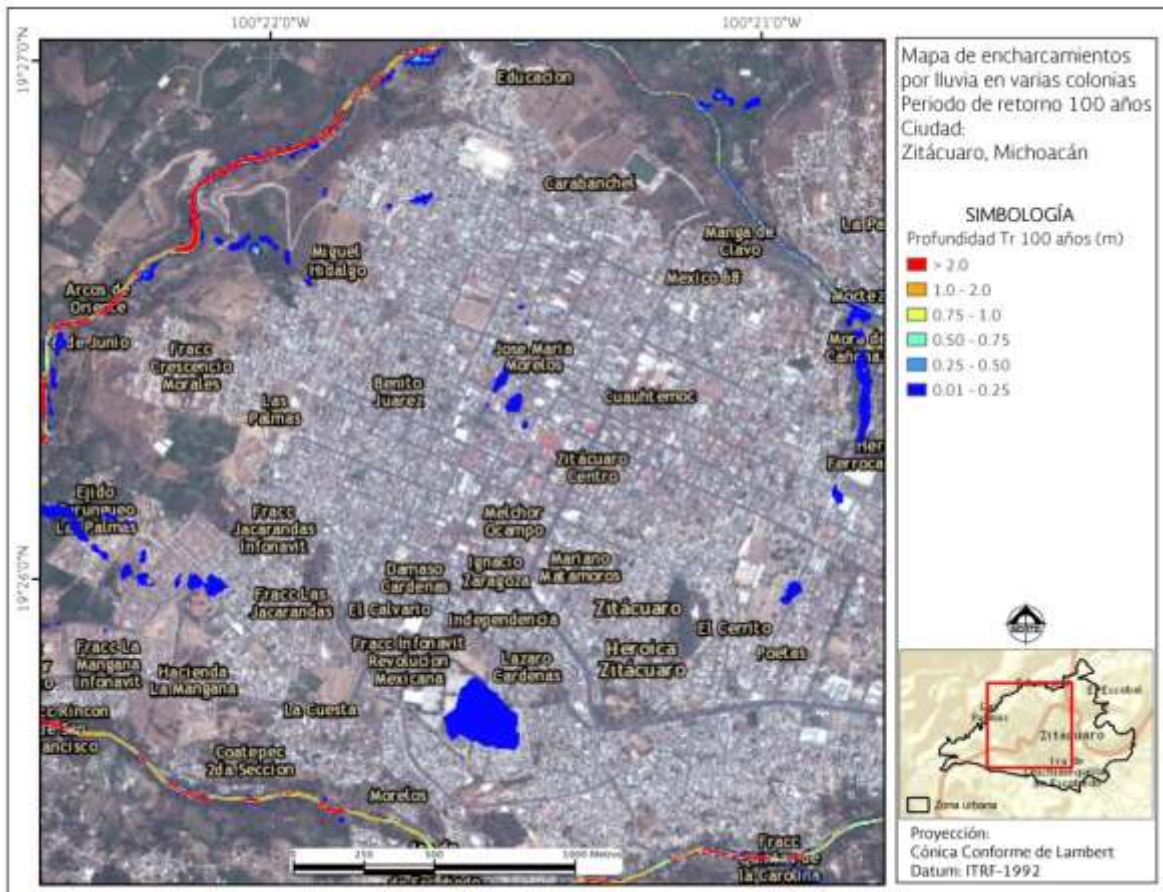


Figura 5.26 Zonas de encharcamientos por lluvia en varias colonias de Zitácuaro, (TR= 100 años)

Cabe señalar que históricamente la avenida Revolución se convierte en un río ante la presencia de fuertes lluvias, ocasionando levantamiento de pavimento, arrastre de vehículos e incluso el derrumbe de viviendas. Lo anterior debido a la topografía de la zona urbana, ya que presenta una pendiente con dirección al poniente, y la avenida funciona como vía de desagüe ante la falta de drenaje pluvial, afectando a las colonias cercanas al río San Juan Viejo-Zitácuaro, donde finalmente los escurrimientos de la zona urbana son descargados como se dijo anteriormente, a la altura de la colonia 6 de Junio.

