



MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUPERFICIALES E
INGENIERÍA DE RÍOS**

**PROGRAMAS CONTRA CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS
POR ORGANISMOS DE CUENCA Y PARA LAS
PRINCIPALES CIUDADES DEL PAÍS (ETAPA 1)**

SGT-GASIR-DF-15-OP-01-RF-AD-CC

**PROGRAMA CONTRA CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS PARA
LA ZONA URBANA DE TÉCPAN DE GALEANA, GUERRERO.
REGIÓN HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA V, PACÍFICO
SUR**

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Programa Contra Contingencias Hidráulicas para
la Zona Urbana de Técpan de Galeana, Guerrero

Región Hidrológico-Administrativa V, Pacífico
Sur

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.....	5
2.3 Declaratoria de Desastre Natural por fenómenos hidrometeorológicos.....	9
2.4 Matriz de análisis de la ley estatal de protección civil.....	11
2.5 Instituciones involucradas en la gestión de crecidas.....	13
2.5.1 Internacionales.....	13
2.5.2 Atribuciones de las instituciones involucradas con la atención a fenómenos hidrometeorológicos.....	15
3. Caracterización de la cuenca y de las zonas inundables.....	21
3.1 Identificación de zonas potencialmente inundables.....	21
3.2 Socioeconómica.....	22
3.3 Fisiográfica, meteorológica e hidrológica.....	23
3.3.1 Subcuenca de aportación.....	24
3.3.2 Relieve.....	24
3.3.3 Uso de suelo.....	25
3.3.4 Edafología.....	26
3.3.5 Precipitación.....	28
3.3.6 Escurrimientos.....	30
3.4 Características geomorfológicas de los cauces y planicies de inundación.....	31
3.5 Descripción de inundaciones históricas relevantes.....	34
3.6 Obras de protección contra inundaciones y acciones no estructurales existentes.....	35
3.7 Identificación de actividades actuales en las planicies de inundación.....	37
4. Diagnóstico de las zonas inundables.....	39
4.1 Monitoreo y vigilancia de variables hidrometeorológicas.....	39

4.1.1	Estaciones convencionales.....	40
4.1.2	Estaciones hidrométricas	41
4.1.3	Estaciones automáticas.....	41
4.2	Pronóstico de avenidas y sistemas de alerta temprana	41
4.3	Funcionalidad de las acciones estructurales y no estructurales existentes	42
4.4	Identificación de los actores sociales involucrados en la gestión de crecidas	44
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.....	47
5.	Evaluación de riesgos de inundación	49
5.1	Estimación de caudales y tormentas de entrada al sistema	49
5.1.1	Cálculo de la precipitación media de diseño	49
5.1.2	Construcción de tormentas hipotéticas.....	52
5.2	Modelo hidráulico.....	57
5.2.1	Condiciones de frontera	57
5.2.2	Procesamiento del modelo digital de elevaciones	58
5.2.3	Infraestructura	61
5.3	Simulación en las condiciones actuales	61
5.4	Resultados.....	64
5.5	Análisis de los resultados	70
5.6	Elaboración del mapa de severidad.....	73
	GLOSARIO	79
	REFERENCIAS.....	85

Lista de figuras

Figura 2.1 Gestión integrada de crecidas	4
Figura 3.1 Ubicación.....	21
Figura 3.2 Zonas potencialmente inundables.....	22
Figura 3.3 Zona urbana de Tecpan de Galeana, Guerrero.....	23
Figura 3.4 Subcuencas de aportación	24
Figura 3.5 Relieve	25
Figura 3.6 Uso de suelo.....	26
Figura 3.7 Edafología	27
Figura 3.8 Estaciones climatológicas.....	28
Figura 3.9 Precipitación máxima en 24h por año registradas en las estación climatológicas.....	29
Figura 3.10 EMA's.....	30
Figura 3.11 Estaciones hidrométricas.....	31
Figura 3.12 Ríos principales.....	32
Figura 3.13 Obras de protección	36
Figura 4.1 Marginación en la zona urbana de Técpan de Galeana, Guerrero	46
Figura 5.1 Curva masa de precipitación en 24 horas.....	53
Figura 5.2 Hidrogramas de entrada desde el río Técpan al modelo hidráulico	57
Figura 5.3 Vectores que delimitan el ancho de los ríos	59
Figura 5.4 Extensión del MDE y la zona para simulación hidráulica	60
Figura 5.5 Malla definida para el análisis hidráulico con IBER	61
Figura 5.6 Esquema del modelo hidráulico	63
Figura 5.7 Esquema del modelo hidráulico	63
Figura 5.8 Modelo en IBER donde se indica las condiciones de frontera	64
Figura 5.9 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años	65

Figura 5.10 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 2 años	65
Figura 5.11 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años	66
Figura 5.12 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años	66
Figura 5.13 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años	67
Figura 5.14 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años	67
Figura 5.15 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años	68
Figura 5.16 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años	68
Figura 5.17 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años	69
Figura 5.18 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años.....	69
Figura 5.19 Hidrograma de salida para un $Tr = 2$ años.....	70
Figura 5.20 Hidrograma de salida para un $Tr = 5$ años.....	71
Figura 5.21 Hidrograma de salida para un $Tr = 10$ años.....	71
Figura 5.22 Hidrograma de salida para un $Tr = 50$ años.....	72
Figura 5.23 Hidrograma de salida para un $Tr = 100$ años.....	72
Figura 5.24 Diagrama de Dórrigo, Peterson, 2007	73
Figura 5.25 Código de colores para elaborar mapas de severidades	74
Figura 5.26 Envoltente de tirantes máximos	75
Figura 5.27 Envoltente de velocidades máximas.....	75
Figura 5.28 Mapa de severidad	75
Figura 5.29 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 2 años.....	76
Figura 5.30 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 5 años.....	77
Figura 5.31 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 10 años.....	77

Figura 5.32 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años 78

Figura 5.33 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años 78

Lista de tablas

Tabla 2.1 Tipos de vulnerabilidad.....	7
Tabla 2.2 Estrategias y opciones para la gestión de crecidas	7
Tabla 2.3 Matriz de análisis de la Ley de Protección Civil del Estado de Guerrero.....	12
Tabla 2.4 Ámbito de competencia de las instituciones involucradas	15
Tabla 3.1 Valor del PIB en municipios con mayor generación de PIB.....	23
Tabla 3.2 Subcuencas	24
Tabla 3.3 Uso de suelo	26
Tabla 3.4 Edafología	27
Tabla 3.5 Estaciones climatológicas	28
Tabla 3.6 Características generales de los cauces.....	32
Tabla 3.7 Descripción de los cuatro grupos de suelo.....	33
Tabla 3.8 Valores del número de escurrimiento.....	33
Tabla 4.1 Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (km ² por estación)	39
Tabla 4.2 Superficie de cobertura por estación.....	39
Tabla 4.3 Dimensiones e indicadores del índice de marginación urbana por AGEB, 2010	45
Tabla 4.4 Complemento a las dimensiones consideradas por el IMU.....	46
Tabla 4.5 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Técpan de Galeana, Gro.	47
Tabla 5.1 Distribución de estaciones pluviométricas (más de 20 años completos) en la República Mexicana.....	50
Tabla 5.2 Lluvia máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno (CENAPRED)	51
Tabla 5.3 Lluvia máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno.....	52
Tabla 5.4 Altura de precipitación a cada diez minutos (mm)	53
Tabla 5.5 Intensidad de lluvia a cada diez minutos (mm/hr)	54
Tabla 5.6 Análisis estadístico de escurrimiento en Técpan	55

Tabla 5.7 Datos fisiográficos.....	56
------------------------------------	----

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 daños a la población, a la infraestructura, a los servicios y a los sistemas de producción.

Entre 1980 y 2007, las lluvias intensas afectaron a más de ocho millones de personas y ocasionaron daños económicos superiores a los 130 mil millones de pesos. En este periodo, los ciclones *Stan* e *Isidore* fueron los que afectaron al mayor número de personas, mientras *Emily*, *Stan* y *Gilbert*, ocasionaron los mayores daños económicos.

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. 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, y con ello minimizar los daños provocados por las inundaciones, el Lic. Enrique Peña Nieto – Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos– en enero del 2013, instruyó la puesta en marcha del Programa Nacional de Prevención contra Contingencias Hidráulicas (PRONACH) para proteger a la población, a sus bienes y 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, y como parte de una segunda etapa, 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 Técpan de Galeana, Guerrero*, perteneciente a la Región Hidrológico-Administrativa V, Pacífico Sur. Contiene la caracterización de la zona urbana, considerando los aspectos económicos, sociales y ambientales, el diagnóstico de la problemática existente, 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

Los fenómenos hidrometeorológicos extremos como lluvias torrenciales y ausencia de precipitaciones constituyen componentes de la variabilidad climática que se manifiestan como inundaciones y sequías, y que pueden llegar a causar estragos socioeconómicos y ambientales en diversos grados. Pérdidas de vidas y bienes; migraciones masivas humanas y de animales; degradación del medio ambiente; escasez de alimentos, energía, agua y afectaciones en otras necesidades básicas son ejemplos de ello.

La necesidad de mitigar los efectos de la sequía y 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.

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 elementos centrales, al igual que la creación y el fortalecimiento de instituciones, de mecanismos y de capacidad a todos los niveles.

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.

De acuerdo al documento conceptual “Gestión integrada de crecientes”, No. 1047 en su edición 2009 y al Programa Asociado de Gestión de crecidas (WMO – GWP), plantear los problemas 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.

La Gestión Integrada de Crecientes (GIC) abarca el desarrollo de recursos hídricos y de la tierra en una cuenca fluvial con miras a optimizar los beneficios de las llanuras inundables, reduciendo al mínimo la pérdida de vidas humanas y de bienes. Aplicar la GIRH para conseguir un desarrollo sostenible tiene como objetivo mejorar, de forma duradera, las condiciones de vida de todos los habitantes en un entorno que goce de equilibrio, seguridad y libertad de elección. Este tipo de gestión requiere integrar los

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.

sistemas naturales y humanos, así como los de la gestión de tierras y la explotación de recursos hídricos.

Por otro lado, al igual que la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), la GIC 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. Este esfuerzo de este tipo requiere de la descentralización del proceso de la toma de decisiones y abarca amplias consultas con la población, así como la participación de las partes interesadas en las actividades de planificación y aplicación (Figura 2.1).



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 o anterior 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 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. Sequías, inseguridad alimenticia, temperaturas extremas, inundaciones, incendios forestales, infestaciones de insectos, movimientos de tierra – entre otros– asociados a situaciones de origen hidrológico, granizadas y huracanes, representan una porción significativa de los daños estimados ocasionados por desastres,

lo que significó en 2009 daños por 35,409 millones de dólares, el 85% del total ocasionados por todo tipo de desastres.

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. Para tomar decisiones sobre la priorización apropiada de los esfuerzos de gestión de las inundaciones se 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. 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.

En este contexto, la vulnerabilidad es una variable indispensable en la Gestión integrada de riesgos y se debe entender como la susceptibilidad que tiene la población, infraestructura y actividades económicas, a resultar dañados por el impacto de un evento al estar expuestas, debido a su localización en el área donde ocurre el peligro, por no tener la suficiente resistencia ni capacidad para asimilar el impacto. Se puede clasificar la vulnerabilidad en física, económica, territorial e institucional (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Tipos de vulnerabilidad

Tipo de vulnerabilidad	Componentes
Física	Elementos físicos (infraestructura, instalaciones, plantaciones, equipamiento, etc.), que por sus características presentan debilidad frente a los requerimientos o pruebas del medio natural.
Socioeconómica	Condiciones sociales y económicas caracterizadas por la pobreza, la falta de acceso a la educación, un bajo conocimiento sobre los peligros que les podrían afectar, baja capacidad de reducir los riesgos, y baja o nula capacidad para resistir, protegerse a sí mismos y a sus medios de vida del impacto de los peligros, y para recuperarse luego de los impactos.
Territorial	Condiciones de uso del suelo y de los recursos naturales, dinámicas de ocupación del territorio por las poblaciones, construcción del hábitat y dinámicas socioeconómicas que, por sus características, degradan el territorio, desprotegiéndolo ante los peligros e incrementando el potencial de peligros.
Institucional	Debilidades de conocimiento, organización, planificación, coordinación y decisión de las instituciones públicas y privadas en relación a tomar en sus manos la reducción de riesgos y estar adecuadamente preparadas para responder ante desastres.

Fuente: Comisión Europea, PREDECAN, Comunidad Andina (2008),

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 2.2).

Tabla 2.2 Estrategias y opciones para la gestión de crecidas

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

Estrategia	Opciones
Preservar los recursos naturales de las llanuras de inundación	Seguro contra inundaciones Determinación de zonas y regulación de las planicies de inundación

Fuente: Documento OMM-N°1047

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

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

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

No obstante, para la aplicación efectiva del concepto de GIC en el ámbito urbano, es necesario disponer de un entorno propicio en términos de política, legislación e información; una clara definición de los papeles y las funciones institucionales; e instrumentos de gestión que permitan proceder de forma eficaz a la formulación de normas, seguimiento y cumplimiento de las leyes⁴.

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

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 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 última reforma de la ley vigente de Protección Civil del Estado de Guerrero fue publicada en el periódico oficial del gobierno del estado no. 22, el viernes 16 de marzo de 2007. Con la creación de la Secretaría de Seguridad Pública y Protección Ciudadana, competente para atender la materia de protección civil en el Estado, se realizó una profunda revisión del marco jurídico en la materia, con el propósito de adecuar y perfeccionar los instrumentos jurídicos de la protección civil en el Estado, así como para establecer reglas claras sobre su operación, acordes con la ubicación geográfica del Estado, en donde se registran con frecuencia fenómenos perturbadores que afectan o causan alarma en la población.

Por lo tanto, este nuevo marco jurídico sobre la protección civil en el Estado se plantea como un instrumento más adecuado para hacer frente a esos fenómenos naturales o eventos destructivos y establecer las bases, para que la sociedad y sus autoridades actúen de manera oportuna y eficiente. Un cambio notable es el fortalecimiento del Sistema Estatal de Protección Civil, con el fin de dotarlo de los instrumentos que permitan instrumentar las acciones necesarias para proteger a la población y a la infraestructura urbana, carretera y productiva de eventuales desastres provocados por agentes naturales o humanos. En esta nueva Ley, se plantea como un aspecto fundamental de las atribuciones que se otorgan a las diversas autoridades gubernamentales, el propiciar una cultura de la protección civil y un accionar público permanente, que ponga énfasis en estrategias de carácter preventivo, a través de la capacitación y el adiestramiento de la población en general y de los órganos operativos en la materia, para que se cuente con los instrumentos y la capacidad de afrontar situaciones de emergencia, riesgo y, en su caso, de desastre.

La Ley está orientada para constituir un instrumento de información en la materia que analice, discuta y genere principios, normas, acciones estratégicas y procedimientos en la operación de los cuerpos de protección civil del sector público, social y privado; capacite al personal y dote el equipo necesario, para la prestación de auxilio con el fin de prevenir los riesgos y estar en condiciones ejercer acciones de respuesta ante desastres o emergencias.

Ante situaciones de riesgo o desastre, se instituyó un Centro Estatal de Operaciones, derivado del Consejo Estatal de Protección Civil, integrado por los responsables de las dependencias y oficinas de las administraciones públicas estatal y municipales y, en su caso, las federales, que tengan representaciones en el Estado, así como por integrantes del sector social y privado, cuya participación sea necesaria para el auxilio y recuperación de la población afectada.

En esta nueva Ley también se establece la Unidad Estatal de Protección Civil, encargada de proponer, dirigir, presupuestar, ejecutar y vigilar la protección civil en el Estado, así como de mantener el control operativo de las acciones que en la materia se efectúen, en coordinación con los sectores público, social, privado, en apoyo a las resoluciones que dicten el Consejo Estatal o en el Centro Estatal de Operaciones.

El Programa Estatal de Protección Civil, se concibe como el instrumento de ejecución de las estrategias y acciones de protección en el territorio estatal, en el que se precisan las acciones a realizar, los responsables o encargados y los plazos para su cumplimiento, de conformidad con los recursos, medios disponibles y procedimientos de programación, presupuestación y control correspondientes (Tabla 2.3).

Para los ciudadanos o la sociedad civil organizada, en esta nueva Ley se les otorga la acción civil para denunciar ante la autoridad estatal o municipal, todo hecho o acto que cause o pueda causar riesgos, emergencias o desastres para la población.

Tabla 2.3 Matriz de análisis de la Ley de Protección Civil del Estado de Guerrero

Lo que incluye	Lo que omite
Clasificación de riesgos	Desastres tecnológicos
Declaratoria de emergencia	Transfiere la primera responsabilidad al municipio
Declaratoria de desastre natural	Declaración estado de alerta
Establece PC nivel estatal	Declaratoria de desastre
Establece PC nivel municipal	Publicación de declaratoria de emergencia
Promotor de estudios e investigaciones	Publicación de declaratoria de desastre
Promueve cultura de PC	Declaratoria de fin de emergencia
Coordina apoyos externos nacionales e internacionales	Coordinación con otras entidades
Reconoce grupos voluntarios	Promueve realización de simulacros
Registro de grupos voluntarios	Establece existencia de albergues
Promueve capacitación en PC	Integración Atlas de Riesgo a nivel estatal
Solicitud declaratoria de desastre ante Gobernación	Actualizar el Atlas de Riesgos
Integración Atlas de Riesgo nivel municipal	Requisa
Promueve difusión de programas de PC	Posibilidad de solicitar Plan DNIII-E
Financiamiento institucional	Puede recibir donaciones
Catálogo de recursos humanos	Evaluación expost
Coordinar sistemas de comunicación	Apoyos para reubicación
Revisar y opinar sobre asentamientos humanos irregulares	Programas especiales de PC
Cualquier persona puede denunciar riesgos	Promueve cultura de prevención
Los medios de comunicación obligados a difundir programas de PC	Elaboración de peritajes de causalidad
Fondo estatal o municipal para la atención de desastres	Declaración de área de protección
Las universidades son parte de PC	CONAGUA forma parte del consejo estatal
Centro de operaciones móvil	Otras leyes que toquen temas de PC
Policía ecológica	Posibilidad creación órganos especiales de PC para algún tipo de emergencia
Constancia de factibilidad PC para nuevos asentamientos	Programa de premios y estímulos de PC
	Edad mínima para director de PC
	Rutas de evacuación para discapacitados
	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

Lo que incluye	Lo que omite
	Carta de corresponsabilidad
	Requisitos de medidas de evacuación
	Centros regionales permanentes de PC
	Vigila destino final de desechos sólidos
	Autoridad para decidir ubicación de un refugio temporal
	Declaratoria de zonas de riesgo, para reubicación

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

2.5 Instituciones involucradas en la gestión de crecidas

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

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

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

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

2.5.1 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 la 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.

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

En la Tabla 2.4 se presentan las atribuciones de las instituciones involucradas con la atención a fenómenos hidrometeorológicos en el orden federal.