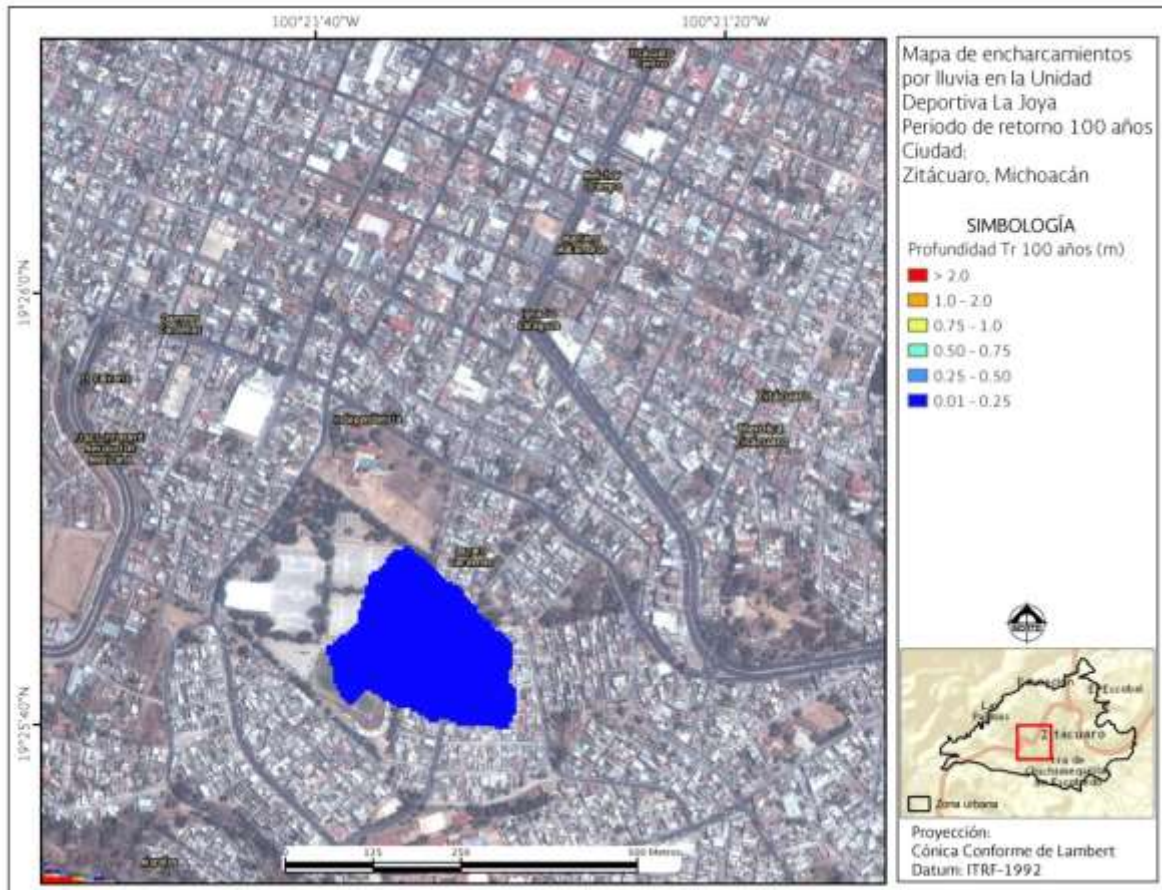


Figura 5.27 Zonas de encharcamientos por lluvia en la Unidad Deportiva La Joya, (TR= 100 años)

Como parte de la modelación hidráulica se tuvo que realizar un dragado virtual a los ríos principales, ya que el modelo de elevación digital no cuenta con datos de batimetría, con la finalidad de que el volumen de agua esté encausado en una sección transversal y determinar si estas secciones son suficientes para transportar las avenidas de diseño. Los ríos dragados fueron el río San Juan Viejo-Zitácuaro y su afluente que está en la zona urbana; el río San Andrés-San Isidro y sus tres afluentes principales que ingresan a la zona urbana. Existen otras pequeñas corrientes dentro de la zona urbana que no se dragaron por falta de información en cuanto a dimensiones, y es en estas zonas donde los resultados de la modelación indican que existen pequeñas acumulaciones de lluvia.

Debido a que estos niveles no superan los 20 centímetros de altura sin realizar dragado, se infiere que al existir un pequeño arroyo, éste sería capaz de transportar el agua de lluvia sin problemas evitando encharcamientos. Para validar lo anterior, se generó un archivo raster de acumulación del flujo a partir del modelo digital de elevaciones del INEGI, para corroborar que el terreno desaloja de manera natural el agua producto de la lluvia (Figura 5.28).

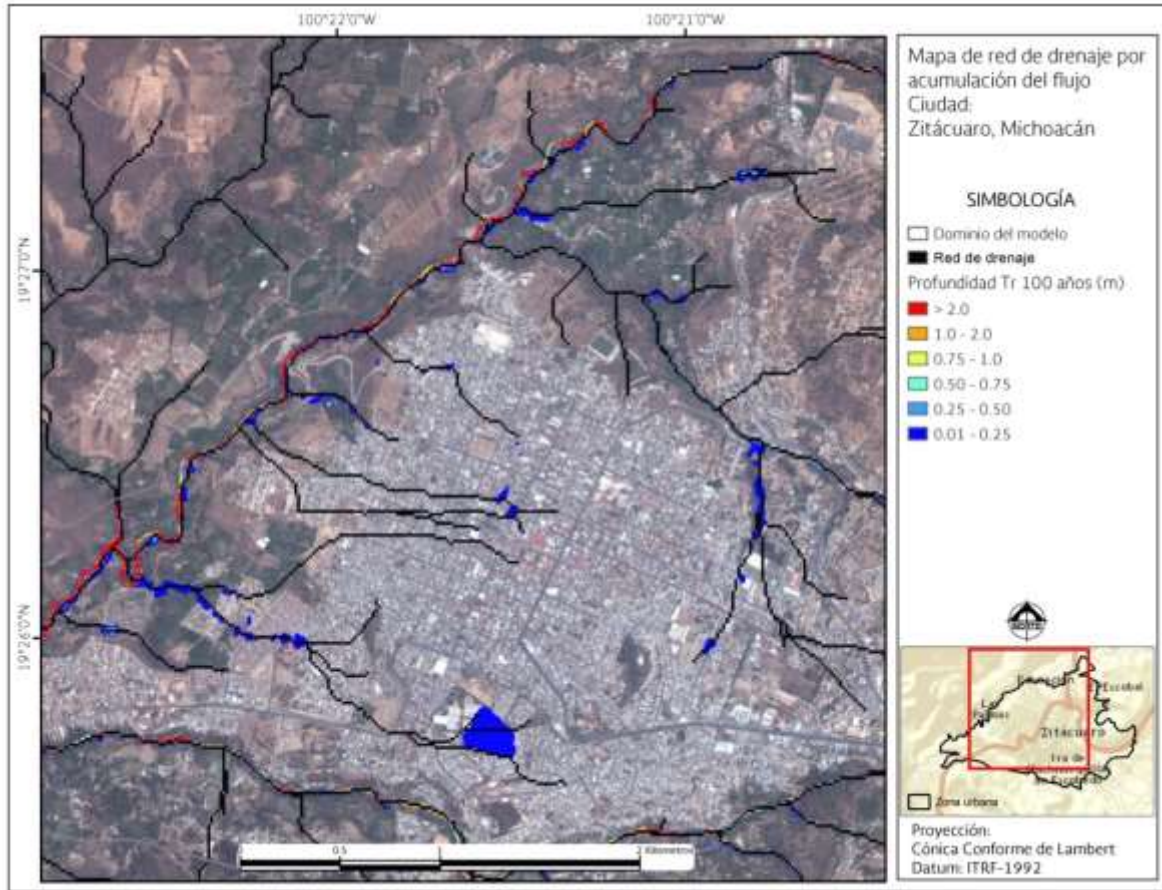


Figura 5.28 Red de drenaje natural de la zona urbana de Zitácuaro, Michoacán

De acuerdo con los resultados de la modelación hidrológica e hidráulica, se concluye que no se presentan problemas por desbordamiento de ríos dentro del polígono de modelado analizado. Sin embargo, es importante destacar que el principal problema que aqueja a la ciudad de Zitácuaro es el efecto que producen las lluvias fuertes, ya que al existir un marcado declive con dirección poniente aunado a la falta de drenaje de pluvial, las calles y avenidas principales se comportan como canales de agua que conducen los escurrimientos hacia la parte poniente, afectando a las colonias más cercanas al río San Juan Viejo-Zitácuaro.

Los volúmenes de agua que escurren producto de la lluvia afecta a varias colonias al poniente de la ciudad inundando viviendas, arrastrando automóviles y poniendo en riesgo la seguridad de las personas, incluso se han presentado deslaves en las márgenes del río ocasionando el colapso de algunas viviendas. Con base en lo anterior, se concluye que se debe de considerar un estudio de drenaje pluvial integral para la ciudad de Zitácuaro, lo que significa que se debe de generar información topográfica a detalle para determinar las rutas óptimas para la construcción de colectores pluviales.

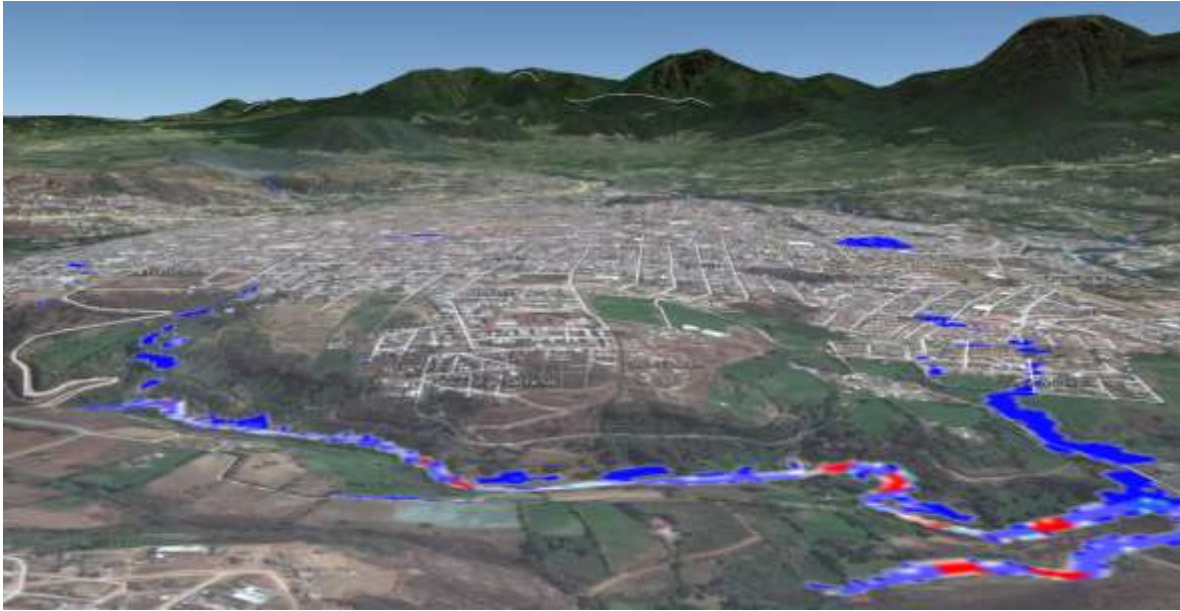


Figura 5.29 Vista de la zona poniente de Zitácuaro a la altura de la colonia 6 de Junio

En este estudio no se realizó la modelación hidráulica con una medida de reducción aplicada, debido a que no se presentaron problemas de desbordamiento de ríos, ya que éstos están encañonados por grandes taludes dentro de la zona urbana. Sin embargo, se realizó el análisis de daños estimados considerando la reubicación de viviendas asentadas en zonas de alto riesgo, es decir, aplicando una medida de ordenamiento territorial. Dicho análisis se detalla en los capítulos siguientes.

La profundidad máxima alcanzada sobre el Río San Juan Viejo-Zitácuaro a la salida del modelo evolucionó de la siguiente forma: profundidad máxima de 7.34 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 3.16 m.

Tabla 5.4 Profundidades máximas alcanzadas a la salida del modelo sobre el río San Juan Viejo-Zitácuaro

Periodo de retorno (años)	Tirante (m)
2	4.16
5	5.56
10	5.72
50	6.90
100	7.34

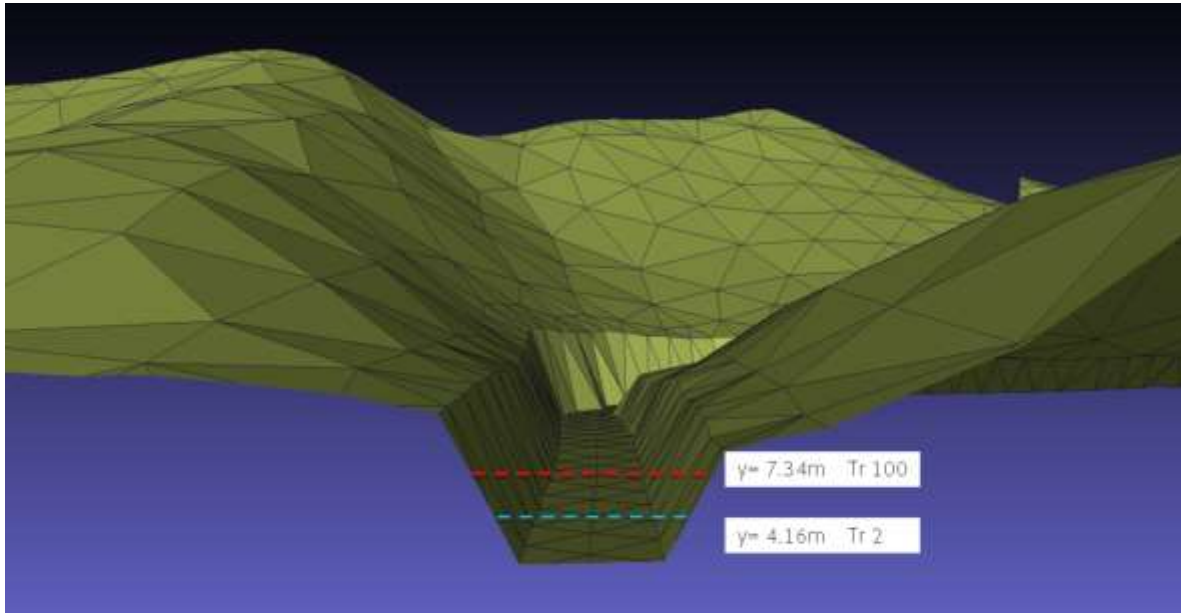


Figura 5.30 Evolución de los tirantes en una sección del río San Juan Viejo-Zitácuaro (Tr=2 y 100 años)

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 5.31. 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.