Tabla 2.4 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,38F VII	Reglamento Interior.- DOF.- 17-10-2011.- Artículo 28 fracción XXXVI. Proponer directivas orientadas a la prevención y control de desastres en asuntos de su competencia.- Artículo 38 fracción VII. Planear, dirigir y coordinar el trabajo de ingenieros en beneficio de la Secretaría y de la población civil, en casos de desastres y demás necesidades públicas.
Secretaría de Marina (SEMAR)	16FX,2FX	Reglamento Interior: DOF.-31-12-2012.- Artículo 16 fracción X.- Corresponde a la Dirección General de Investigación y Desarrollo.- Obtener procesar y difundir información meteorológica y de fenómenos oceánicos y atmosféricos, coordinando lo que proceda con el Servicio Meteorológico Nacional. Ley Orgánica de la Armada de México. DOF 31/12/2012.- Artículo 2 fracción X.- El de realizar actividades de investigación científica, oceanográfica, meteorológica, biológica y de los recursos humanos, actuando por sí sólo o en coordinación con otras instituciones nacionales o extranjeras, o en coordinación con dependencias y entidades de la Administración Pública Federal. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 30 fracción XXI.- Participar y llevar a cabo las acciones que le corresponda dentro

Instituciones	Artículos	Atribuciones
		del marco del Sistema Nacional de Protección Civil para la prevención, auxilio, recuperación y apoyo a la población en situaciones de desastre.
Secretaría de Gobernación.- Comisionado nacional de seguridad.	38FI	Reglamento Interior.- DOF 2-04-2013.- Artículo 38 fracción i.- Proponer al Secretario las Políticas, programas y acciones tendientes a garantizar la seguridad pública de la Nación y de sus habitantes, así como coordinar y supervisar su ejecución e informar sobre sus resultados. Reglamento del Servicio de Protección Federal.-DOF 9/112/2008.- Facultades del Comisionado.- Artículo 10 fracción VIII.- Apoyar la participación de las instituciones públicas federales en la implementación de programas de vigilancia y custodia, protección civil y prevención del delito, en los términos de las disposiciones aplicables.
Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP)	6FIV, 31FI	Reglamento interior. Artículo 6 fracción IV.- Coordinar, conjuntamente con la Secretaría de Desarrollo Social en el ámbito de su competencia, el otorgamiento de las autorizaciones de acciones e inversiones convenidas con los gobiernos locales y municipales tratándose de planeación nacional y regional. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 31 fracción XVI.- Normar, autorizar y evaluar los programas de inversión pública de la Administración Pública Federal.
Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)	18 FI	Fracción I. Realizar la planeación necesaria para configurar estrategias, programas, proyectos y acciones para el desarrollo social.
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	31FXI, XXI	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 32 BIS fracción XI.- Evaluar y dictaminar las manifestaciones de impacto ambiental de proyectos de desarrollo que le presenten las Secretarías públicas sociales y privadas, resolver sobre los estudios de riesgo ambiental, así como sobre los programas para la prevención de accidentes con incidencia ecológica . Fracción XXI.- Dirigir los estudios, trabajos y servicios meteorológicos, climáticos, hidrológicos y geohidrológicos, así como el Sistema Meteorológico Nacional, y participar en los convenios internacionales sobre la materia.
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 Urbano y 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, adicionados 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

Instituciones	Artículos	Atribuciones
		acerca de las condiciones y problemas nacionales, y extender con la mayor amplitud posible, los beneficios de la cultura.
Cruz Roja Mexicana	2. 8	Decreto presidencial del 21 de febrero de 1910, en su estatuto, artículo 2 inciso 8) el de proponer a mejorar la salud, prevenir las enfermedades y aliviar los sufrimientos espirituales y corporales, desarrollando al efecto toda acción humanitaria tendiente a estos fines, de acuerdo con sus posibilidades, las leyes y demás disposiciones legales vigentes en el país. La Cruz Roja debe considerar como auxiliar de los poderes públicos, la conformidad con el Convenio de Ginebra del 6 de julio de 1908, con el decreto firmado por el Presidente de los Estados Unidos Mexicanos el 21 de febrero de 1910.
Bomberos	3FVI	Señala que por auxilio se entenderá a las acciones destinadas primordialmente a salvaguardar la vida de las personas, sus bienes y la planta productiva y a preservar los servicios públicos y el medio ambiente, ante la presencia de un agente destructivo, en donde los agentes destructivos son los fenómenos de carácter hidrometeorológico que puede producir riego, emergencias o desastres. Para efectos de la presente Ley que nos ocupa, los cuerpos de seguridad pública en los Estados de la República Mexicana, por lo 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

La zona urbana de Tépán de Galeana, está ubicada en la Región Hidrológica Número 19, Costa Grande de Guerrero, dentro de la R. H. Administrativa No. V Pacífico Sur, se encuentra ubicada al sur del estado de Guerrero aproximadamente a 100 km al norponiente de la ciudad de Acapulco, casi la totalidad de la cuenca tributaria pertenece al municipio de Tépán y una menor proporción al municipio de Atoyac de Álvarez (Figura 3.1). Se ubica al suroeste de Chilpancingo, entre las coordenadas 17°06'57" y 17°41'33" de latitud norte y los 100°27'11" y 101°04'59" de longitud oeste.

Limita al norte con Ajuchitlán y Coyuca de Catalán, al sur con el océano Pacífico, al este con Atoyac, San Miguel Totolapan y Benito Juárez y al oeste con Petatlán.

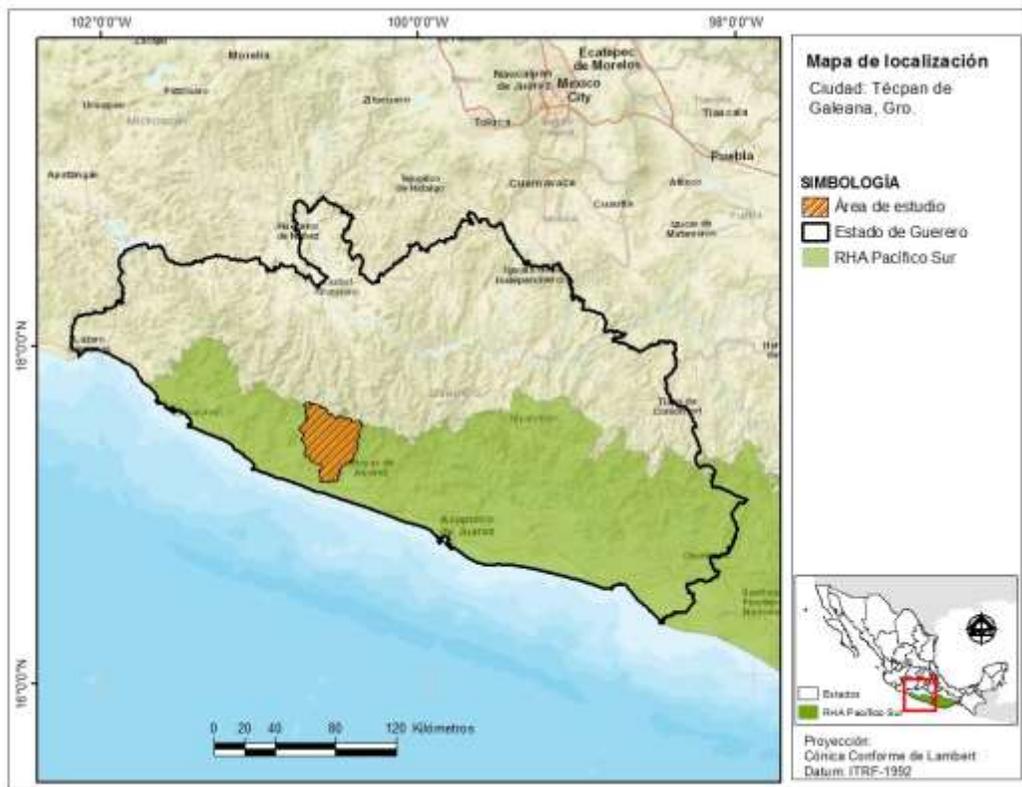


Figura 3.1 Ubicación

3.1 Identificación de zonas potencialmente inundables

De acuerdo con el Mapa Nacional de Índice de Inundación⁵ la zona urbana de Tépán de Galeana, está dividida por el río Tépán, el cual puede producir inundaciones en ambos márgenes del río, al sur todavía dentro de la mancha urbana confluye al río Tecpan el cauce denominado Juquiaqui que también puede producir desbordamientos con las consecuentes inundaciones.

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. 1, núm. 2, abril-junio de 2010, pp. 73-85.

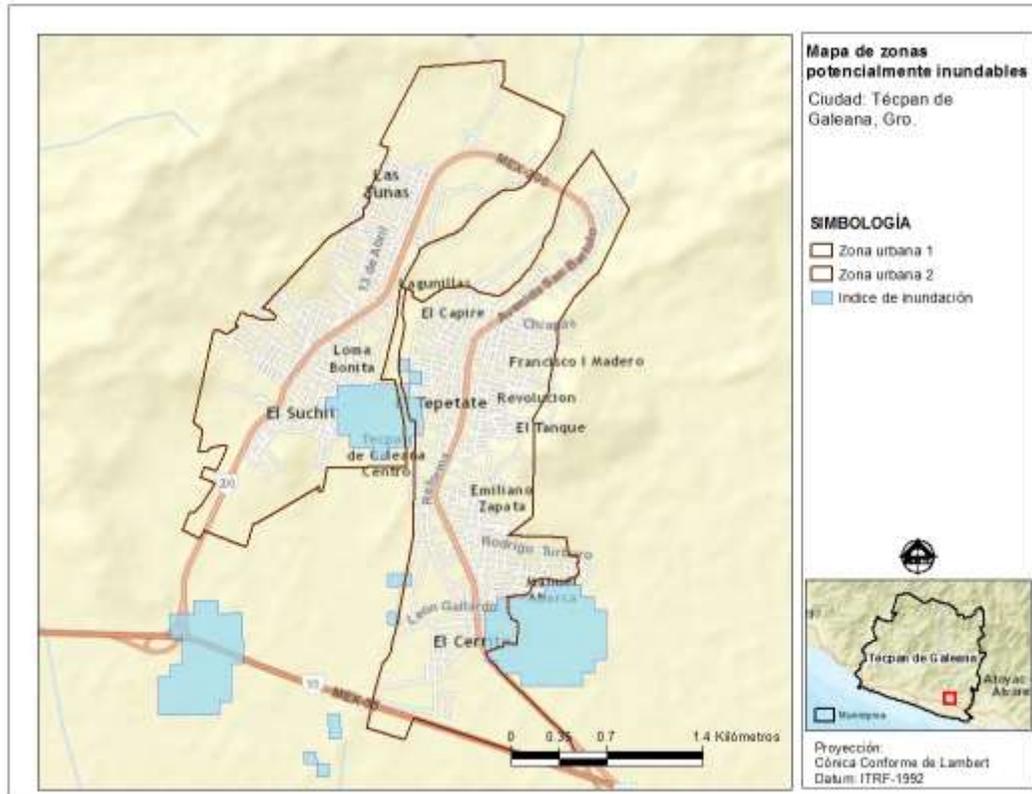


Figura 3.2 Zonas potencialmente inundables

El mapa de la Figura 3.2 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.

3.2 Socioeconómica

Tépcan de Galeana es una ciudad mexicana del estado de Guerrero, ubicada en la región de la Costa Grande de dicha entidad. Es cabecera del municipio homónimo. De acuerdo a los datos del Censo de Población y Vivienda 2010, la ciudad cuenta con una población de 15119 habitantes, de los cuales 1507 son menores de 5 años y 1941 mayores de 60. Se contabilizan 483 personas con capacidades limitadas. En relación a la escolaridad, el grado promedio es de 8.06 años. La población económicamente activa asciende a 6,555 habitantes, y en materia de salud 6,610 no tienen derecho a servicios de salud. Del total de viviendas –5,156– 373 tienen piso de tierra y 3,924 cuentan con servicios.

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.

El municipio de Tépán de Galeana se encuentra entre los primeros municipios con mayor aportación de PIB dentro del estado de Guerrero, después de Acapulco y Zihuatanejo.

Tabla 3.1 Valor del PIB en municipios con mayor generación de PIB

Municipio	PIB (millones de pesos)
Acapulco de Juárez	63,644.90
Zihuatanejo de Azueta	51,838.01
Chilapa de Álvarez	1,838.24
Tépán de Galeana	1,377.11

Fuente: Sistema Nacional de Información del Agua 2012 e INEGI 2010

3.3 Fisiográfica, meteorológica e hidrológica

El área de simulación hidráulica de los desbordamientos se limita a la zona urbana de la localidad, es un poblado ubicado cerca de la desembocadura al mar, con una cota promedio de 35 msnm, extensión de aproximadamente 140 ha (Figura 3.3).

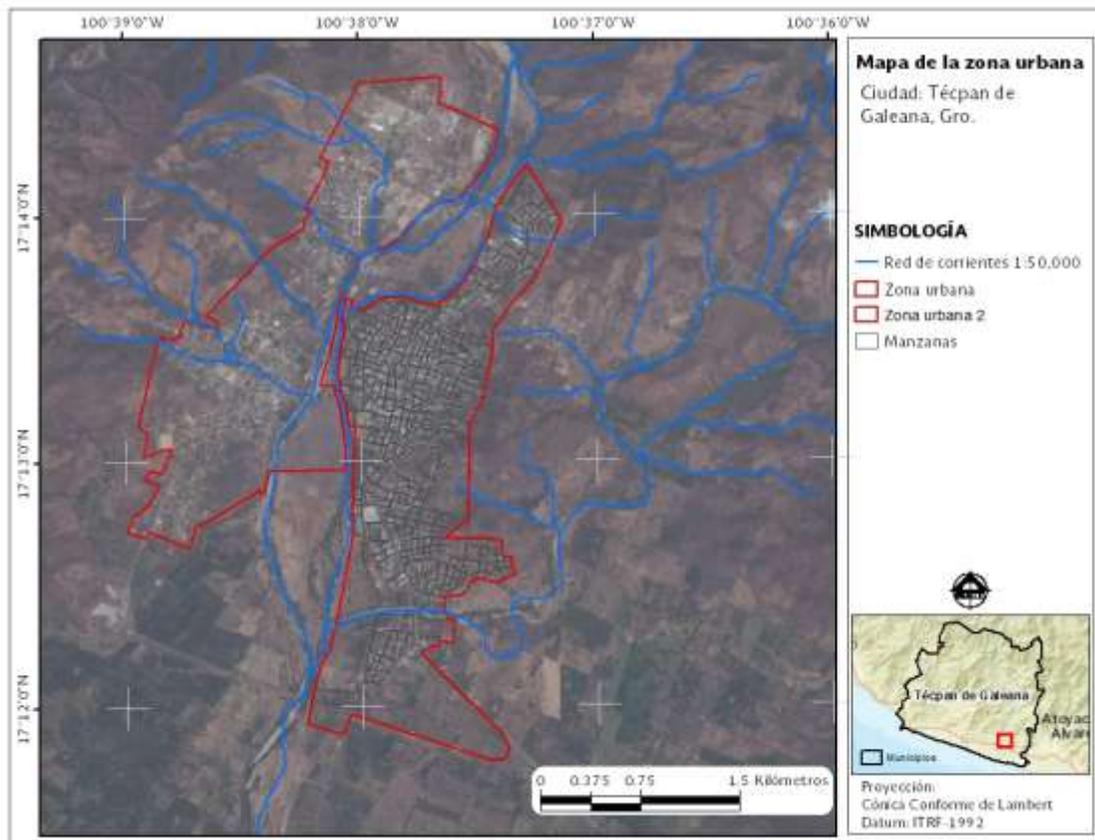


Figura 3.3 Zona urbana de Tecpan de Galeana, Guerrero.

3.3.1 Subcuenca de aportación

Para estimar el riesgo de inundación en la zona urbana de Técuán, se delimitaron las cuencas de aportación, encontrándose solo dos corrientes principales, una que atraviesa la localidad de norte a sur y otra que entra al sur de la misma desde el nor-oriente, la principal corriente es la corriente que llega por el norte de la ciudad y corresponde al río Técuán.

De acuerdo con la subdivisión hidrográfica de INEGI, la subcuenca de aportación del río Técuán, pertenece a la cuenca del Río Atoyac y otros. (Figura 3.4)

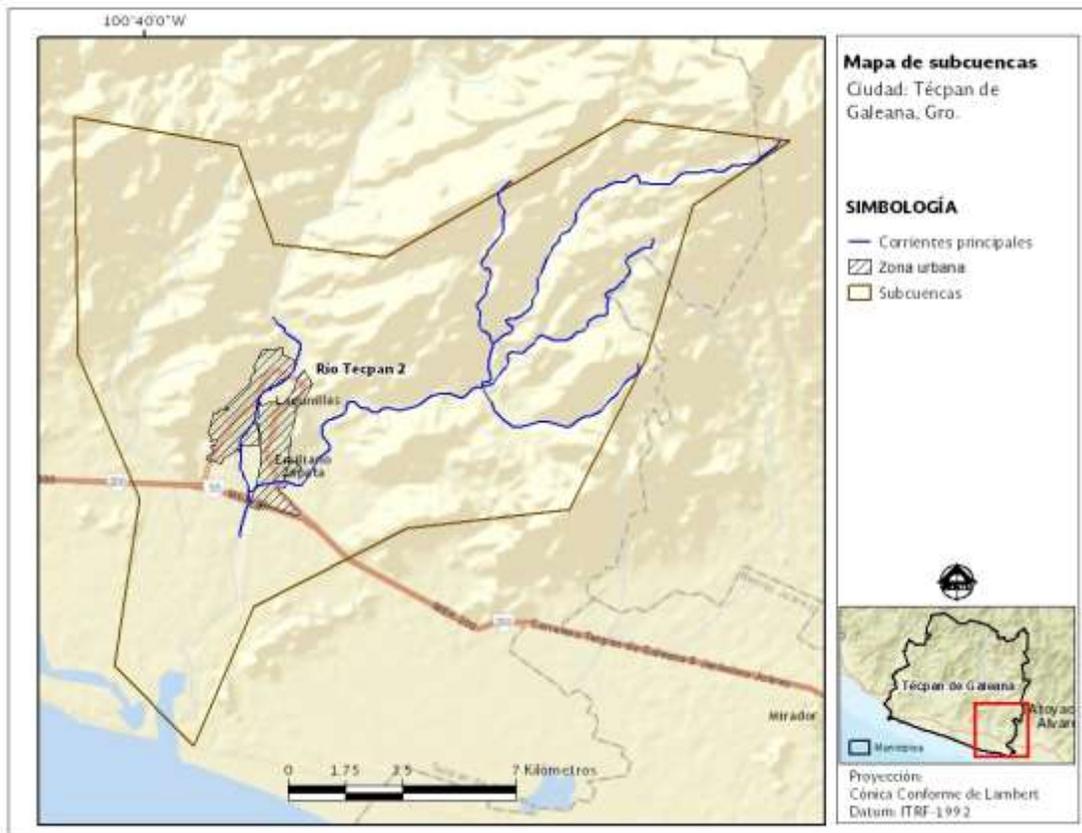


Figura 3.4 Subcuencas de aportación

Tabla 3.2 Subcuencas

Subcuenca	Área (Km ²)
R. Técuán	1313.79

3.3.2 Relieve

La cuenca de aportación del río Técuán inicia en la cima de la Sierra Madre del Sur en su vertiente hacia el Océano Pacífico, la cota más alta del parteaguas es de 2922 msnm, su

desembocadura al mar es aproximadamente a 8500 metros aguas abajo de la localidad de Tépán que tiene cotas mínimas a una altura de 20 msnm.

La mayor parte del territorio del municipio (aproximadamente un 74%) está conformada por zonas accidentadas localizadas en la sierra Madre del Sur, las cuales están cubiertas por bosques forestales; un 11 % del territorio son zonas semiplanas localizadas en la parte donde se inicia la montaña, formadas por lomeríos donde se ubican pequeñas áreas cultivables y finalmente el 15 % restante es de zonas planas localizadas en la superficie municipal, conocida como faja costera la cual tiene una longitud de 75 kilómetros aproximadamente y una amplitud de 12 kilómetros cuadrados.

Entre sus principales elevaciones destacan los cerros de la Loma, Llorón, Letrados y Severiana.

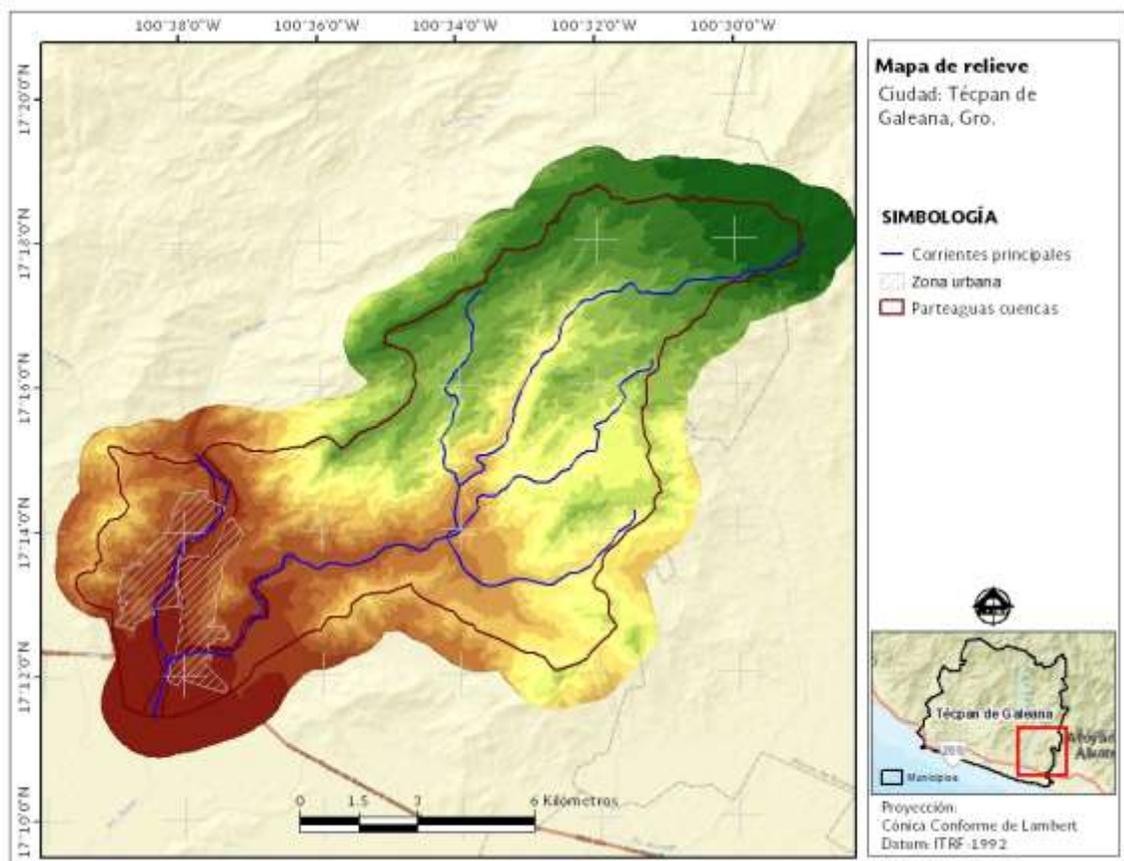


Figura 3.5 Relieve

3.3.3 Uso de suelo

Dentro de las subcuencas de aportación se ha incrementado se puede destacar que se ha incrementado el área urbana, en la Figura 3.6 es evidente que el contorno de la zona urbana de Tépán es mayor que la señalada en la clasificación de usos del suelo, en este sentido, el crecimiento de la mancha urbana le ha ganado terreno a la selva. El mayor porcentaje de la cuenca de aportación tiene uso de suelo de bosque con 66% ubicado en la cuenca alta, le sigue la selva con 19% y la selva - área agrícola con 14%, las zonas de

pastizal y agrícola tienen un menor porcentaje y al final, con una tendencia al crecimiento está la zona urbana con aproximadamente el 0.3%

Se debe destacar que aguas arriba de la zona urbana, hay una importante zona de selva y selva – área agrícola que produce se encuentran en prácticamente en toda la subcuenca 7 (Río Seco), así como en la periferia de la zona urbana, lo cual provoca una gran cantidad de arrastre de sedimentos al cauce lo cual se puede apreciar en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Uso de suelo

Uso de suelo	Área actual (km ²)	Porcentaje del área total (%)
Agrícola	37.73	26.15
Bosque de Coníferas	104.03	72.09
Matorral Xerófilo	2.46	1.70
Suelo Urbano	0.07	0.05
Vegetación Inducida	0.01	0.01
Total	144.30	100.00

Fuente: Elaborado a partir de INEGI. Carta de Uso Actual del Suelo y vegetación Serie IV. México, 2010.