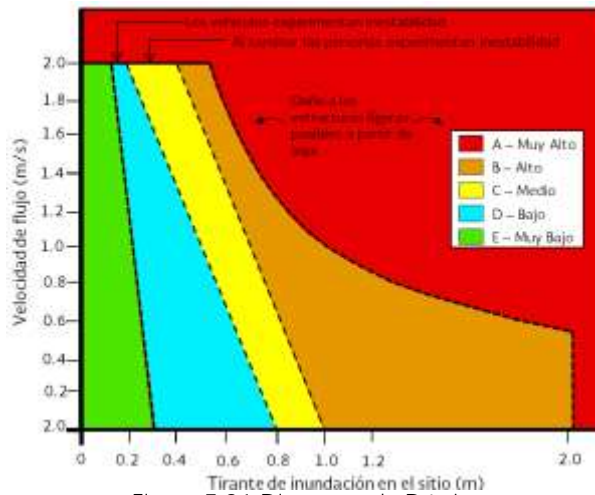


Figura 5.31 Diagrama de Dórrigo

El Diagrama de Dórrigo (Figura 5.31) 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 5.32 se observa el criterio adoptado para clasificar la severidad ante una inundación.






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

Figura 5.32 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 5.33) y la envolvente de velocidades máximas (Figura 5.34).



Figura 5.33 Envolverte de tirantes máximos



Figura 5.34 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 5.35).

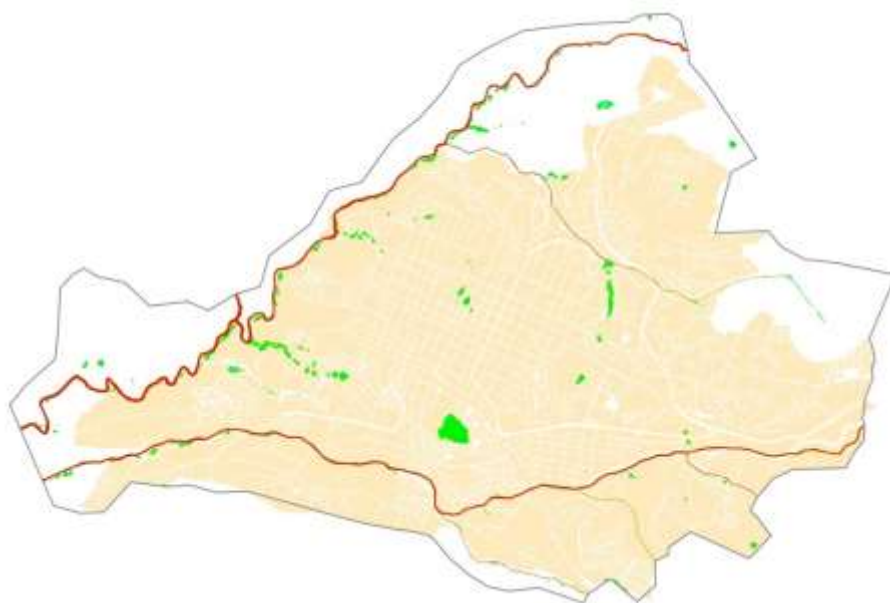


Figura 5.35 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años

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.

La severidad aquí presentada se toma de acuerdo a la clasificación sugerida por Dórrigo 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.