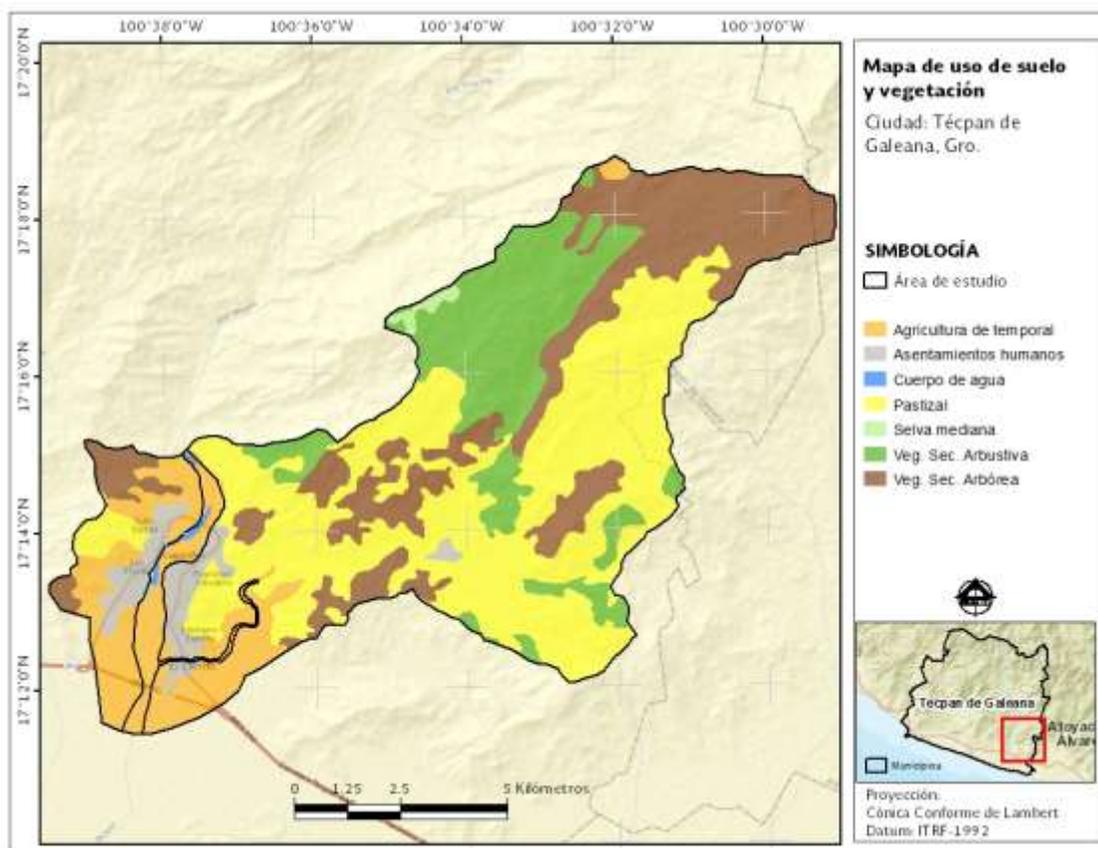


Figura 3.6 Uso de suelo

3.3.4 Edafología

Los suelos con mayor predominio en la zona de estudio es el Cambisol (59.03%) que permiten un amplio rango de posibles usos agrícolas seguido de los Luvisoles (16.38%),

en menor proporción hay Leptosol, Ferralsoles, Podzoles y otros (Tabla 3.4). como se observa en la Figura 3.7, el suelo predominante en la zona de estudio

El término Luvisol, del latin 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 Cambisol deriva del vocablo latino "cambiare" que significa cambiar, haciendo alusión al principio de diferenciación de horizontes manifestado por cambios en el color, la estructura o el lavado de carbonatos, entre otros. Los Cambisoles se desarrollan sobre materiales de alteración procedentes de un amplio abanico de rocas, entre ellos destacan los depósitos de carácter eólico, aluvial o coluvial. Aparecen sobre todas las morfologías, climas y tipos de vegetación. Sus principales limitaciones están asociadas a la topografía, bajo espesor, pedregosidad o bajo contenido en bases. En zonas de elevada pendiente su uso queda reducido al forestal.

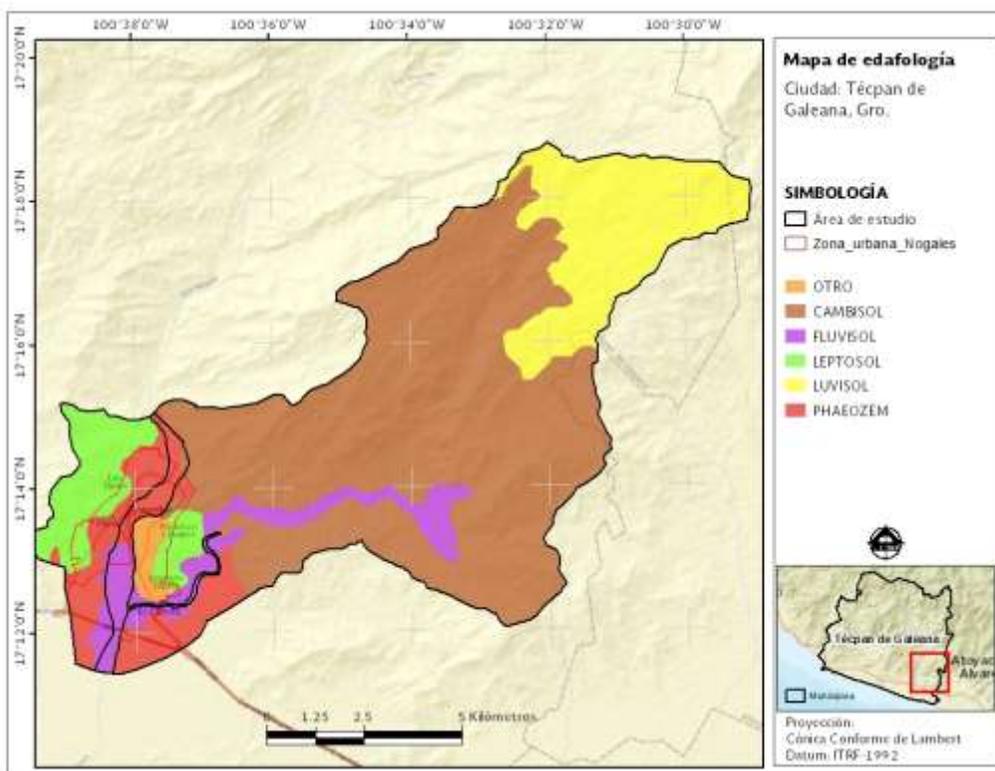


Figura 3.7 Edafología

Tabla 3.4 Edafología

Suelo primario	Área (km ²)	%	Tipo
CAMBISOL	65.31	59.82	D
FLUVISOL	8.15	7.47	B
LEPTOSOL	8.16	7.48	D

Suelo primario	Área (km ²)	%	Tipo
LUVISOL	18.12	16.60	D
PHAEOZEM	9.42	8.63	C
Total	109.17	100.00	

Fuente: Elaborado a partir de: INEGI serie II, 2002 -2007, Edafología.

3.3.5 Precipitación

Se localizaron 10 estaciones climatológicas dentro de la zona de estudio y lugares cercanos (Figura 3.8), dos de ellas no operan actualmente, la estación principal es Arroyo Frio con un registro que data desde 1965 que produce 50 años de registro, mientras las estaciones con el menor número de registros tienen más de 30 años de información. (Tabla 3.5).

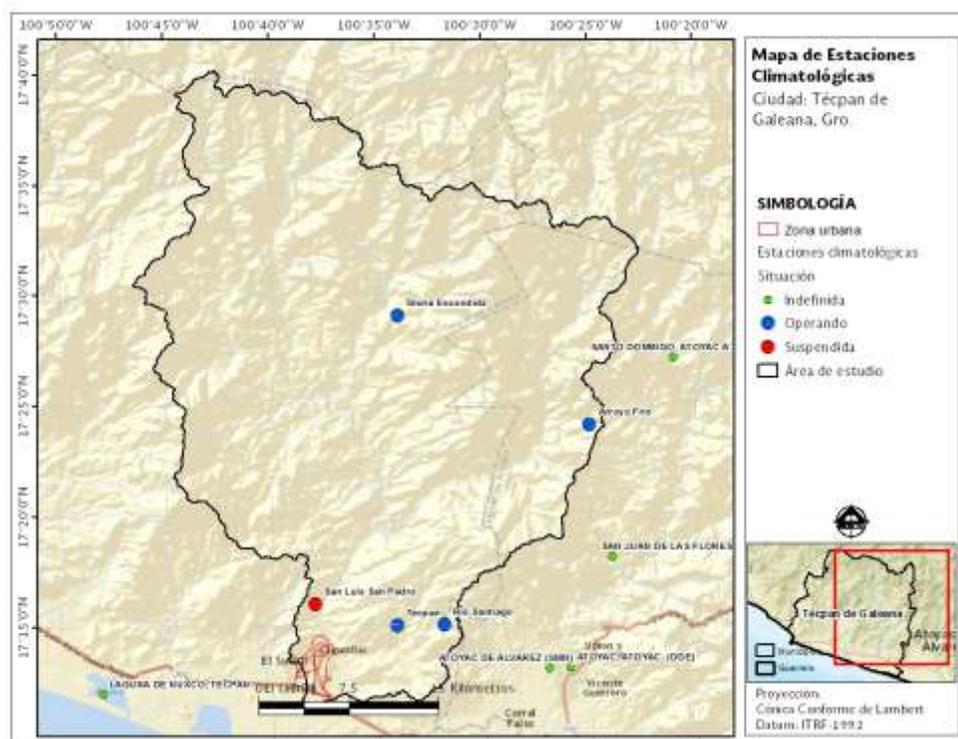


Figura 3.8 Estaciones climatológicas

Tabla 3.5 Estaciones climatológicas

Clave	Nombre	Situación (CLICOM)	Periodo inicio	Periodo Fin	Años con información	Años completos
12009	Arroyo Frio	Operando	1965-5	2014-7	50	37
12011	Atoyac de Álvarez (SMN)	Suspendida	1960-1	1988-1	28	20
12042	Gloria Escondida	Operando	1965-8	2014-6	49	34
12069	San Juan de las Flores	Operando	1965-8	2014-7	49	34
12070	San Luis San Pedro	Suspendida	1960-1	1993-8	32	25
12079	Santo Domingo, Atoyac A.	Operando	1961-12	2014-5	52	32
12158	Río Santiago	Operando	1972-12	2014-7	43	22
12161	Atoyac, Atoyac	Operando	1975-2	2014-6	40	33

Clave	Nombre	Situación (CLICOM)	Periodo inicio	Periodo Fin	Años con información	Años completos
	(DGE)					
12221	Laguna de Nuxco, Tecpan	Operando	1981-9	2014-7	33	24
12233	Tecpan	Operando	1982-11	2014-7	33	18

De acuerdo a Figura 3.8 las estaciones 12070, 12221 y 12233 son las que se ubican cerca de la zona de estudio, por lo que en la Figura 3.9 se muestran gráficamente los máximo de precipitación en 24 h registrados en cada una de ellas.

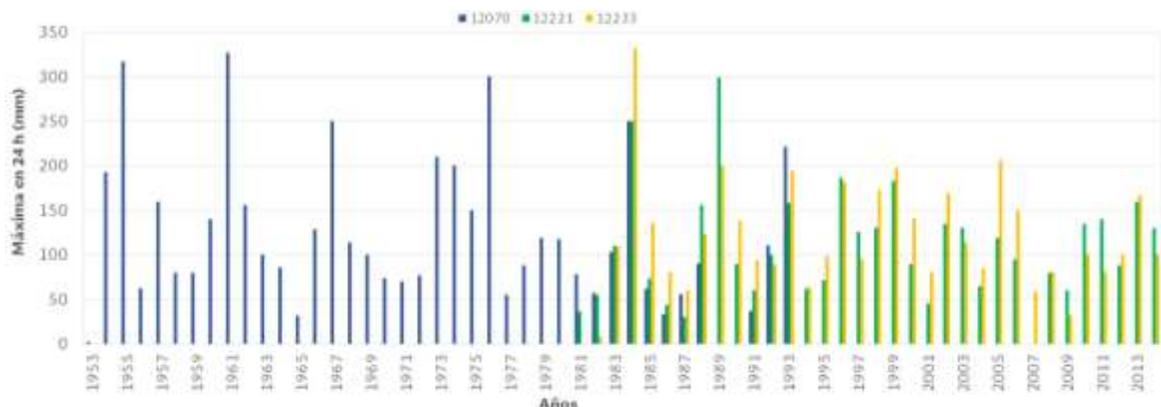


Figura 3.9 Precipitación máxima en 24h por año registradas en las estación climatológicas

Por otro lado, la zona urbana de Tecpan de Galeana cuenta con una estación meteorológica automática, la cual esta propiamente dentro de la zona urbana con registros de 2011 a 2014 los cuales fueron analizados y utilizados para definir la forma de la tormenta hipotética para la zona (Figura 3.10).

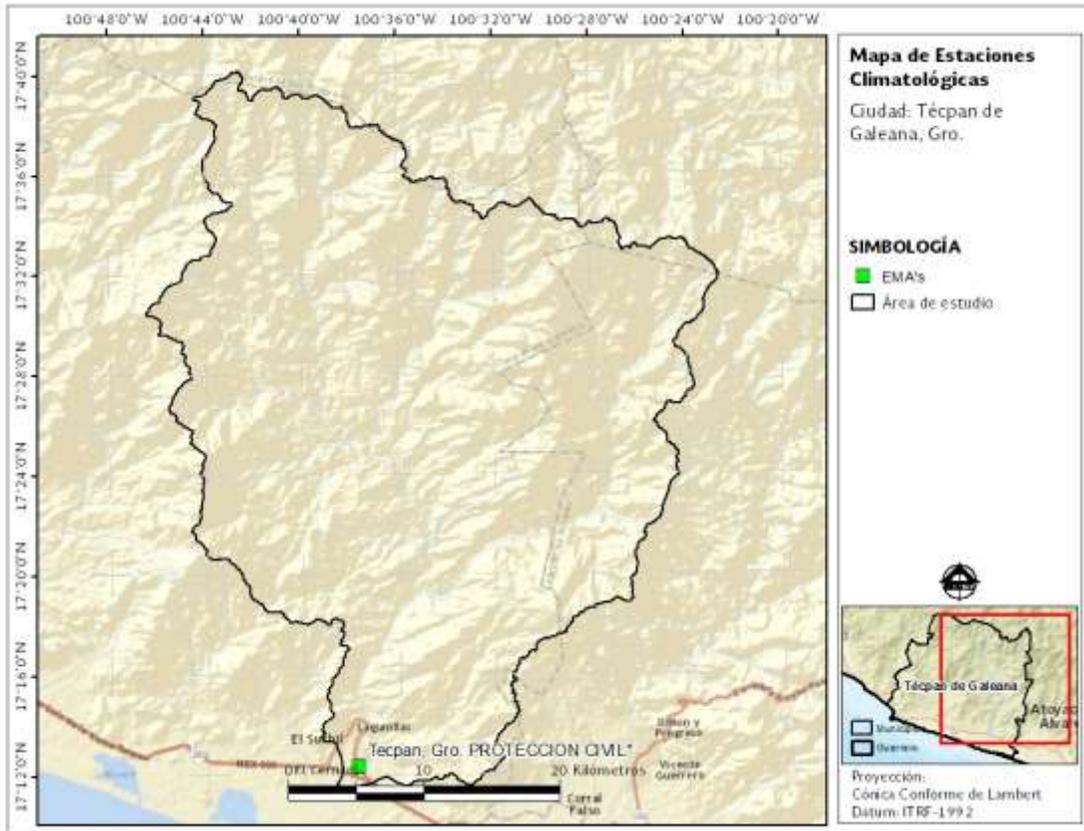


Figura 3.10 EMA's

3.3.6 Escurremientos

Como se observa en la Figura 3.11, aguas arriba de la zona urbana se localiza la estación hidrométrica Tecpan, que es la única que permite aforar la cuenca en el río Tecpan, la otra corriente importante que pasa por la zona urbana no está aforada.

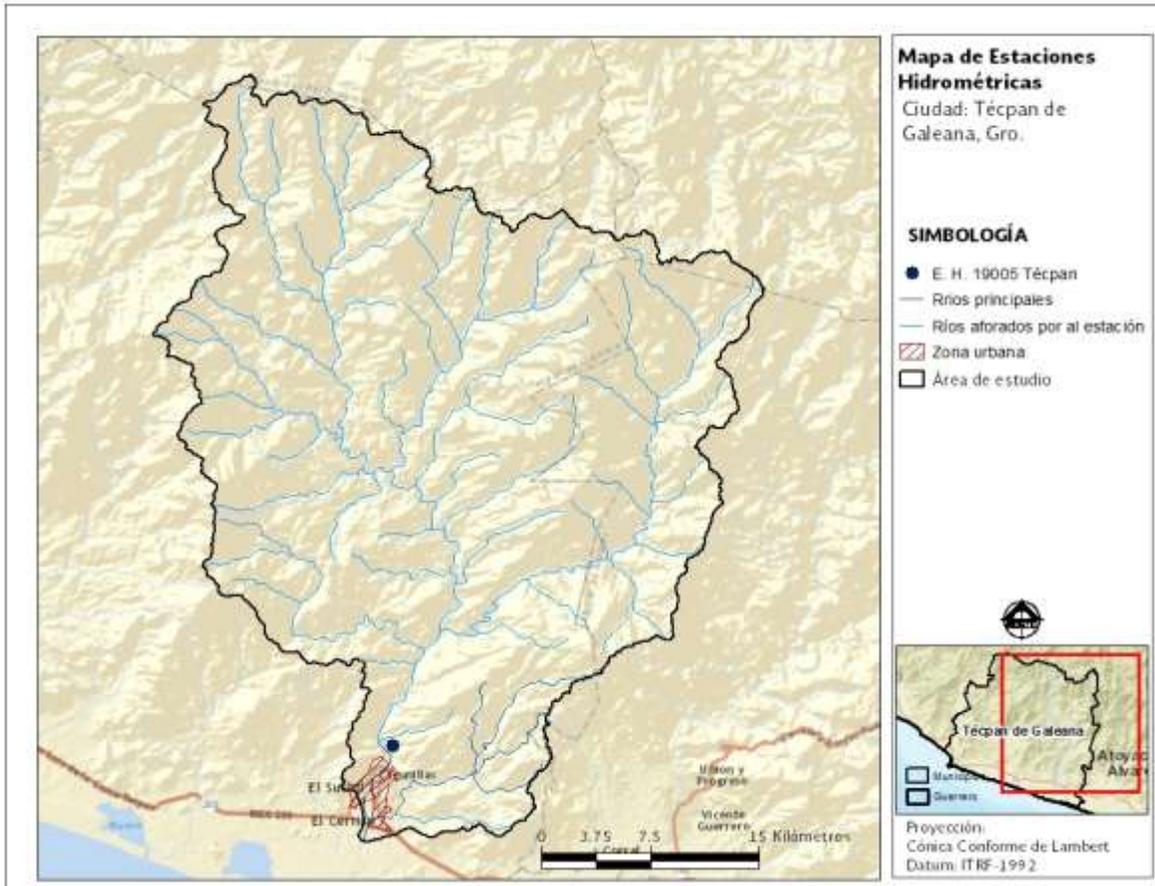


Figura 3.11 Estaciones hidrométricas

La estación hidrométrica 19005 Tépán de Galeana cuenta con registros horarios a partir de 1953 a 2008, por lo que dichos registros se utilizaron para identificar la avenida característica de la zona que se utilizará en la modelación.

3.4 Características geomorfológicas de los cauces y planicies de inundación

Los ríos principales que cruzan la zona urbana son el Río Tépán y el Arroyo Juquiaqui. El primero lo hace de norte a sur al cual confluye el segundo todavía dentro de la zona urbana, (Figura 3.12).