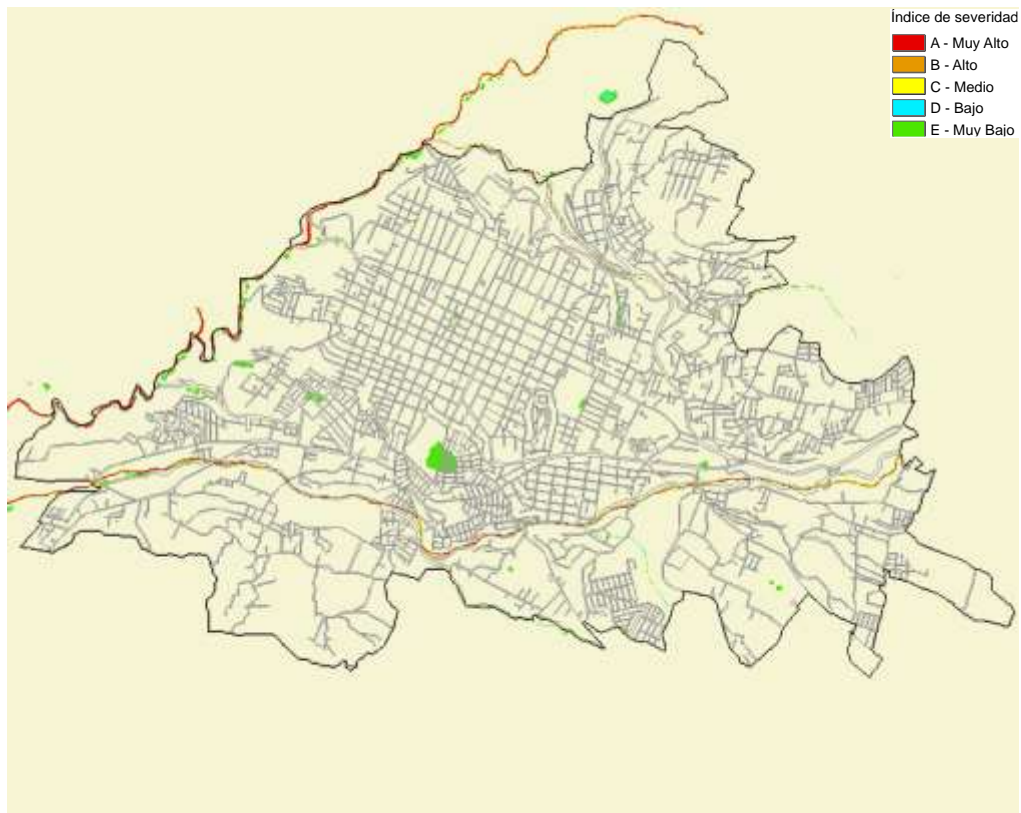


Figura 5.36 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 2 años

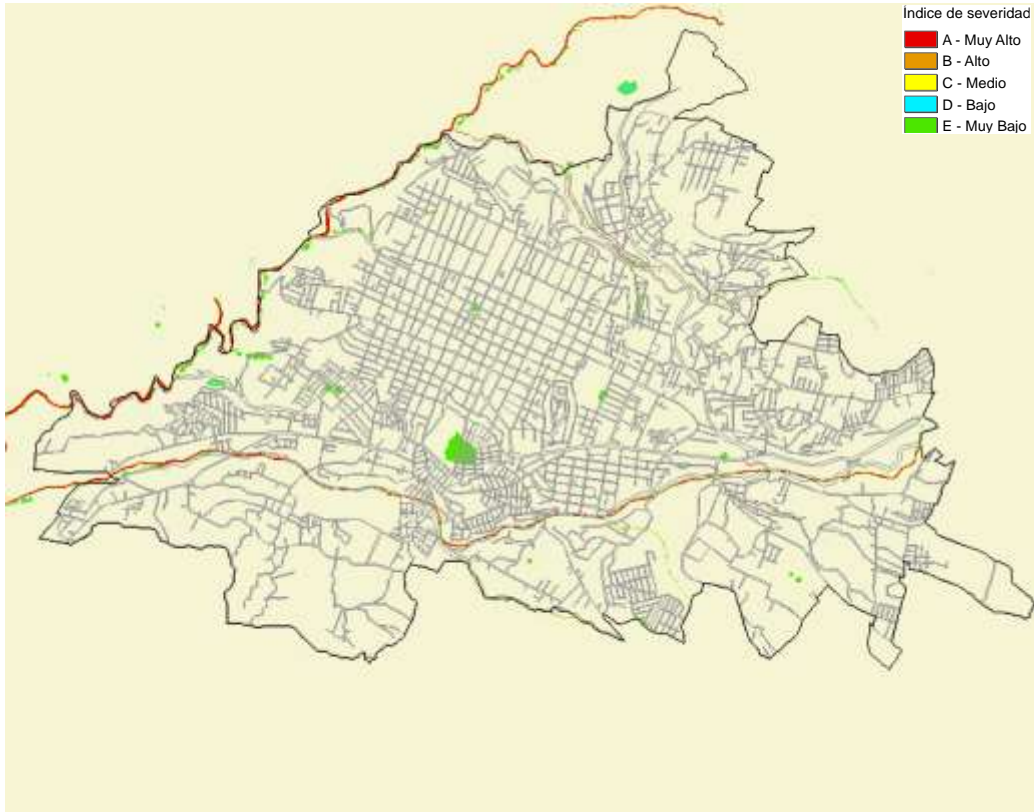


Figura 5.37 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 5 años

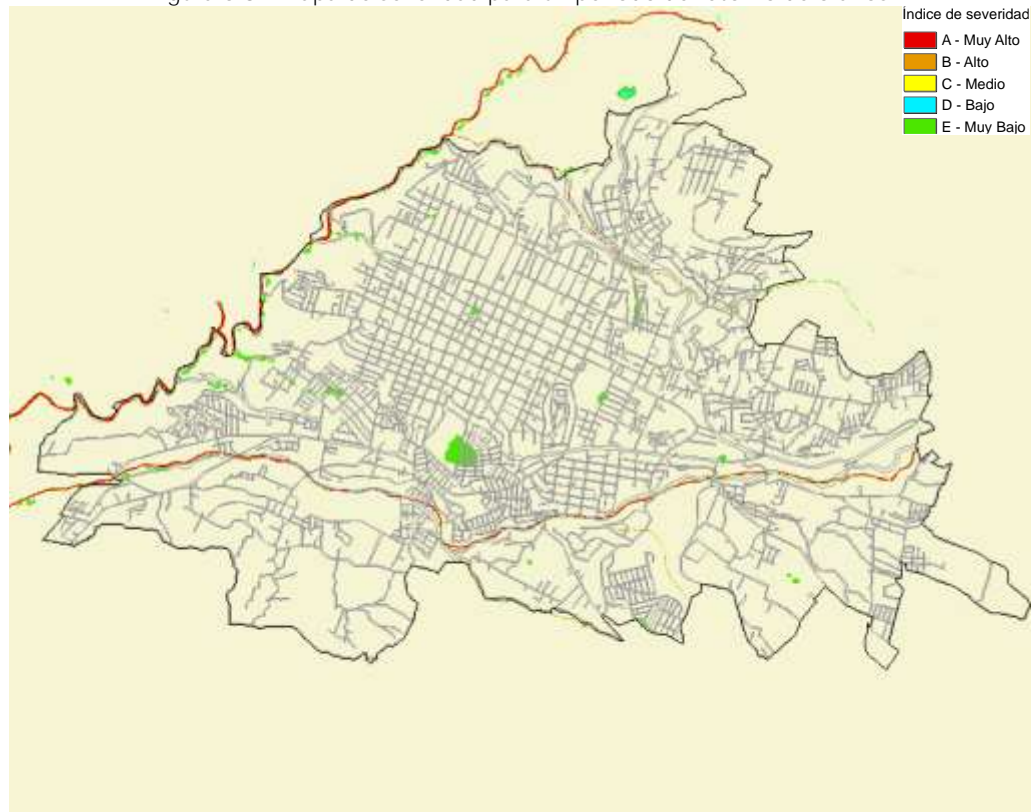


Figura 5.38 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 10 años

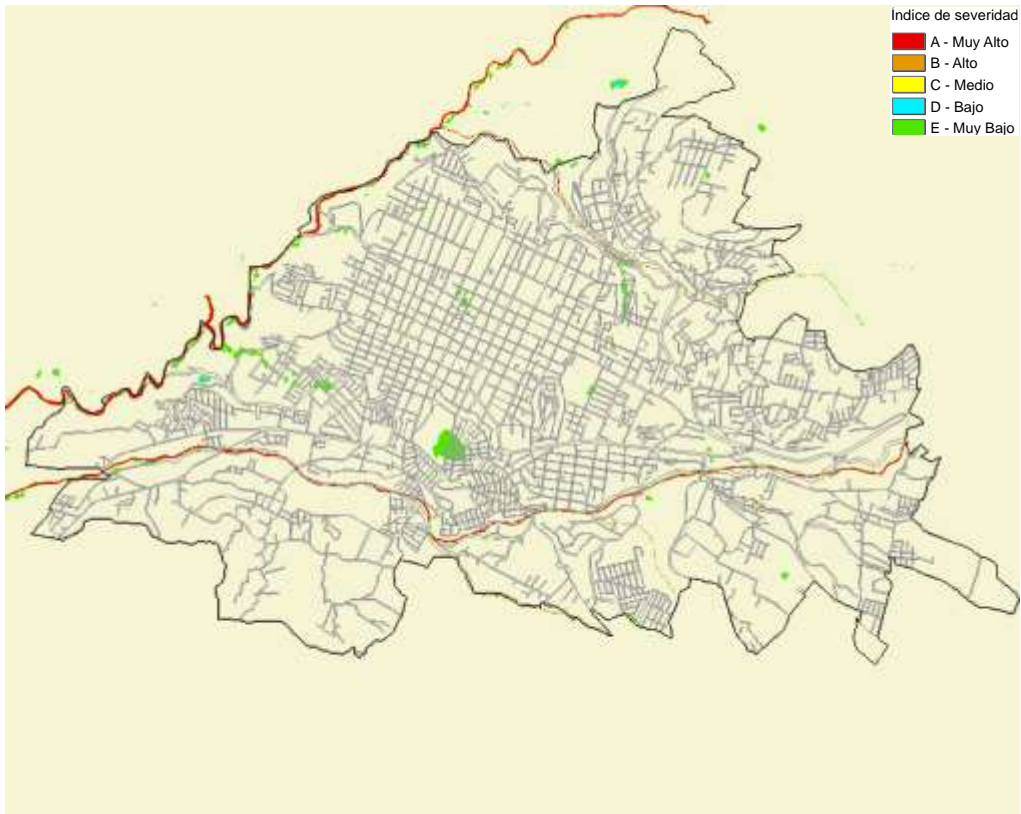


Figura 5.39 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años

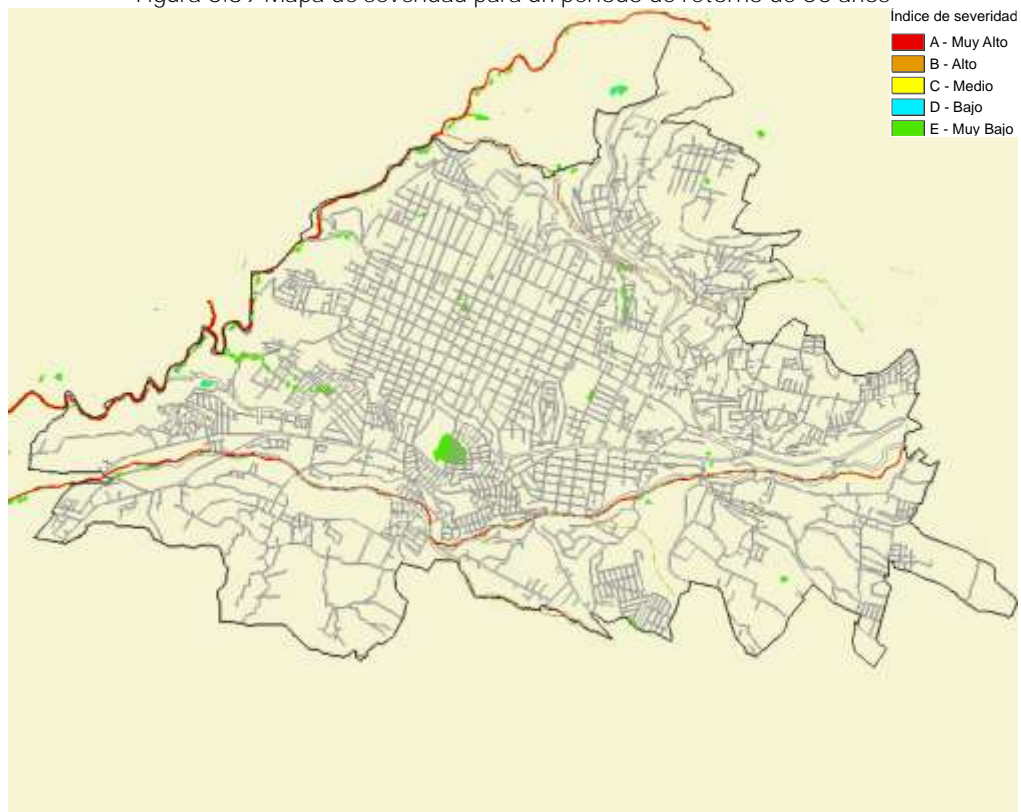


Figura 5.40 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años

Para el periodo de retorno de 2 años, se presentan los niveles de severidad muy baja en la zona centro sur de Zitácuaro en la colonia Independencia producto de la lluvia principalmente, así como en algunas zonas en la parte este, oeste y norte. La severidad baja se presenta sobre sitios muy específicos dentro de la zona urbana debido a inundaciones pluviales por una depresión natural presente en el terreno, siendo más evidente en la zona centro sur en la Unidad Deportiva La Joya.

Para el periodo de retorno de 5 años comienzan a aparecer zonas de severidad baja en la parte oeste a la altura de la colonia Curungueo Las Palmas, además de incrementarse las zonas anteriormente mencionadas.

Las avenidas de diseño de 10 años de retorno producen apenas unas pequeñas zonas de severidad media y alta, muy localizadas en la parte norte. Éstas se encuentran en la zona cercana a los terrenos de la feria y Universidad Pedagógica Nacional.

La avenida de diseño con periodo de retorno de 50 años produce una severidad baja en varias colonias del centro como son José María Morelos, Centro, Moctezuma, Poetas y sobre todo en la colonia Independencia-Lázaro Cárdenas. También las zonas en las colonias antes mencionadas para los periodos de retorno 2, 5 y 10 años se incrementan.

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, sobre todo la parte poniente de la zona urbana.

6. Esquema de seguimiento de la ejecución del programa

Basado en el Programa de Prevención Contra Contingencias Hidráulicas para el Organismo de Cuenca Balsas (1ra. Versión) a continuación se presenta un esquema general en donde las intervenciones reductoras del riesgo de inundación (Medidas no estructurales y estructurales) quedan ubicadas dentro de todo el proceso participativo tanto institucional como de la sociedad, para evitar que sean acciones aisladas dentro de la gestión del riesgo Figura 6.1.

Por otro lado, debido a la poca experiencia que se tiene sobre la implementación de medidas no estructurales, se propone un esquema de seguimiento para que su ejecución se encamine al cumplimiento de objetivos programados, Figura 6.2. Asimismo, se incluye un diagrama que ilustra el seguimiento a una medida estructural (Figura 6.3); pero para fines prácticos en este tipo de medidas, se puede hacer uso de alguna herramienta existente.