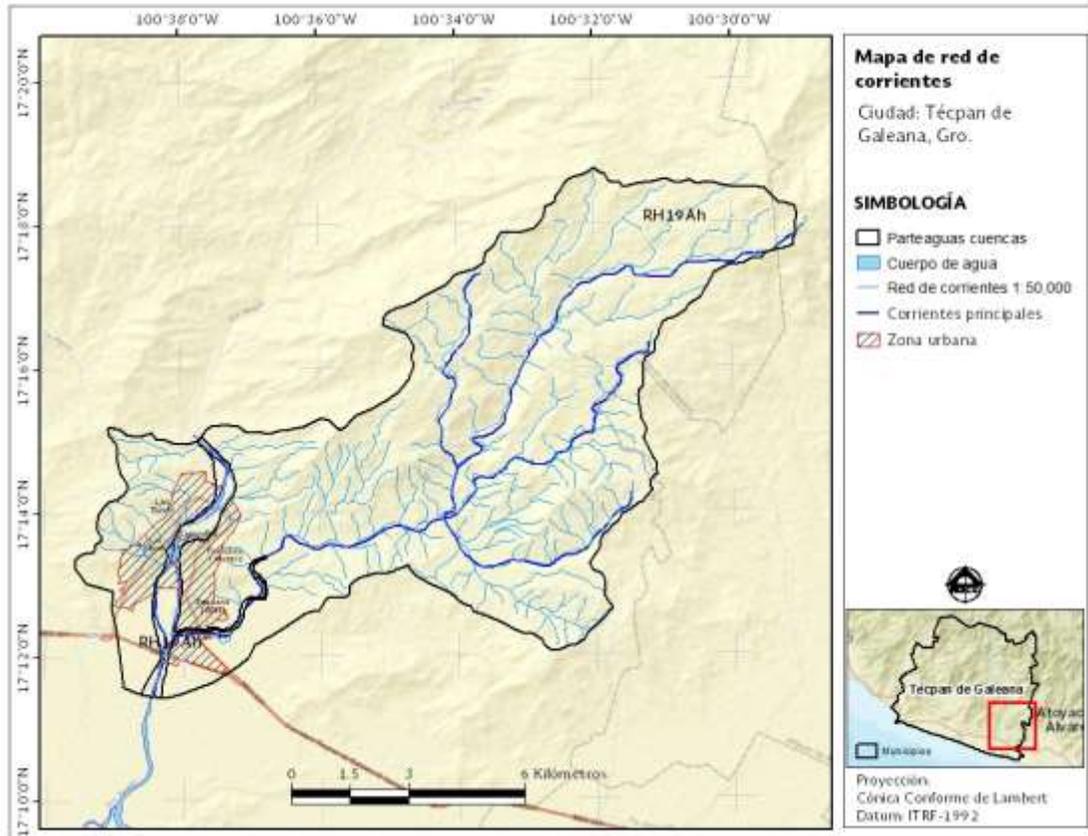


Figura 3.12 Ríos principales

Para la estimación del escurrimiento en la cuenca, se aplicó el método de los números de escurrimiento, el cual depende exclusivamente del uso del suelo y cobertura vegetal, y del tipo de suelo. Una vez determinados los números de escurrimiento se procedió a calcular la precipitación efectiva.

Tabla 3.6 Características generales de los cauces

Río	Longitud del cauce principal (m)	Elevación máxima (msnm)	Elevación mínima (msnm)	DH	Pendiente (Si)	Área (km ²)	Tc (h)	N
Juquiaqui	26,452	1,334.44	5		0.050	86.74	2.57	82

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

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

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

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

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

Tabla 3.7 Descripción de los cuatro grupos de suelo

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

De acuerdo con la cobertura vegetal y uso de suelo se definieron los valores del número de escurrimiento N para cada grupo de suelo (Tabla 3.8), esto de acuerdo con las referencias bibliográficas y la experiencia.

Tabla 3.8 Valores del número de escurrimiento

Cobertura vegetal o uso del suelo	Grupo de suelo			
	A	B	C	D
Agrícola-Pecuaria	49	69	79	84
Agrícola-pecuaria-forestal	49	69	79	84
Agricultura de riego	62	71	78	81
Agricultura de temporal	67	78	85	89
Agua	90	90	90	90
Área sin vegetación	77	86	90	92
Asentamientos humanos	79	86	90	92
Bosque de Ayarín	40	62	76	81
Bosque de coníferas	36	55	70	77
Bosque de encino	36	60	73	79
Bosque de encino pino	36	60	73	79
Bosque de oyamel	36	55	70	77
Bosque de pino	40	62	76	81
Bosque de pino-encino	36	60	74	80
Bosque de Tásate	37	60	71	78
Bosque Latifoliado	26	52	62	69
Bosque mesófilo de montaña	36	60	70	77
Chaparral	50	69	79	84
Complementaria	30	58	71	78
Cuerpo de agua	95	95	95	95
Desprovisto de vegetación	77	86	90	92
Humedal con Bosque	36	60	70	77
Manglar	36	60	70	77
Matorral desértico microfilo	50	69	79	84
Matorral desértico rosetófilo	50	69	79	84

Cobertura vegetal o uso del suelo	Grupo de suelo			
	A	B	C	D
Matorral xerofilo	48	67	77	83
Otros tipos de vegetacion	50	69	79	84
Palmar inducido	76	85	88	90
Pastizal	48	67	77	83
Pastizal Cultivado	25	59	75	83
Pastizal Hallofilio	48	67	77	83
Pastizal inducido	25	59	75	83
Pastos Naturales	49	69	79	84
Popal	87	89	92	94
Sabana	39	61	74	80
Selva alta perennifolia	36	60	70	77
Selva alta Superennifolia	36	60	70	77
Selva baja caducifolia	39	63	74	80
Selva baja perennifolia	46	68	78	84
Selva baja subcaducifolia	39	63	74	80
Selva baja subperennifolia	36	60	70	77
Selva caducifolia	39	61	74	80
Selva mediana subcaducifolia	39	63	74	80
Selva mediana subperennifolia	39	63	74	80
Semi -Urbanizado	79	86	90	92
Sin vegetación aparente	68	79	86	89
Tular	90	90	90	90
Vegetacion inducida	50	69	79	84
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	40	62	76	81
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	40	62	76	81
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	40	62	76	81
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	40	62	76	81
Zona Urbana	79	86	91	94

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, el cual en promedio es de 82.

3.5 Descripción de inundaciones históricas relevantes

El estado de Guerrero tiene una precipitación media anual de 1,151 mm, persiste la fuerte presencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos con fuertes precipitaciones, que podrían incrementarse debido a la gran variabilidad del clima, afectando directamente a las poblaciones costeras como Ometepec, San Marcos, Cuajinicuilapa en la Costa Chica; Coyuca de Benítez, Atoyac, San Jerónimo, Tecpan de Galeana en la Costa Grande, por citar algunas, algunos puntos específicos como las regiones turísticas de Acapulco e Ixtapa-Zihuatanejo, y poblaciones importantes como: Chilpancingo, en general, las zonas de producción agrícola como los Distritos y Unidades de Riego.

Entre los ríos más importantes que recorren el municipio figuran: Tépán, Nuxco, Zihuatlán, Grande o San Luis; se localizan también las lagunas de Nuxco y El Plan. Debido a su situación geográfica, el estado de Guerrero se encuentra expuesto a sufrir las consecuencias y afectaciones ocasionadas por la presencia de fenómenos

hidrometeorológicos extremos durante la temporada de lluvias, y por la presencia de lluvias atípicas.

En el periodo 1921-1996, varios huracanes tocaron la costa de Acapulco, Guerrero, en el Océano Pacífico, entre ellos el ciclón No. 6, de septiembre 21-23 de 1921, el ciclón No. 4, del 20-26 de agosto de 1935, Tara del 10-11 de noviembre de 1961, Wally del 17-18 de junio de 1965, Berenice del 23-25 y Claudia, 27-29 de junio de 1973, que causaron pérdidas humanas y económicas; como Tara, que originó la muerte de 400 personas en la zona de Tecpan de Galeana, Guerrero, produjo el desbordamiento del río Camarón, inundaciones en La Sabana, Tres Palos y la costera Miguel Alemán, en Acapulco, y causó daños económicos por más de 10 millones de pesos en todo el estado (Matías, 1998).

Con base en fuentes hemerográficas se obtuvo información sobre inundaciones históricas en la zona urbana de Tecpan de Galeana. En junio de 1996 el huracán Boris deja 7 mil damnificados en Tecpan. Las comunidades de Nuxco y Xochitán resultaron totalmente inundadas, diez comunidades afectadas, y un número indeterminado de muertos, desaparecidos y heridos, de acuerdo con un boletín de la Cruz Roja Mexicana. Ello principalmente por un deslave en el cerro de Mirra.

En junio de 2011 se reportaron calles inundadas que dejó el paso de la tormenta tropical "Beatriz". El agua estancada imposibilitó la realización de actividades en escuelas.

En septiembre de 2013 se reportaron inundaciones y derrumbes ocasionados por el crecimiento desmedido de ríos y arroyos alimentados por las lluvias de la Tormenta Manuel, que dejó pérdidas incalculables en toda la demarcación. Casas y negocios de la parte baja de la ciudad fueron inundados y en algunos casos desaparecidos por la corriente del Río Tecpan.

En septiembre de 2015 el paso del huracán Marty dejó colapsados muros y bardas, al igual que la crecida de los ríos.

3.6 Obras de protección contra inundaciones y acciones no estructurales existentes

Es este apartado se da a conocer la situación actual de la infraestructura tanto de medición de variables hidrometeorológicas, incluidos los Sistemas de Alerta Temprana (SAT), las obras para la protección de avenidas, así como del uso de modelos para el pronóstico de avenidas y acciones no estructurales.

Acciones estructurales

Como se observa en la Figura 3.13 existe un bordo de protección en la margen izquierda del río Tépán cuyo objetivo es la protección de áreas productivas.

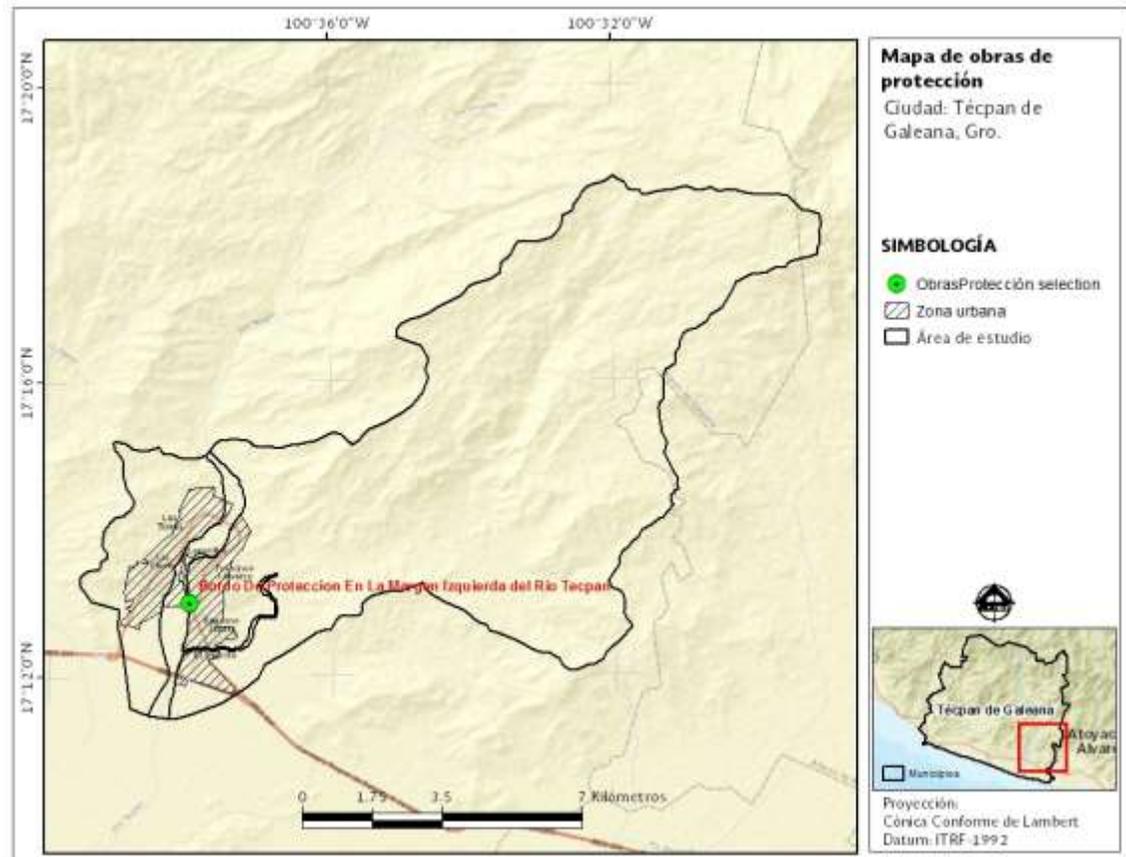


Figura 3.13 Obras de protección

Acciones no estructurales

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.

En agosto de 2015, la Secretaría de Protección Civil del gobierno del estado impartió en el taller sobre agentes perturbadores y plan familiar a las familias del municipio, con la finalidad de que la población la ponga en práctica durante la temporada de lluvias y huracanes, así como durante algún sismo de gran magnitud, para que se vaya adquiriendo conciencia sobre la cultura de la prevención de desastres.

3.7 Identificación de actividades actuales en las planicies de inundación

Para el municipio de Técpan de Galeana, las principales actividades económicas se enfocan a la agricultura, seguida por la ganadería y la actividad forestal. La superficie total es de 253,780 hectáreas, de las cuales el 79.5% es ejidal y el 6.9% es pequeña propiedad. Se dedican a la agricultura 33,067 hectáreas, de las cuales el 72.6% son de temporal, el 26.2% de humedad y el 1.2% es de riego.

De acuerdo a las estadísticas agrícolas 2009-2010 los cultivos que más se producen en la zona son el pasto verde, maíz, zacate verde, sorgo grano, mango, limón, sorgo forrajero, cocotero copra y otros frutales pasto, en general la cantidad de superficie sembrada es la misma que se cosecha.

Existen diversos recursos aprovechables; entre los forestales sobresalen: encino, pino, ayacahuite, magnolia y cedro; posee además un litoral de 82 km. en el que abunda huachinango, lisa, jurel, pargo y mojarra.; existen también playas, ríos y lagunas, susceptibles de un mayor aprovechamiento mediante la captación de turismo estatal, nacional e internacional.

De actividades industriales, existen plantas beneficiadoras de café, fábricas de muebles, de alimentos balanceados y de hielo, así como purificadoras de agua, tortillerías y talleres de carpintería. Lo más significativo es la industria del aserrío. El municipio es el segundo productor de madera, aportando aproximadamente el 15% de la producción estatal. De actividades primarias, en la cabecera municipal abundan las plantaciones de coco de agua.

El municipio de Tecpan de Galeana provee atractivos turísticos que generan la afluencia del turismo hacia su interior, la cabecera municipal cuenta con infraestructura para su desarrollo, los principales centros turísticos son: La laguna de Nusco, la playa de Michigan, la piedra de Tlacoyunque y la playa de Callaquitos que cuentan con la infraestructura hotelera y es muy concurrida por el turismo, así como el puerto general Vicente Guerrero.

4. Diagnóstico de las zonas inundables

4.1 Monitoreo y vigilancia de variables hidrometeorológicas

Las consecuencias por inundaciones son variables: ya sea en lesiones a personas, pérdidas masivas de cultivos o ganado, daños a infraestructuras o efectos ambientales a escala local o regional. Por tal motivo es vital aunar esfuerzos para monitorear y dar seguimiento al comportamiento del agua, de tal manera que los datos, la información y el conocimiento hidrológico, hidrogeológico y oceanológico, permitan obtener mejores estimaciones y pronósticos, y con soporte en indicadores del recurso hídrico se concrete una administración del agua y gestión del recurso hídrico con decisiones mucho más provechosas en el futuro cercano.

La red mínima de estaciones permite evitar deficiencias graves en el desarrollo y gestión de los recursos hídricos, la organización Meteorológica Mundial (OMM)⁷ recomienda establecer un mínimo de estaciones climatológicas bajo las consideraciones que se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (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

Fuente: Tomado de OMM. Guía de prácticas hidrológicas, 2011.

Para monitorear y dar seguimiento a los eventos hidrometeorológicos que afectan a la ciudad de Tecpan de Galeana, se cuenta con una red meteorológica compuesta por 14 estaciones climatológicas, sin embargo, no todas cumplen con la recomendación de la OMM en cuanto a cobertura.

De acuerdo a la superficie de cobertura de las estaciones climatológicas y meteorológicas ubicadas dentro y en las proximidades de la zona en estudio, las estaciones localizadas dentro de la zona urbana cumplen con las recomendaciones de la OMM, siendo su superficie de cobertura menor a los 575 km², cuya característica fisiográfica es de planicie interior, montes y ondulaciones (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Superficie de cobertura por estación

Clave	Nombre	Estado	Área (km ²)	Unidad fisiográfica	Cumple
12221	LAGUNA DE NUXCO	GUERRERO	362.09	Montes/ondulaciones	Si
12262	HACIENDA LA CABAÑA	GUERRERO	80.89	Montes/ondulaciones	Si
12233	TECPAN	GUERRERO	181.00	Montes/ondulaciones	Si
12161	ATOYAC (DGE)	GUERRERO	86.59	Montes/ondulaciones	Si
12158	RIO SANTIAGO	GUERRERO	248.26	Montes/ondulaciones	Si
12140	SAN ANTONIO TEJAS	GUERRERO	933.69	Montes/ondulaciones	No
12099	SAN JERÓNIMO	GUERRERO	460.95	Montes/ondulaciones	Si

⁷ Organización Meteorológica Mundial (OMM). Guía de prácticas hidrológicas. Sexta edición, 2011.

Clave	Nombre	Estado	Área (km ²)	Unidad fisiográfica	Cumple
12079	SANTO DOMINGO	GUERRERO	641.87	Montes/ondulaciones	No
12070	SAN LUIS SAN PEDRO*	GUERRERO	227.53	Montes/ondulaciones	Si
12069	SAN JUAN DE LAS FLORES	GUERRERO	207.95	Montes/ondulaciones	Si
12042	GLORIA ESCONDIDA	GUERRERO	523.56	Montes/ondulaciones	Si
12038	EL PORVENIR (CFE)*	GUERRERO	278.01	Montes/ondulaciones	Si
12011	ATOYAC (SMN)*	GUERRERO	101.67	Montes/ondulaciones	Si
12009	ARROYO FRIO	GUERRERO	953.65	Montes/ondulaciones	No

Para dar seguimiento y monitorear los eventos hidrometeorológicos que afectan a la zona de estudio, se cuenta con una red meteorológica que incluye estaciones climatológicas convencionales y una estación automática a cargo de Protección Civil, estaciones hidrométricas, en las cuales se han identificado algunas deficiencias o problemas como es la falta de vehículos y capacitación al personal que la operan.

4.1.1 Estaciones convencionales

De las 14 estaciones climatológicas ubicadas en la zona de estudio (considerando un buffer de 20 km), 3 están suspendidas y los problemas que presentan las que continúan en operación son los siguientes:

- Los recursos que se asignan para instalación, mantenimiento, rehabilitación y operación de las estaciones climatológicas son insuficientes, irregulares y no existe una adecuada programación.
- El equipamiento para las estaciones convencionales es irregular e insuficiente, ya que no atienden las demandas solicitadas.
- No hay suficiente personal exclusivo para supervisar y controlar la operación de las redes convencionales.
- La generación de información es poco confiable debido a que se opera con personal gratificado al que le falta de capacitación, así como a la insuficiente supervisión.
- El esquema de gratificados presenta dificultades administrativas, jurídicas y técnicas, ya que el monto de gratificación no se ha actualizado y desde el punto de vista jurídico los equipos están instalados en terrenos particulares, sin ningún sustento legal, y técnicamente no existe un mecanismo que garantice la calidad y continuidad de los datos.
- Los equipos de radiocomunicación son insuficientes.
- Existencia de zonas inseguras para realizar las funciones de lectura de datos.

Las 14 estaciones climatológicas son operadas a través de personal gratificado a cargo de Conagua, de las cuales 1 se ubica en el municipio de Técpan, dichas estaciones registran las variables de precipitación, temperatura y evapotranspiración. El sistema seguido hasta el momento para el envío de la información registrada en las estaciones habilitadas funciona correctamente, ya que los reportes son enviados diariamente vía telefónica a las 8:00 am, realizándolos de manera más frecuente cuando la Conagua así lo solicita.

4.1.2 Estaciones hidrométricas

En la zona de estudio se localizan 1 estaciones hidrométricas, los reportes se envía diariamente por la vía telefónica y la calidad de la información es buena, la operación de ellas se realiza a través de gratificados.

De manera general la situación actual de las estaciones hidrométricas es:

- Falta modernizar, reubicar y ampliar la red de estaciones hidrométricas
- Falta personal operativo.
- La comunicación es inadecuada por falta de infraestructura de radiocomunicación suficiente.
- No existe infraestructura apropiada para realizar los aforos.
- No hay certeza jurídica en la tenencia de las instalaciones.
- No se han actualización los parámetros de los niveles críticos de la estación.

4.1.3 Estaciones automáticas

Existe una estación automática que se ubican en Tecpan de Galeana y es operada por Protección Civil, los reportes se realizan diariamente por vía telefónica a Conagua y la calidad de la información en general es buena. Las variables que registran son precipitación, temperatura y evapotranspiración.