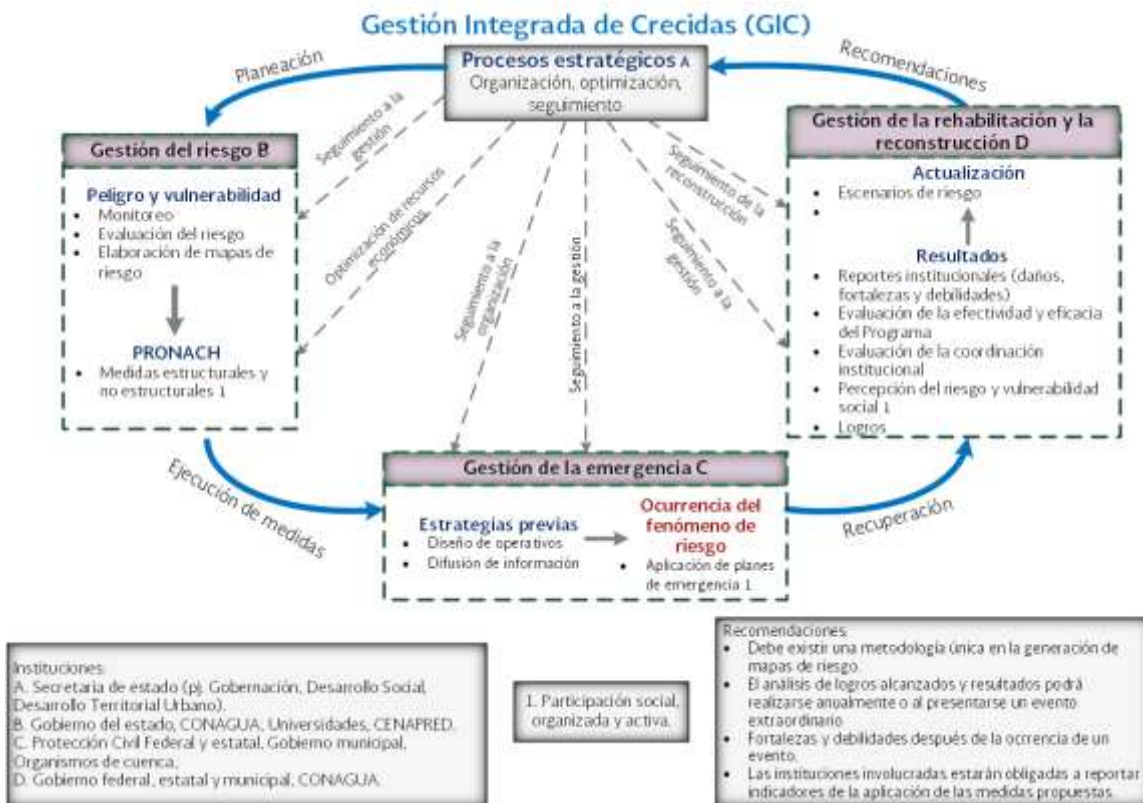


Figura 6.1 Esquema de seguimiento de medidas

6.1 Programas de ejecución de medidas no estructurales

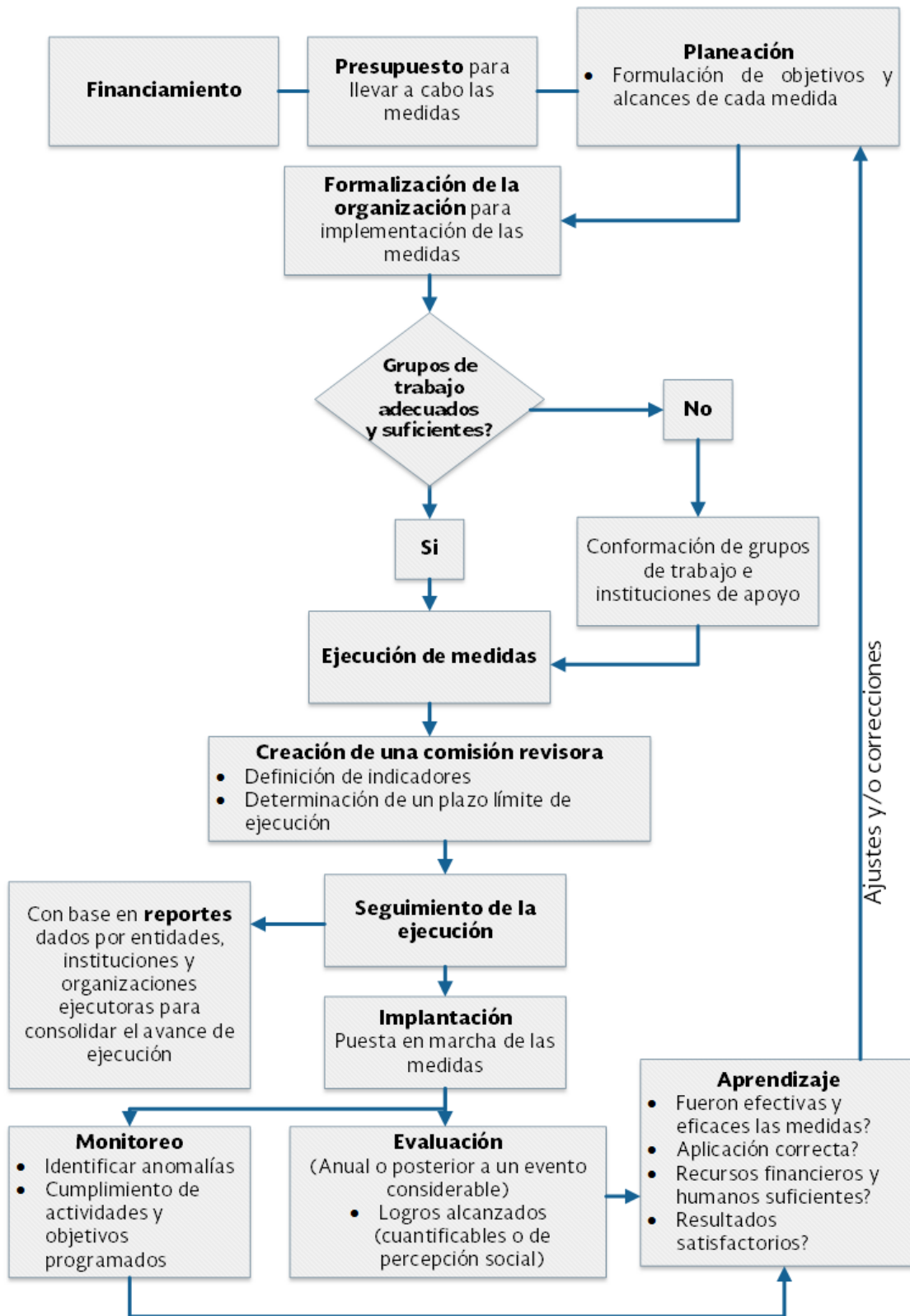


Figura 6.2 Esquema de seguimiento de medidas no estructurales.

6.2 Programas de ejecución de medidas estructurales

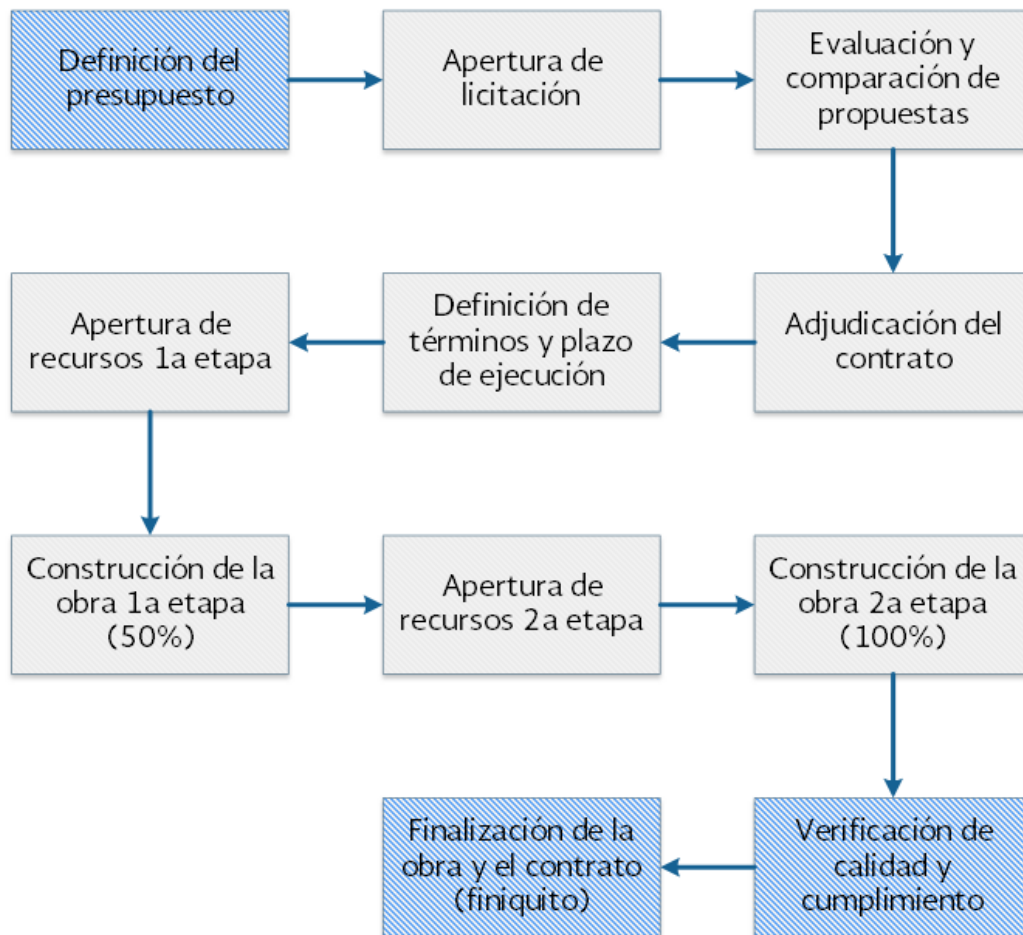


Figura 6.3 Esquema de seguimiento de una medida estructural.

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 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 continua 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.

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/recreat/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

Meyer V. et all.(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

Plan Municipal de Desarrollo 2015-2018. Gobierno Municipal de la Heroica Ciudad de Zitácuaro. Recuperado de: http://www.zitacuaro.gob.mx/2015_2018/ayuntamiento/plandedesarrollo16.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