De manera general se identificaron los siguientes problemas:

- No transmiten los datos en tiempo real.
- Falta mantenimiento preventivo.
- Faltan estaciones en la zona.

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

Por la alta vulnerabilidad que presenta la región ante fenómenos hidrometeorológicos, se requiere contar con una adecuada infraestructura con el objetivo de proteger a centros de población y áreas productivas, sin perder de vista el mantenimiento que se debe dar a las mismas.

En general el Centro Regional de Atención a Emergencias del Organismo de Cuenca Pacífico Sur opera de manera aceptable, sin embargo, en ocasiones no se cumplen las expectativas que demanda la población, porque aun cuando se atiende las situaciones de emergencia, no se atienden de manera expedita, debido a la distancia y tiempo de traslado. Por otra parte es necesaria la actualización de los diagnósticos de la infraestructura vigente para la elaboración de un adecuado programa de mantenimiento de dicha infraestructura.

Acciones estructurales

Los escurrimientos pluviales son enviados vertiginosamente sobre calles y otros conductos naturales. Las fuertes avenidas exceden frecuentemente la capacidad de las estructuras para acomodar el volumen de agua.

Por un lado, es necesario reconocer el estado real de las obras de infraestructura existentes en la ciudad y considerar que aún hay obras que son urgentes de realizarse para prevenir inundaciones. Se requieren obras de infraestructura hidráulica para protección a los centros de población, como son revestimiento y encauzamiento de arroyos, construcción de bordos y rehabilitación de la Infraestructura existente.

En cuanto a la condición de las obras en construcción y/o conservación de los ríos en la zona de estudio, se pueden mencionar la existencia de los bordos de protección el Río Técpán.

Actualmente se cuenta con equipo especializado para la atención de emergencias como son plantas potabilizadoras, motobombas, tanques de combustibles, camiones entre otros; sin embargo es necesaria la modernización y ampliación del mismo debido a que el equipo con el que se cuenta no es suficiente para atender todas las necesidades que se generan durante y después del evento meteorológico que causa una inundación en diferentes zonas.

Acciones no estructurales

La falta de una adecuada planeación de las zonas urbanas en la entidad, así como el crecimiento desordenado de la población ha originado los asentamientos irregulares en zonas de riesgo y en zonas federales.

Como parte de las acciones no estructurales que buscan la reducción de costos por emergencias sociales, el mejoramiento de la calidad de vida y la reducción de impactos ambientales se contempla la realización de estudios de demarcación de zonas federales, algunos ya se han llevado a cabo y otros están en la etapa de planeación.

De las acciones no estructurales relacionadas al problema de las inundaciones en la zona urbana de Tépán 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 —ya ambiental, ya social, ya de vivienda— de la producción social de las condiciones de riesgo y de un eventual desastre. Es entonces dentro de la dinámica de la gestión urbana donde deben analizarse los riesgos a las inundaciones en zonas urbanas.

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

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

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

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

Durante las inundaciones, la participación comunitaria se expresa en forma de denuncia, protesta y exigencia a las autoridades correspondientes, por lo general a las más próximas. En esta etapa, más que de participación organizada activa y propositiva, se observa la reacción de quienes resultaron afectados y que buscan ser visibles ante las autoridades competentes para ser considerados posteriormente como sujetos de apoyo y así lograr obtener algo a cambio de sus pérdidas.

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

Para el caso particular de la zona urbana de Técuán, 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 derechohabencia a los servicios de salud
	% Hijos fallecidos de las mujeres de 15 a 49 años de edad
Vivienda	% Viviendas particulares habitadas sin drenaje conectado a la red pública o fosa séptica
	% Viviendas particulares habitadas sin excusado con conexión de agua
	% Viviendas particulares habitadas sin agua entubada dentro de la vivienda
	% Viviendas particulares habitadas con piso de tierra
	% Viviendas particulares habitadas con algún nivel de hacinamiento
Bienes	% Viviendas particulares habitadas sin refrigerador

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

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

Tabla 4.4 Complemento a las dimensiones consideradas por el IMU

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

En relación al IMU 2010 por manzana, el mapa de la localidad de Tecpan muestra niveles de marginación de medio a muy altos, predominando los primeros, en lo que es estrictamente la zona urbana. No obstante, en la zona conurbada la situación es más crítica, existiendo un significativo número de manzanas con muy alto grado de marginación. Ello significa que existen condiciones desfavorables en cuanto a la educación, los ingresos por trabajo y las características de la vivienda, que se traduce en insuficiencia de servicios, precariedad en el empleo, bajos niveles adquisitivos y deficientes condiciones de la vivienda y, por ende, a una mayor vulnerabilidad a las inundaciones.

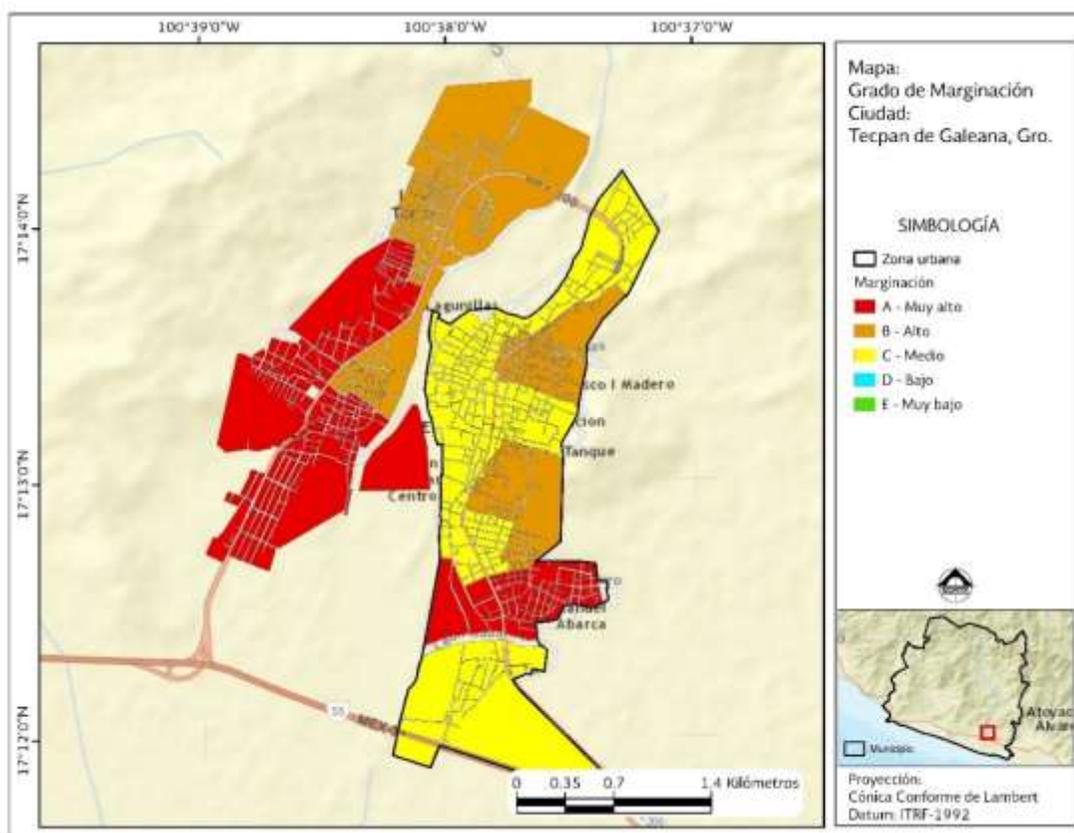


Figura 4.1 Marginación en la zona urbana de Tecpan de Galeana, Guerrero

Lo que muestran los datos estadísticos complementarios relacionados a situaciones de vulnerabilidad por inundaciones, es que un 9.1% de la población tiene menos de 5 años, un 8.7 es mayor a 65 años y un 2.2 presenta limitaciones en la actividad⁸, lo que en conjunto suman 20% de población con condiciones vulnerables ante eventos súbitos como las inundaciones. Ello traducido en promedio indica que hay 11.3 adultos mayores por manzana y 4.1 tienen limitaciones en la actividad⁹. En cuanto a la desocupación laboral de estas manzanas, el promedio es de 0.6 personas por manzana; sin embargo, es necesario tener el dato presente como indicador que influye en el nivel de vida material de las personas.

Tabla 4.5 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Técpan de Galeana, Gro.

	Población total	Población menor a 5 años	Población mayor a 65 años	Población con limitación en la actividad	Población desocupada
Totales	15,119	1,383	1,323	334	53
Promedio	92.7	s/d	11.3	4.1	0.6
Porcentaje	100	9.1	8.7	2.2	0.3

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 Técpan, 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 no 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.

⁸ 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.

⁹ 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.

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.

La zona urbana de Tépán de Galeana cuenta con una estación hidrométrica que afora la corriente principal que la atraviesa, sin embargo, otra corriente no cuenta con información de escurrimientos en estaciones de aforo, por lo que es necesario la aplicación de un modelo lluvia escurrimiento para conocer los gastos en la salida de la zona.

5.1.1 Cálculo de la precipitación media de diseño

Para estimar un valor de referencias de las lluvias de diseño se utilizó el programa de computo denominando V.E.L.L. Desarrollado en el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED¹⁰), con el cual se obtuvieron las alturas de precipitación para los periodos de retorno 2, 5, 10, 50 y 100 años, sin embargo la precipitación estimada en dicho estudio es sólo información de referencia, ya que la zona de estudio cuenta con climatología e hidrometría que permite obtener directamente el escurrimiento mediante el análisis estadístico de la precipitación y de los escurrimientos observados en la estaciones climatológicas e hidrométrica correspondientes.

El CENAPRED obtuvo información climatológica 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, empleó solamente 2,243 estaciones pluviométricas instaladas en diferentes puntos del país.

¹⁰CENAPRED, Mapas de Precipitación para Diferentes Duraciones y Periodos de Retorno. Octubre 2013.

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.

Dicho 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 km² / estación.

Tabla 5.1 Distribución de estaciones pluviométricas (más de 20 años completos) en la República Mexicana

No.	Estado	Área	Estaciones pluviométricas		Cobertura Media
		(km ²)	Existentes	Usadas	(km ² /estaciones)
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

No.	Estado	Área (km ²)	Estaciones pluviométricas		Cobertura Media (km ² /estaciones)
			Existentes	Usadas	
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

Con el programa VELL se obtuvieron las alturas de precipitación para los periodos de retorno 2, 5, 10, 50 y 100 años (Tabla 5.2), sin embargo la precipitación sustraída en dicho estudio es sólo información de referencia, ya que la cuenca tributaria del río Técpán (zona 2) cuenta con hidrometría que permite obtener directamente el escurrimiento mediante el análisis estadístico de los escurrimientos observados en la estación hidrométrica correspondiente.

A través del Centro Nacional de Prevención de Desastres se obtuvieron las alturas de precipitación para los periodos de retorno 2, 5, 10, 50 y 100 años (Tabla 5.2).

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

Tr	0	1	2
2	124	115	98.9
5	185	170	145
10	243	224	190
50	378	349	296
100	422	389	330

Estas alturas de precipitación corresponden a las precipitaciones máximas en 24 horas que fueron estimadas en los centroides de las zonas: Urbana de la ciudad de Tecpan (0) y tributaria por el río Tecpan (2) y tributaria por el río Juquiaqui (1).

Por otro lado, la información de lluvia registrada en la estación climatológica 12070 permite estimar la precipitación de las zonas 0 y 1, a partir de los registros de precipitación acumulada en 24 horas máxima anual, ajustada con las funciones de distribución de probabilidad; Uniforme, Normal, Exponencial 1P, Exponencial 2P, LogNormal(2P), LogNormal 3P, Gamma 2P (M), Gamma 3P (M), Pearson III, Valores Extremos, Gumbel, y Gumbel doble, en las que se seleccionó la función Gumbel doble por tener el menor error estándar de ajuste, los valores de dicho ajuste se muestran en la Tabla 5.3 en la que se observa que los resultados son similares a la información del CENAPRED de la Tabla 5.2.

Es importante remarcar que los resultados de lluvia asociada con diversos periodos de retorno mostrada hasta el momento, son aplicables solamente para la zona urbana en estudio y área adyacente que genera escurrimiento superficial que escurre hacia los ríos dentro del dominio del modelo hidráulico.

Tabla 5.3 Lluvia máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno

Tr Años	Hp (mm)	L N _{N=82} (mm)	L N _{N=79} (mm)
2	103.05	57.2	51.0
5	202.18	147.7	139.0
10	254.84	198.3	187.8
50	333.40	274.7	264.1
100	363.82	304.5	293.7

El modelo hidráulico utilizado requiere como información de entrada la lámina neta de la precipitación la cual debe ser expresada en términos de intensidad, esto obedece a que en el proceso lluvia-escurrimiento del ciclo hidrológico, se presentan pérdidas por diversas causas, independientemente del modelo hidrológico que se utilice, el resultado del proceso lluvia – escurrimiento conduce a una primera reducción del valor encontrado en la altura de precipitación acumulada en 24 horas o lluvia total. En este trabajo se analizaron los tipos y usos del suelo que llevaron a un número de curva = 79 que a partir de la precipitación total de la segunda columna de la tabla 5.3, conduce a la lámina neta mostrada en la tercer columna de la misma tabla.

Al introducir medidas no estructurales, se propusieron cambios en el uso del suelo donde esto fuera posible, lo cual podría traer un beneficio en el proceso lluvia escurrimiento, llevando el número de escurrimiento N = 82 al número de escurrimiento N = 79, también mostrado en la tabla 5.3.

5.1.2 Construcción de tormentas hipotéticas

Por otro lado, los resultados del ajuste estadístico mostrados en la tabla 5.3, corresponden a precipitación acumulada en 24 horas, los eventos de inundación pluvial asociados requieren el conocimiento de la distribución de la precipitación durante el día, aunque existen diversos métodos para distribuir la lluvia en las 24 horas es conveniente utilizar los registros históricos de la precipitación cuando se cuenta con pluviógrafos o pluviómetros.

En consecuencia, una reducción adicional a la lámina neta descrita en la tabla 5.3 para los diferentes periodos de retorno es precisamente por la distribución de la lluvia a lo largo del día de tal manera que al construir una curva masa de la precipitación se observó que aproximadamente un 65% ocurre durante 8 horas, el 35% restante durante el resto del día, así que la precipitación efectiva se ve afectada en esa proporción reduciendo los valores de la lámina neta para 24 horas en el porcentaje mencionado.

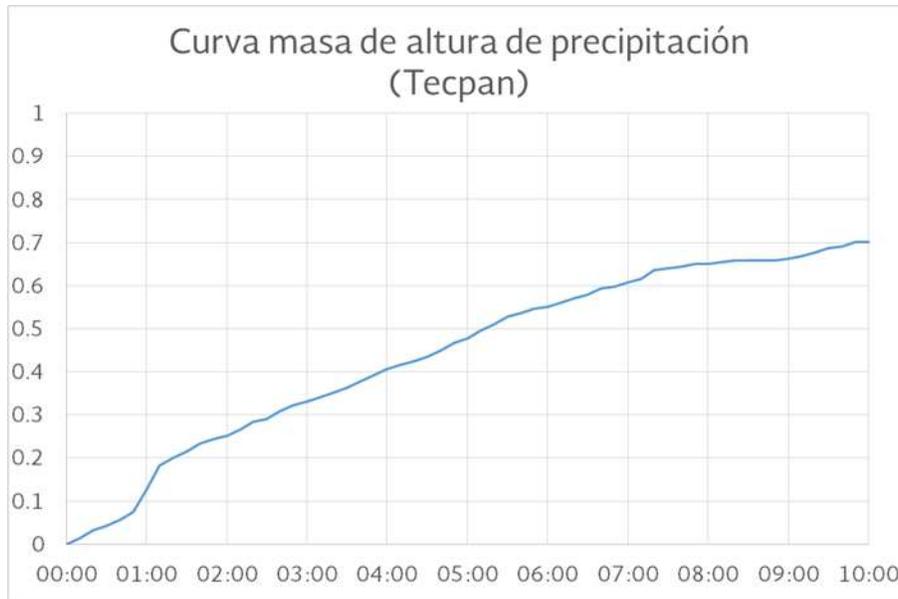


Figura 5.1 Curva masa de precipitación en 24 horas

Dicho de otra manera, se genera una onda de avenida que eventualmente es la que causa las inundaciones con el 65% de la precipitación que logra escurrir durante 8 de las 24 horas, el resto de la precipitación generalmente no complica las condiciones de inundación.

Con base en lo anterior, En la Tabla 5.4 se muestran los valores de la altura de precipitación a cada diez minutos mientras que en la Tabla 5.5 se presenta la intensidad de lluvia a cada diez minutos para la lámina neta con $N = 79$.

Tabla 5.4 Altura de precipitación a cada diez minutos (mm)

Tiempo (s)\ Tr	100	50	10	5	2
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
600	4.12	3.70	2.63	1.95	0.71
1200	5.49	4.94	3.51	2.60	0.95
1800	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
2400	4.12	3.70	2.63	1.95	0.71
3000	5.49	4.94	3.51	2.60	0.95
3600	15.10	13.58	9.65	7.14	2.62
4200	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
4800	5.49	4.94	3.51	2.60	0.95
5400	4.12	3.70	2.63	1.95	0.71
6000	5.49	4.94	3.51	2.60	0.95
6600	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
7200	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
7800	4.12	3.70	2.63	1.95	0.71
8400	5.49	4.94	3.51	2.60	0.95
9000	1.37	1.23	0.88	0.65	0.24
9600	5.49	4.94	3.51	2.60	0.95
10200	4.12	3.70	2.63	1.95	0.71
10800	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
11400	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
12000	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48

Tiempo (s)\ Tr	100	50	10	5	2
12600	4.12	3.70	2.63	1.95	0.71
13200	4.12	3.70	2.63	1.95	0.71
13800	4.12	3.70	2.63	1.95	0.71
14400	4.12	3.70	2.63	1.95	0.71
15000	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
15600	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
16200	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
16800	4.12	3.70	2.63	1.95	0.71
17400	5.49	4.94	3.51	2.60	0.95
18000	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
18600	5.49	4.94	3.51	2.60	0.95
19200	4.12	3.70	2.63	1.95	0.71
19800	5.49	4.94	3.51	2.60	0.95
20400	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
21000	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
21600	1.37	1.23	0.88	0.65	0.24
22200	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
22800	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
23400	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
24000	4.12	3.70	2.63	1.95	0.71
24600	1.37	1.23	0.88	0.65	0.24
25200	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
25800	2.74	2.47	1.76	1.30	0.48
26400	5.49	4.94	3.51	2.60	0.95
27000	1.37	1.23	0.88	0.65	0.24
27600	1.37	1.23	0.88	0.65	0.24
28200	1.37	1.23	0.88	0.65	0.24
28800	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 5.5 Intensidad de lluvia a cada diez minutos (mm/hr)

Tiempo \ Tr	100	50	10	5	2
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
600	24.70	22.21	15.80	11.69	4.29
1200	32.94	29.62	21.06	15.59	5.72
1800	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
2400	24.70	22.21	15.80	11.69	4.29
3000	32.94	29.62	21.06	15.59	5.72
3600	90.58	81.45	57.92	42.87	15.73
4200	98.81	88.86	63.19	46.77	17.16
4800	32.94	29.62	21.06	15.59	5.72
5400	24.70	22.21	15.80	11.69	4.29
6000	32.94	29.62	21.06	15.59	5.72
6600	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
7200	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
7800	24.70	22.21	15.80	11.69	4.29
8400	32.94	29.62	21.06	15.59	5.72
9000	8.23	7.40	5.27	3.90	1.43
9600	32.94	29.62	21.06	15.59	5.72
10200	24.70	22.21	15.80	11.69	4.29
10800	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
11400	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
12000	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
12600	24.70	22.21	15.80	11.69	4.29

Tiempo \ Tr	100	50	10	5	2
13200	24.70	22.21	15.80	11.69	4.29
13800	24.70	22.21	15.80	11.69	4.29
14400	24.70	22.21	15.80	11.69	4.29
15000	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
15600	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
16200	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
16800	24.70	22.21	15.80	11.69	4.29
17400	32.94	29.62	21.06	15.59	5.72
18000	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
18600	32.94	29.62	21.06	15.59	5.72
19200	24.70	22.21	15.80	11.69	4.29
19800	32.94	29.62	21.06	15.59	5.72
20400	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
21000	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
21600	8.23	7.40	5.27	3.90	1.43
22200	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
22800	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
23400	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
24000	24.70	22.21	15.80	11.69	4.29
24600	8.23	7.40	5.27	3.90	1.43
25200	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
25800	16.47	14.81	10.53	7.79	2.86
26400	32.94	29.62	21.06	15.59	5.72
27000	8.23	7.40	5.27	3.90	1.43
27600	8.23	7.40	5.27	3.90	1.43
28200	8.23	7.40	5.27	3.90	1.43
28800	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

El escurrimiento proveniente de la zona “2” no se simula mediante un proceso lluvia – escurrimiento ya que se tiene aforado en la estación hidrométrica 19005 (Tecpan), al igual que la precipitación, se realizó un ajuste estadístico con los gastos máximos anuales correspondientes el cual se presenta en la Tabla 5.6.

De igual manera, para los datos hidrométricos se realizaron los ajustes con las funciones de distribución de probabilidad; Uniforme, Normal, Exponencial 1P, Exponencial 2P, LogNormal(2P), LogNormal 3P, Gamma 2P (M), Gamma 3P (M), Pearson III, Valores Extremos, Gumbel, y Gumbel doble, en las que nuevamente se seleccionó la función Gumbel doble por tener el menor error estándar de ajuste, los resultados de dicho ajuste se muestran en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6 Análisis estadístico de escurrimiento en Tecpan

Tr	E. H. 19005
2	672.058
5	1,607.036
10	3,151.881
50	5,034.395
100	5,725.689

En la tabla anterior se muestra solamente el gasto pico de cada hidrograma asociado con un periodo de retorno, para obtener el resto de las características del hidrograma de ingreso por cada uno de los afluentes, se estimó la *pendiente media del cauce principal* con el método de Taylor Schwarz, el *tiempo de concentración* con el método de Kirpich y el *tiempo de retraso* con el método de Chow, de tal forma que se obtuvieron hidrogramas con tiempo base de un día de duración para la cuenca del río Técpan y 10 horas para el río Juquiaqui, todo esto con base en los datos fisiográficos de la tabla siguiente:

Tabla 5.7 Datos fisiográficos

Características/Río	Técpan	Juquiaqui
Longitud (Km) =	76.22	26.43
S Taylor-Schwarz =	0.01243	0.02371
S _{T-S} (%) =	1.24	2.37
T _c (Kirpich, hr) =	10.11	3.49
T _r (Chow, hr) =	6.21	2.57
T _p (hr) =	9.24	3.96
T receso (hr) =	14.79	6.34
T _b (hr) =	24.03	10.30

Con base en los resultados anteriores y con el fin de simplificar la modelación hidráulica, se propuso simular solamente 12 horas en el modelo hidráulico, cabe recordar que el río Juquiaqui está dentro del dominio de simulación, tiene un tiempo base ligeramente menor a las doce horas propuestas, aunque el tiempo base del río Tecpan es del doble de esas doce horas, el valor que se considera más importante en la simulación hidráulica es el gasto pico. Por lo que se tomó un hidrograma medido, se mayoró con cada uno de los gastos pico asociados con los diversos periodos de retorno y se tomó como inicio de simulación un caudal base correspondiente a dos tercios del gasto pico para cada periodo de retorno, de tal manera que se pudieron captar las condiciones más desfavorables en las avenidas modeladas, las cuales exhiben los efectos de inundación en la zona de estudio.

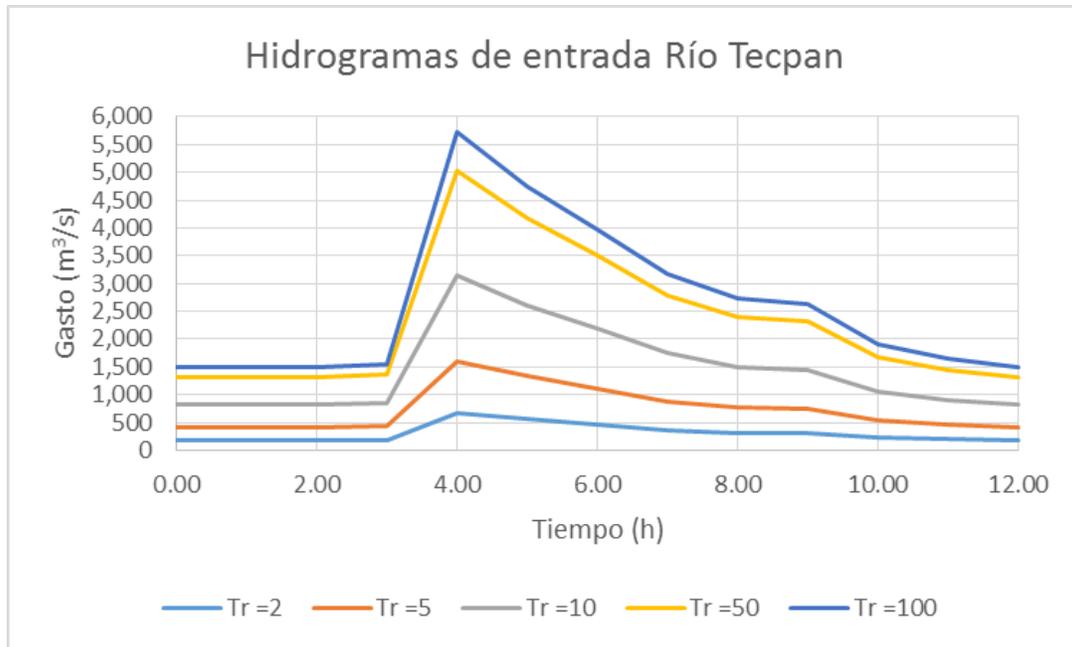


Figura 5.2 Hidrogramas de entrada desde el río Técpán al modelo hidráulico

5.2 Modelo hidráulico

En esta evaluación se obtienen 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 2.3.2¹¹.

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.

¹¹ 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

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.

5.2.2 Procesamiento del modelo digital de elevaciones

Para la construcción del modelo hidráulico, se definió en principio la zona a simular a la que convergen los escurrimientos aforados por la estación hidrométrica Tecpan.

En la Figura 5.4 se muestra la extensión de terreno que utiliza el modelo hidráulico, el cual se deberá exportar a un MDE pero en formato ASCII para que pueda ser leído en el software de IBER.

Adicionalmente se hicieron las tres siguientes consideraciones para definir la zona de simulación hidráulica bidimensional a simularse en el modelo hidráulico.

- El punto de ingreso a la simulación hidráulica no debe ser en una extensión tan grande de terreno, la zona más importante para revisar los resultados será la zona urbana, los efectos de inundación fuera de la zona urbana no aportarán información para estimar el Daño Anual Esperado, el cual solo incluye en esta etapa zonas urbanas.
- La extensión de la zona de simulación hidráulica debe contener toda la extensión de la mancha urbana, incluyendo los casos en los que un parteaguas pase dentro de la zona urbana con las consecuentes salidas diversas hacia varios puntos de salida.

- Las salidas del flujo de agua pueden estar acotadas por una corriente perenne o por corrientes efímeras, las que deben ser identificadas aunque a priori se considere que dichas corrientes no generen puntos de inundación dentro de la mancha urbana.

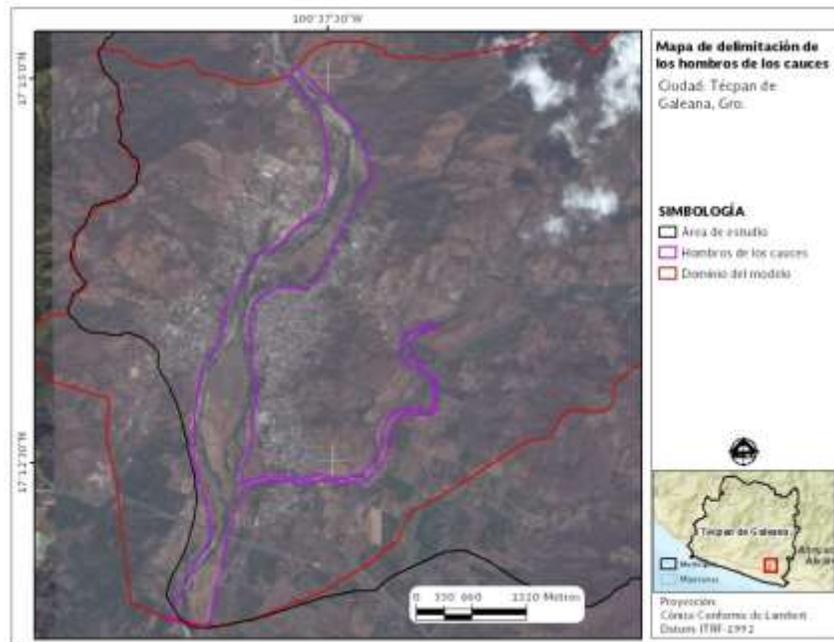


Figura 5.3 Vectores que delimitan el ancho de los ríos

La Figura 5.4 corresponde a la extensión acotada del modelo digital de elevación (MDE) en el que se aprecian claramente que no hay entradas de cauces tributarios, es decir, toda la cuenca de aportación está incluida en la simulación hidráulica, esto resultado de tener una extensión de la localidad casi tan grande como su zona de aportación.

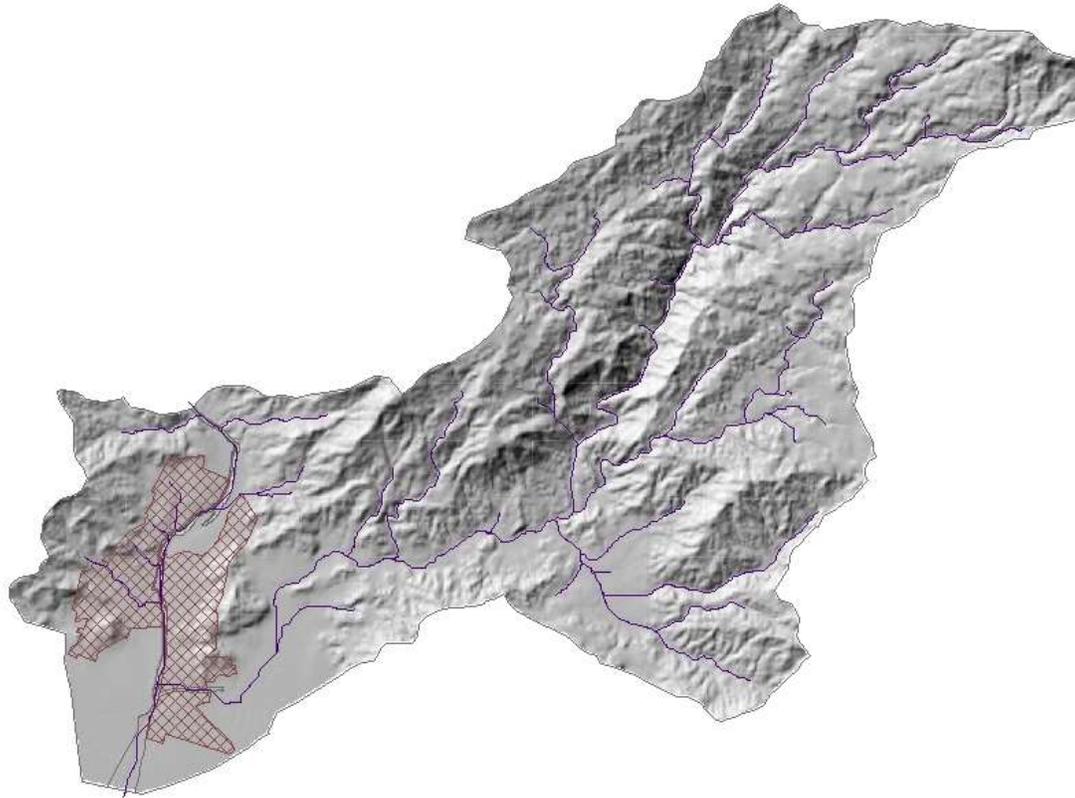


Figura 5.4 Extensión del MDE y la zona para simulación hidráulica

El segundo criterio a considerarse para el procesamiento del modelo digital de elevación, es la definición de los cauces que drenan de manera importante la zona de estudio, dichos cauces pueden ser canales perfectamente definidos, pueden ser tramos de río con grandes dimensiones o incluso pueden estar asociados con calles y avenidas que no necesariamente tienen una sección transversal definida desde un punto de vista hidráulico, incluso dichas secciones pueden ser canales entubados con secciones definidas por un proyecto hidráulico.

El procesamiento es un procedimiento reiterativo, con base en los primeros resultados de la simulación hidráulica, se podrá enfocar la atención en los canales que hidráulicamente el modelo reprodujo, estos se observaron en campo y se ajustaron a las condiciones que se habían definido artificialmente a priori.

Para la modelación hidráulica se definió una malla triangular (Figura 5.5). El tamaño mínimo de los elementos es de 15 metros, originalmente se había seleccionado una retícula con triángulos de hasta 5 metros en la zona correspondiente a ríos, pero por ser estos de extensión considerable, se decidió simularlos también con retícula de 15 metros.

La elevación del terreno que se le asigna a cada elemento corresponde al modelo digital de elevación publicado por el INEGI, es necesario aclarar que dicha información no ofrece las condiciones reales dentro de los ríos, para lo cual fue necesario realizar una edición denominada dragado – relleno, en la zona del río Tecpan, la información del INEGI registra elevaciones menores a las reales, por el contrario, en la zona del río Juquiaqui se

vio la necesidad de dragado para asemejar la información a la realidad física observada en campo, en ese río se disminuyó la cota dos metros con respecto a la información original.

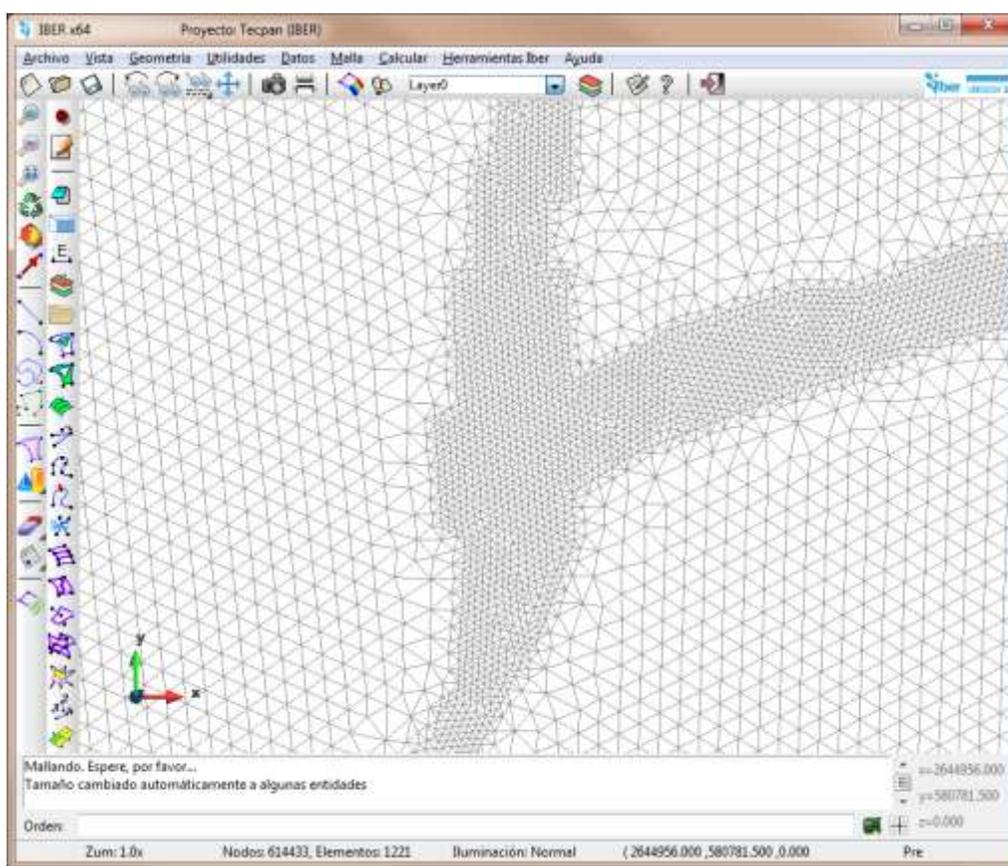


Figura 5.5 Malla definida para el análisis hidráulico con IBER

5.2.3 Infraestructura

Las condiciones actuales de simulación no ha propiciado la necesidad de seleccionar infraestructura que permita mejorar el funcionamiento hidráulico para evitar inundaciones, las inundaciones obtenidas hasta el momento permiten observar la posible necesidad de incluir infraestructura para control de inundaciones que en todo caso será incluida en simulaciones posteriores.

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.

Los datos del problema son los siguientes:

- Tiempo máximo de simulación: 43,200 segundos,
- Intervalo de resultados: 1,800 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 frontera como: hidrogramas de entrada y la definición de las salidas,
2. Condiciones iniciales con profundidad de agua en cauces de 0.5m,
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 e 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 fue la forma de la tormenta media de la EMA.

Para definir los valores de coeficientes de Manning en el área a modelar, se utilizó la información vectorial de la capa vectorial de uso de suelo (Figura 5.4).

Luego de procesar la capa, se asignaron los valores sugeridos por Ven Te Chow¹², en combinación con los valores definidos por defecto en el programa IBER.

¹² Chow, Ven Te. Hidráulica de Canales Abiertos, pag. 108, Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning "n". Mc Graw Hill. 2004.

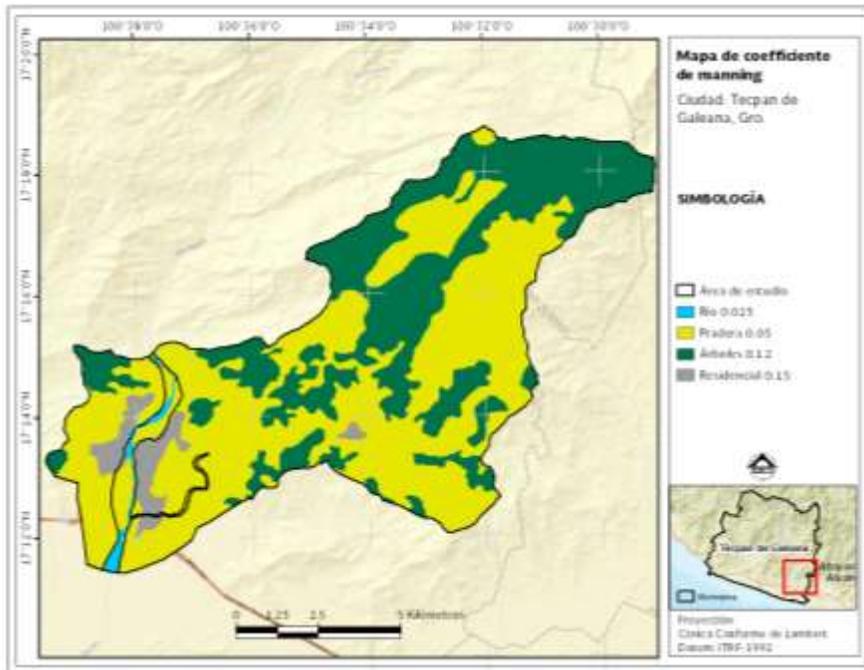


Figura 5.6 Esquema del modelo hidráulico

Por otro lado, en la Figura 5.7 se esquematiza el dominio del modelo hidráulico utilizado, se observa que confluyen a la zona urbana dos ríos, uno de ellos representado por una entrada a través de un hidrograma desde el río Técpán que afora el cauce fuera del dominio de simulación, el otro río denominado arrollo Juquiaqui acumula el escurrimiento dentro del dominio de simulación considerando la precipitación mediante una entrada al modelo en forma de hietograma.

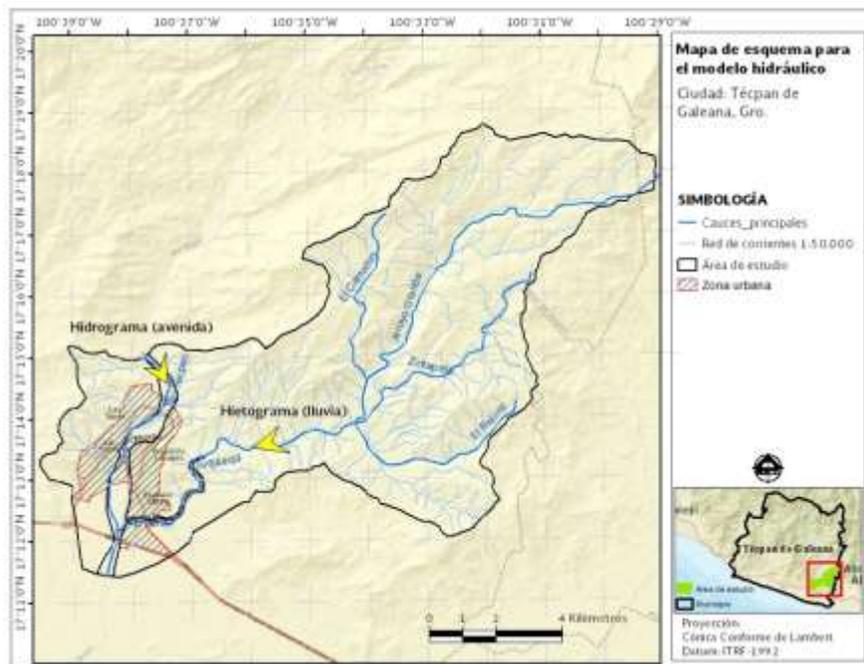


Figura 5.7 Esquema del modelo hidráulico

Una vez definida la zona a modelar, se construye el modelo hidráulico para simularse en el programa de simulación bidimensional "IBER" con base en el modelo digital de elevación obtenido de los datos que elabora el INEGI con base en la escala 1:50,000 y tamaño de retícula de 15 m.

Para la modelación hidráulica se utilizaron como condiciones de frontera aguas arriba los hidrogramas obtenidos con el ajuste estadístico de los datos hidrométricos obtenidos en la estación Tecpan para los diversos periodos de retorno (Figura 5.8).

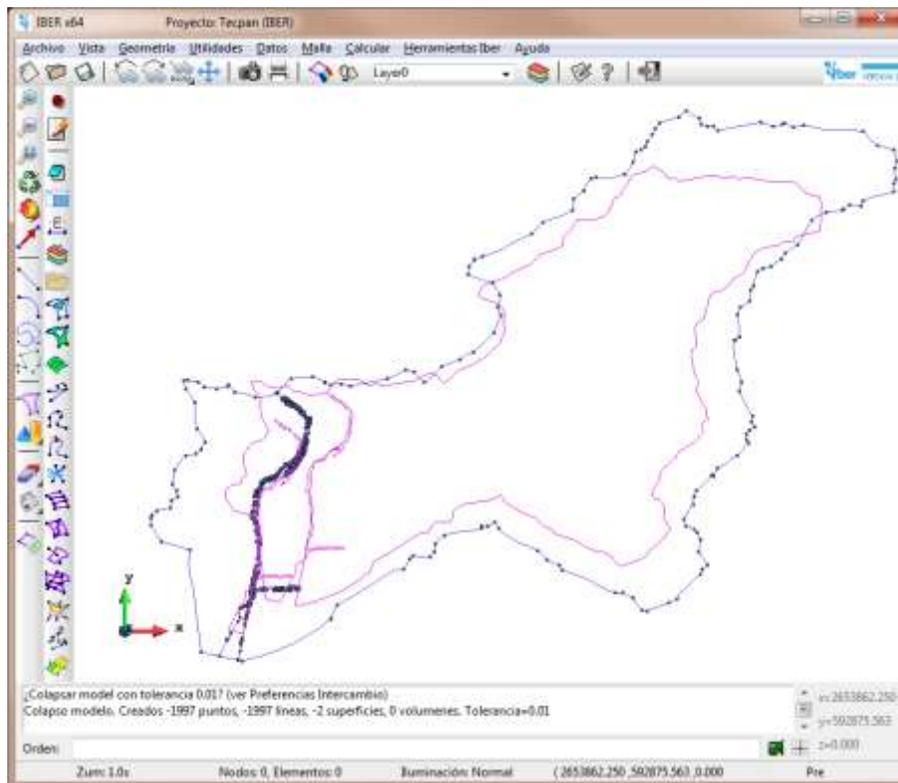


Figura 5.8 Modelo en IBER donde se indica las condiciones de frontera

Otra condición de frontera corresponde a la precipitación para los diferentes periodos de retorno que se presenta directamente en la zona a modelar, la cual corresponde a las zonas urbanas y de aportación del afluente principal denominado río Juquiaqui.

5.4 Resultados

En 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 (Figura 5.9, Figura 5.11, Figura 5.13, Figura 5.15, Figura 5.17), las velocidades de inundación (Figura 5.10, Figura 5.12, Figura 5.14, Figura 5.16, Figura 5.18) y la severidad para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 50 y 100 años; así como el riesgo actual.

Las siguientes figuras muestran los resultados gráficos desde un punto de vista hidráulico en las que visualmente se exhiben las zonas de inundación las cuales tendrán que verificarse físicamente. Y de manera complementaria, se muestran los hidrogramas de salida de la zona de estudio, estos hidrogramas son totalizados y muestran el resultado del total de las salidas, sólo cabe aclarar que el mayor porcentaje vierte hacia el norte en la zona que exhibe mayores problemas y que cuenta actualmente con drenaje entubado.

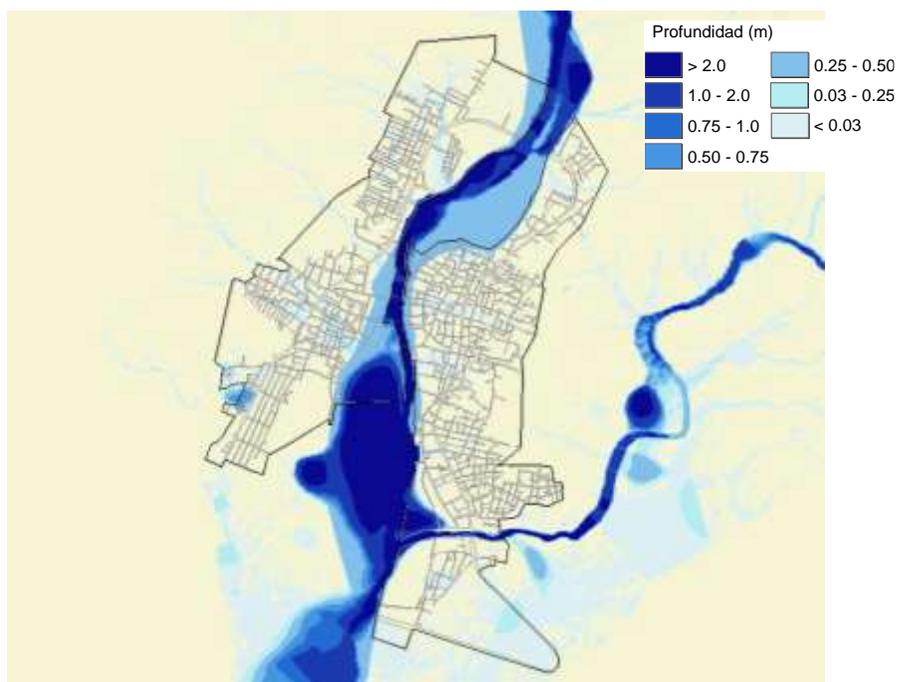


Figura 5.9 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años

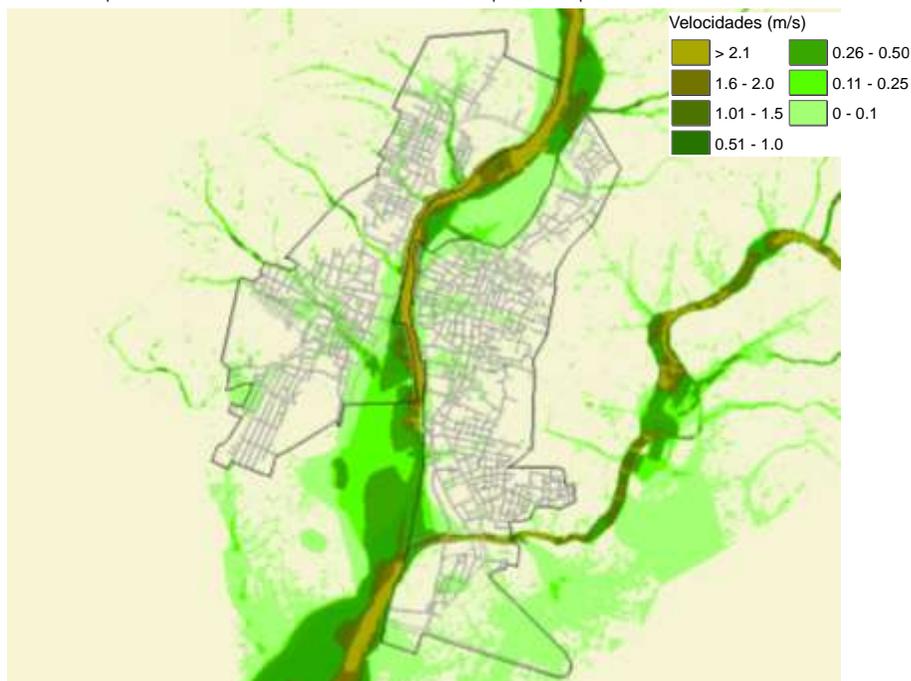


Figura 5.10 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 2 años

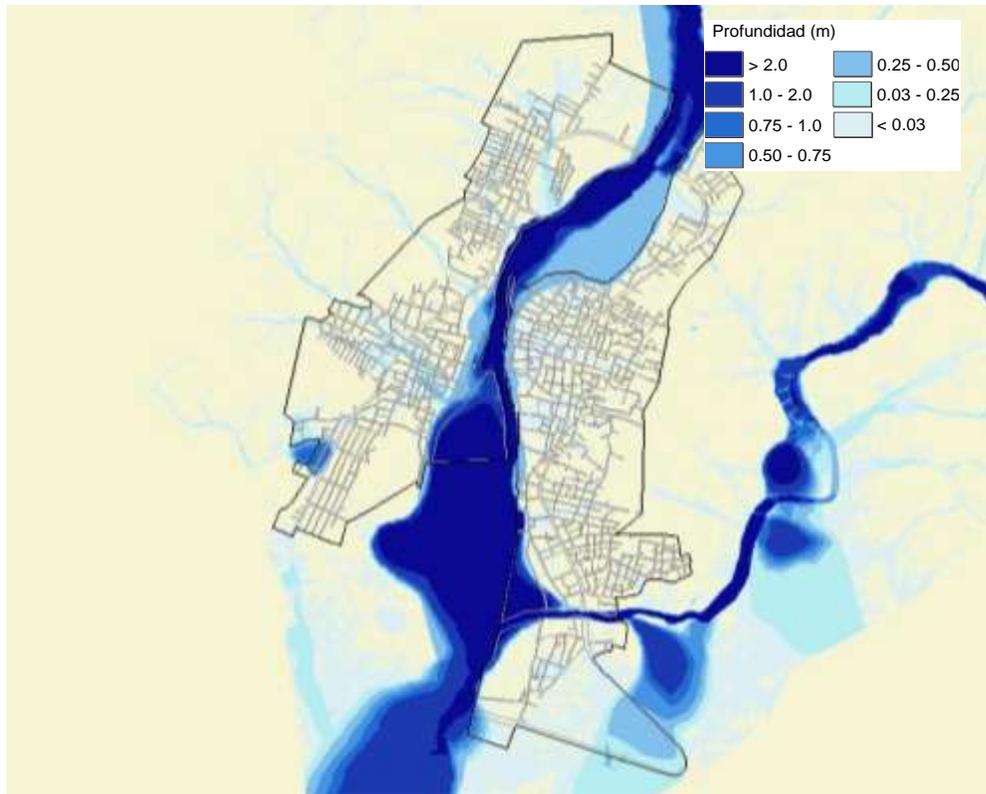


Figura 5.11 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años

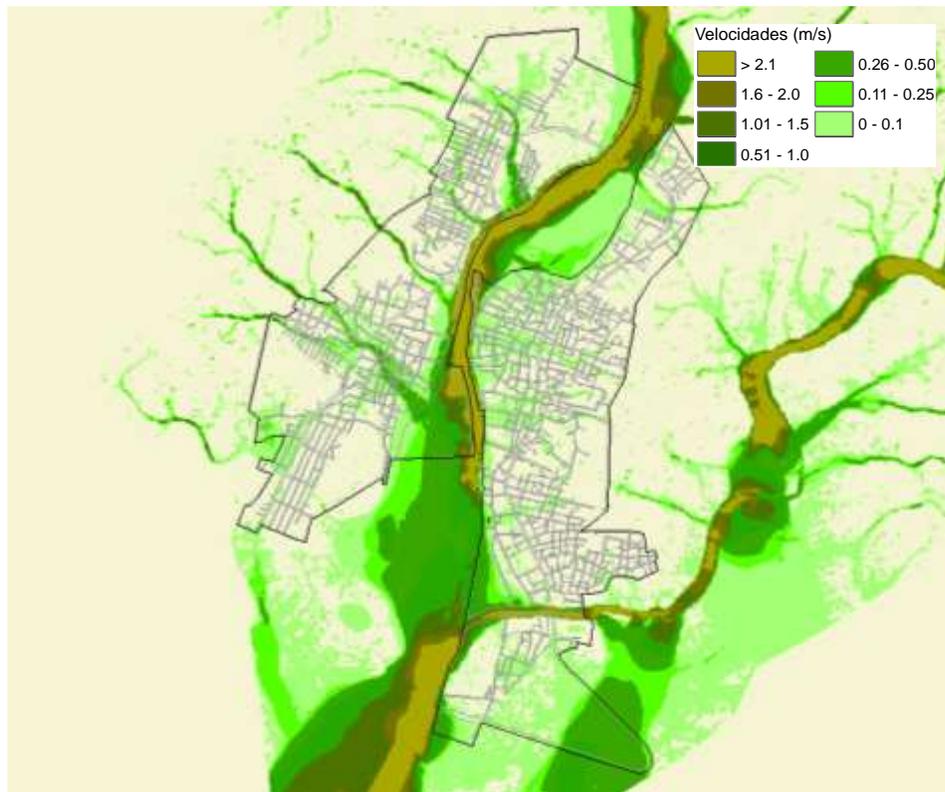


Figura 5.12 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años

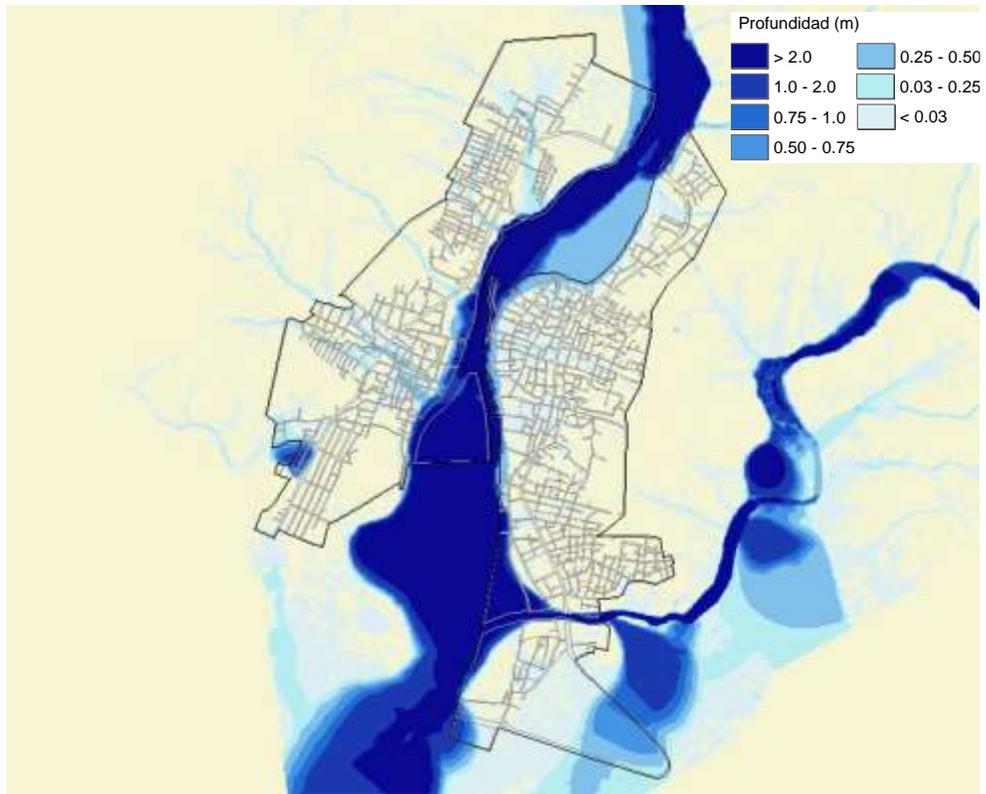


Figura 5.13 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años

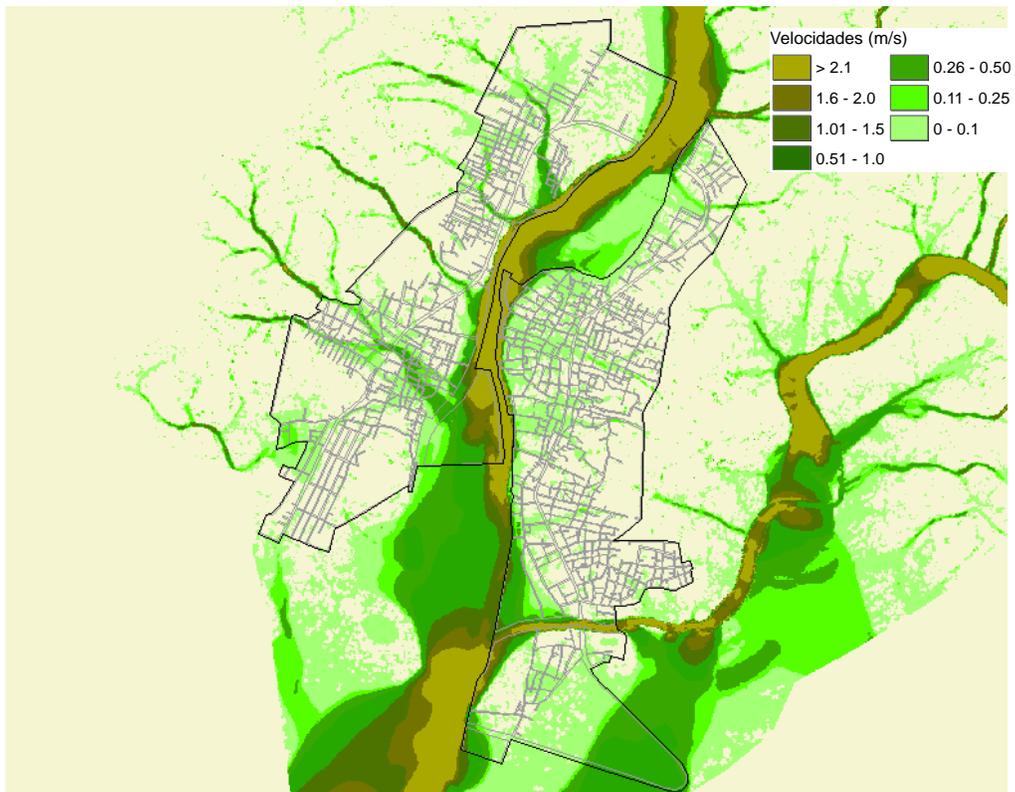


Figura 5.14 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años

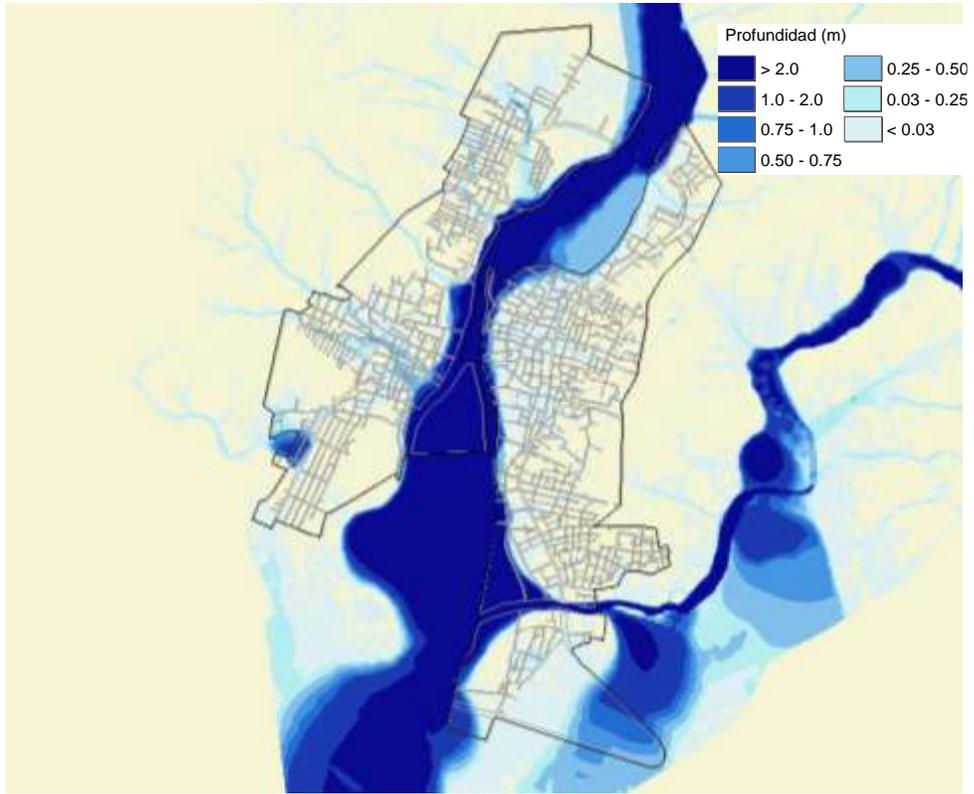


Figura 5.15 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años

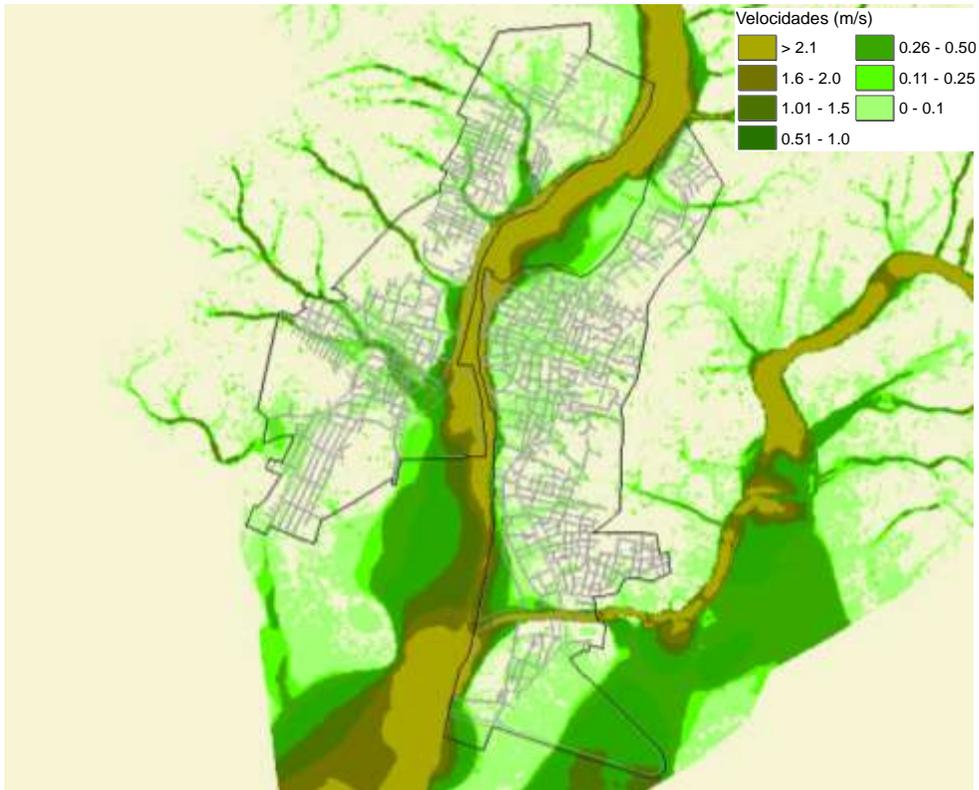


Figura 5.16 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años

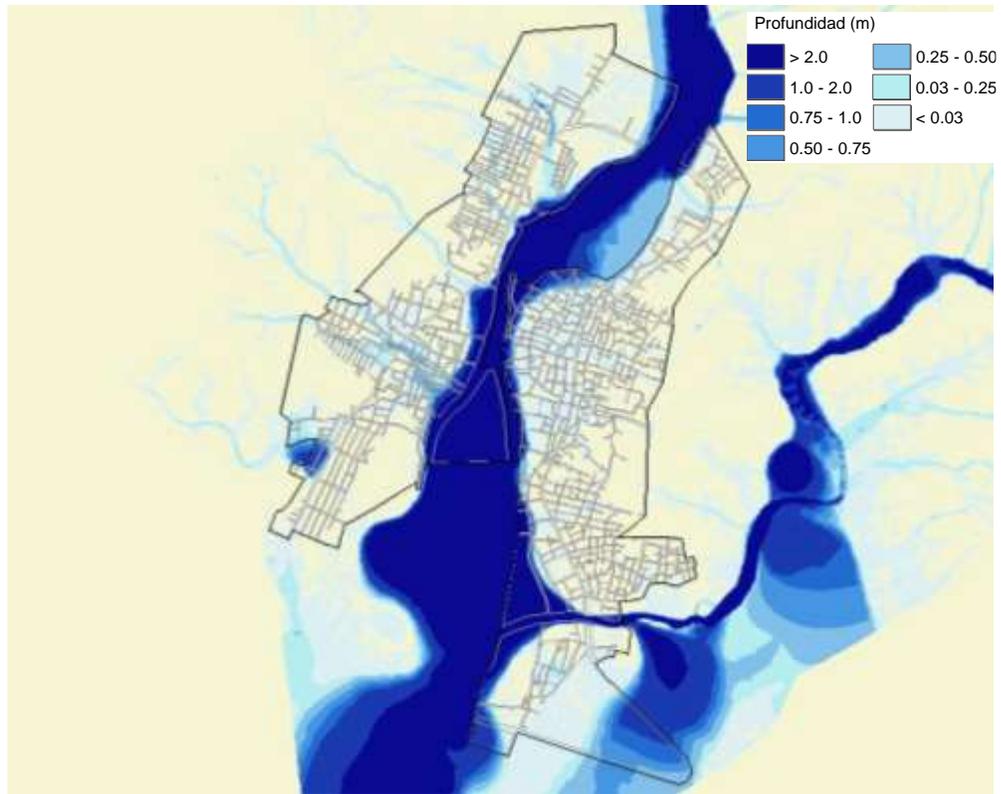


Figura 5.17 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años

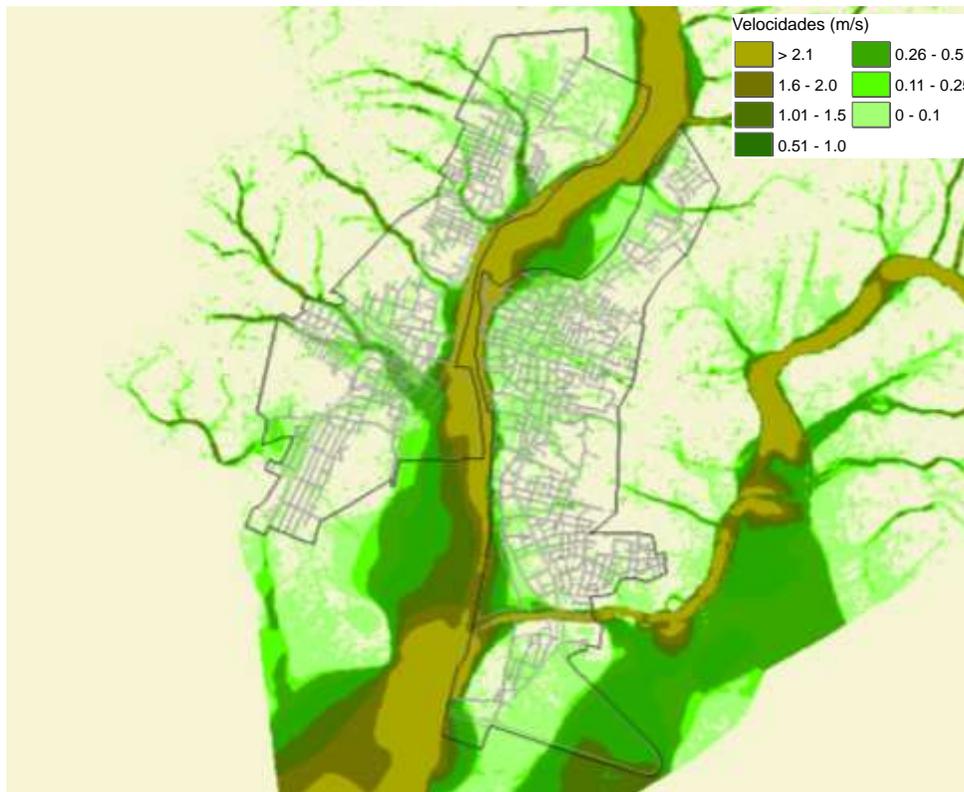


Figura 5.18 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años

5.5 Análisis de los resultados

La modelación hidráulica incluye, por un lado, la geometría de la zona de simulación con el total de la extensión de la mancha urbana que se ve incrementada por el total de las zonas tributarias que vierten hacia la red principal de ríos. Por otro lado, se tiene la geometría de la zona de simulación, dicha geometría es complementada con información de usos y tipo de suelos que describen el complemento de las características físicas del modelo aportan información para la geometría de la zona y datos para la selección de la rugosidad que es un parámetro hidráulico en la simulación bidimensional utilizada.

Los resultados de la simulación correspondiente a un periodo de retorno de 2 años (Figura 5.19) exhiben que no hay zonas de inundación dentro de la zona urbana, destacan una pequeña zona con inundaciones aguas arriba del cruce con la zona urbana y el río Juquiaqui de hasta 50 cm, se asume que es un efecto de la falta de dragado del MDE.



Figura 5.19 Hidrograma de salida para un Tr = 2 años

Los resultados de la simulación correspondiente a un periodo de retorno de 5 años (Figura 5.20) exhiben que no hay zonas de inundación dentro de la zona urbana, nuevamente destacan una zona con inundaciones aguas arriba del cruce con la zona urbana y el río Juquiaqui de hasta 50 cm, se asume el mismo efecto de la falta de dragado del MDE.



Figura 5.20 Hidrograma de salida para un Tr = 5 años

Los resultados de la simulación correspondiente a un periodo de retorno de 10 años (Figura 5.21) exhiben algunas zonas de inundación entre la zona urbana de Tecpan y El Suchil, nuevamente se observan inundaciones aguas arriba del cruce con la zona urbana y el río Juquiaqui que se observa pudieran llegar a la mancha urbana al sur de la localidad, se asume el efecto de la falta de dragado del MDE.



Figura 5.21 Hidrograma de salida para un Tr = 10 años

La simulación correspondiente al periodo de retorno de 50 años (Figura 5.22) exhiben zonas de inundación más importantes entre las zonas urbanas de Tecpan y El Suchil, estos resultados promueven una mayor vigilancia al crecimiento de la mancha urbana entre dichas localidades, nuevamente se observan inundaciones aguas arriba del cruce con la zona urbana y el río Juquiaqui.

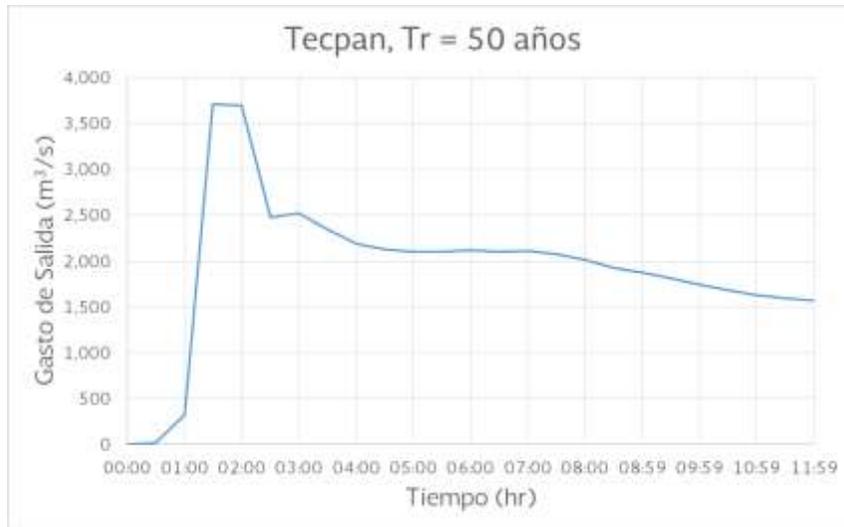


Figura 5.22 Hidrograma de salida para un Tr = 50 años

La simulación correspondiente al periodo de retorno de 100 años (Figura 5.23) exhibe zonas de inundación más importantes entre las zonas urbanas de Tecpan y El Suchil, esa zona de inundación aparece en todos los escenarios asociados con los periodos de retorno estudiados.



Figura 5.23 Hidrograma de salida para un Tr = 100 años

En principio, la topografía de esa zona es un efecto del modelo digital de elevación del INEGI, pero no se debe de perder de vista que es una zona natural de inundación entre las manchas urbanas mostradas y en consecuencia, es necesario tomar las medidas preventivas para que la mancha urbana no invada esa zona natural de inundación, estos resultados promueven una mayor vigilancia al crecimiento de la mancha urbana entre dichas localidades, se verificó mediante la evolución de imágenes de satélite del Google Earth, que esa zona fue afectada severamente durante los eventos asociados a los

ciclones Ingrid y Manuel, la zona entre dichas localidades tuvo una gran erosión durante el evento ocurrido en septiembre de 2013 y dragados posteriores que hacen una realidad física muy diferente a las condiciones actuales y la información fuente de los modelos digitales de elevación elaborados por el INEGI, nuevamente se observan inundaciones aguas arriba del cruce con la zona urbana y el río Juquiaqui, se verificó con base en un análisis histórico de las imágenes de satélite de Google Earth que los desbordamientos del río hacia el sur se presentan de manera natural y el efecto del modelo hidráulico reproduce esas condiciones de inundación.

La gestión de las tierras inundables sigue siendo responsabilidad de los gobiernos locales. El gobierno del estado debe proporcionar asesoramiento técnico y especialista en asistencia para los estudios financieros y de capital, ayudar a los comisiones en el desempeño de sus responsabilidades de gestión en las llanuras de inundación.

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 5.24). 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.

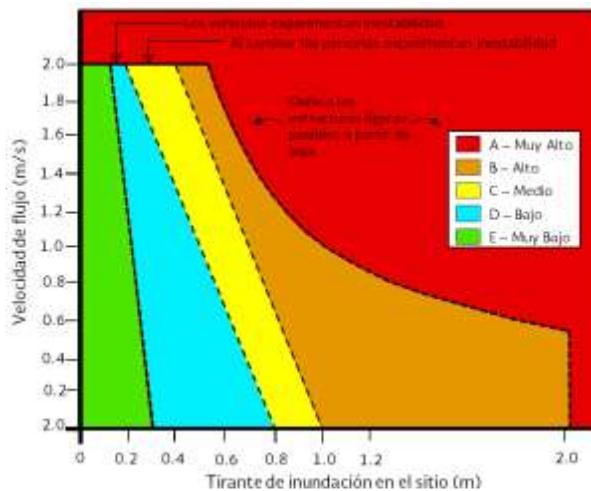


Figura 5.24 Diagrama de Dórrigo, Peterson, 2007

El Diagrama de Dórrigo (Figura 5.24) presenta un cuadrante coordenado 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 5.25 se observa el criterio adoptado para clasificar la severidad ante una inundación.

Índices de severidad		<i>Letra</i>	<i>Índice</i>	<i>Color</i>
	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 5.25 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 5.26) y la envolvente de velocidades máximas (Figura 5.27).



Figura 5.26 Envolvente de tirantes máximos



Figura 5.27 Envolvente 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 5.28).

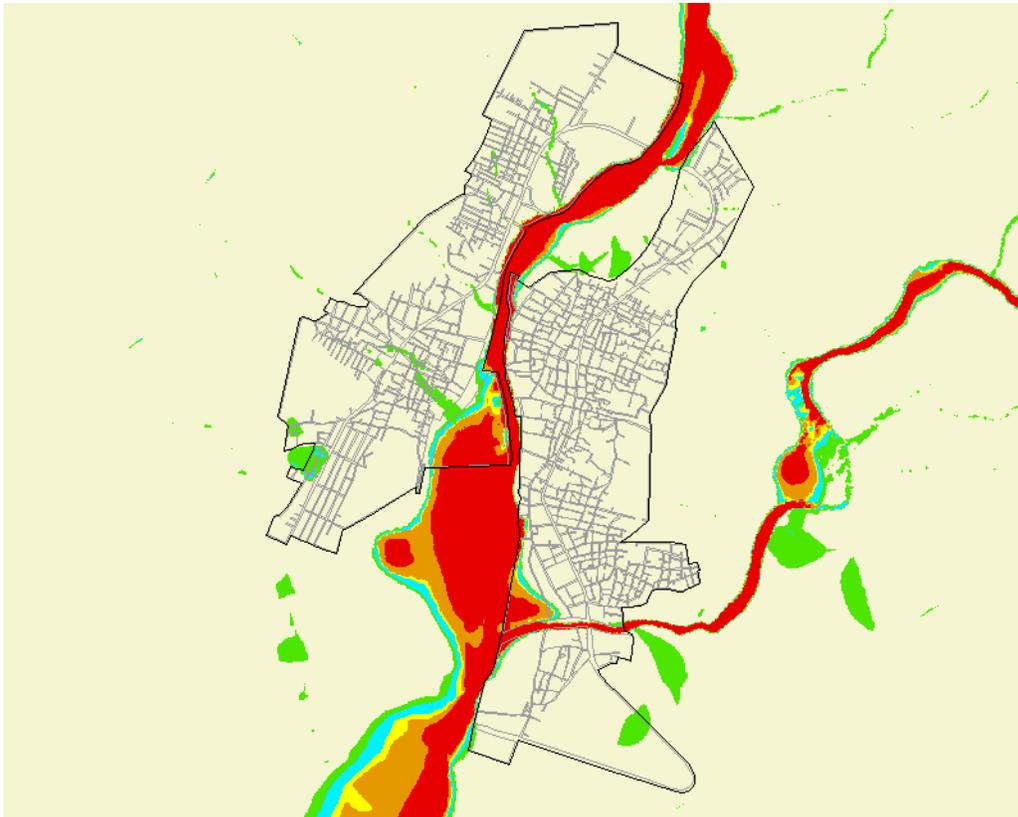


Figura 5.28 Mapa de severidad

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 Dorrigo en Paterson (2007), que corresponde a la dupla (velocidad, profundidad), donde los daños más severos o críticos están en la zona profundidad y velocidad mayor a 2 metros.

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

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

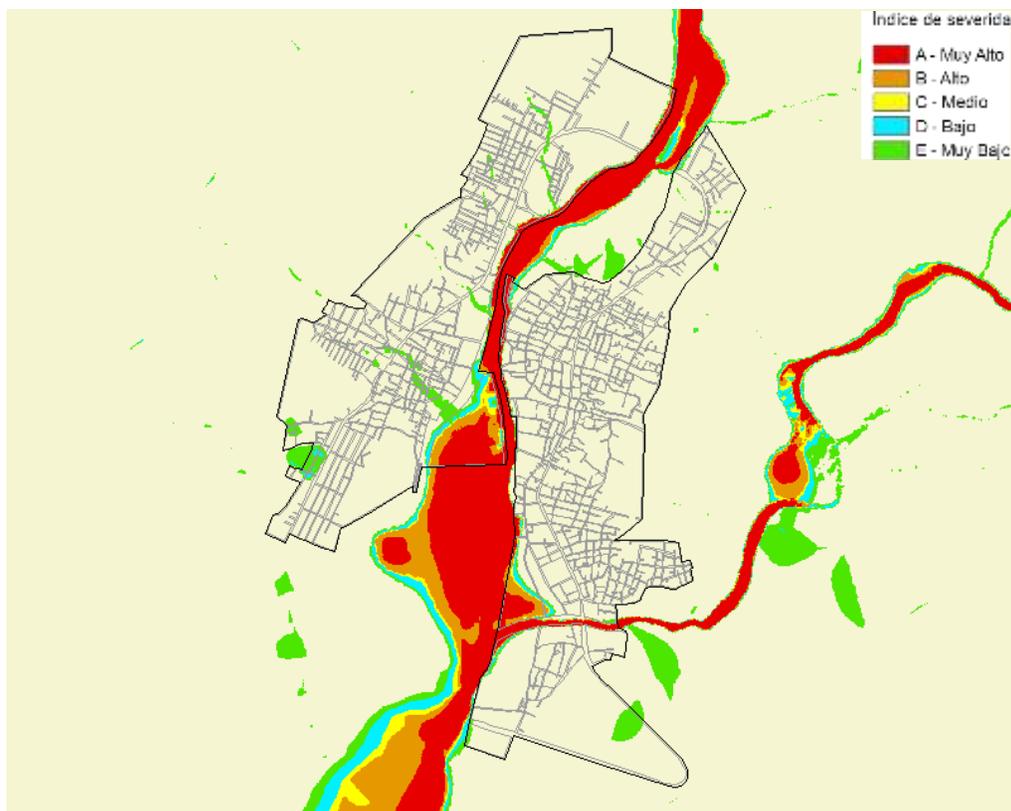


Figura 5.29 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 2 años

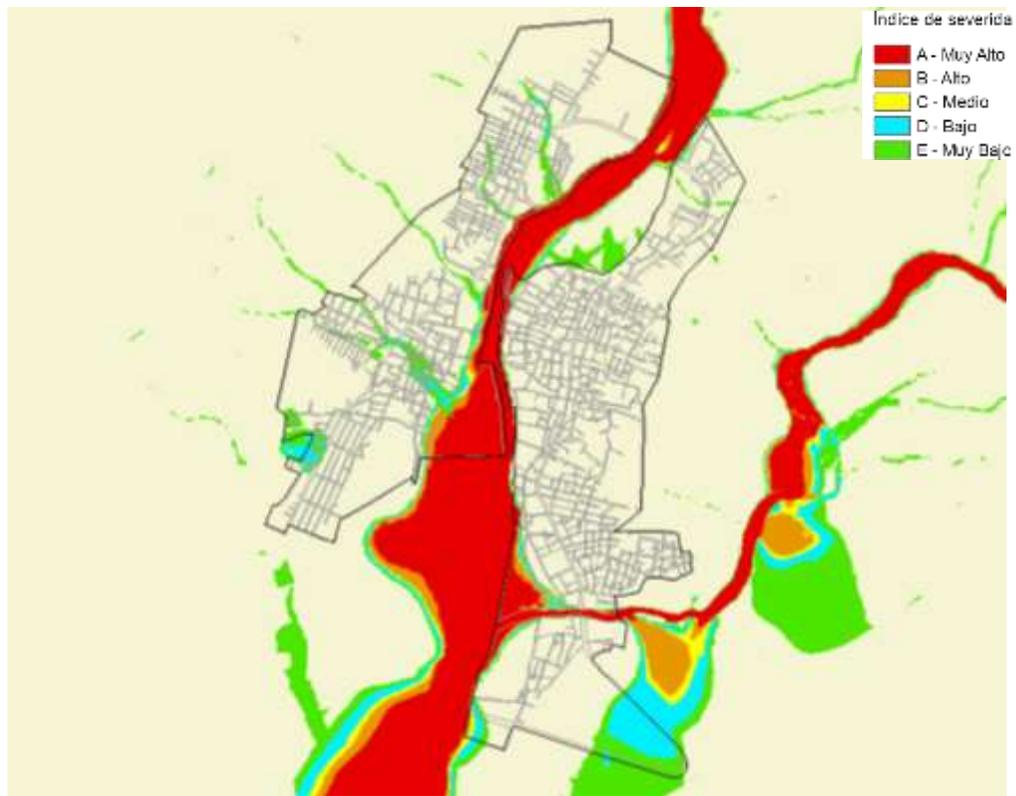


Figura 5.30 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 5 años

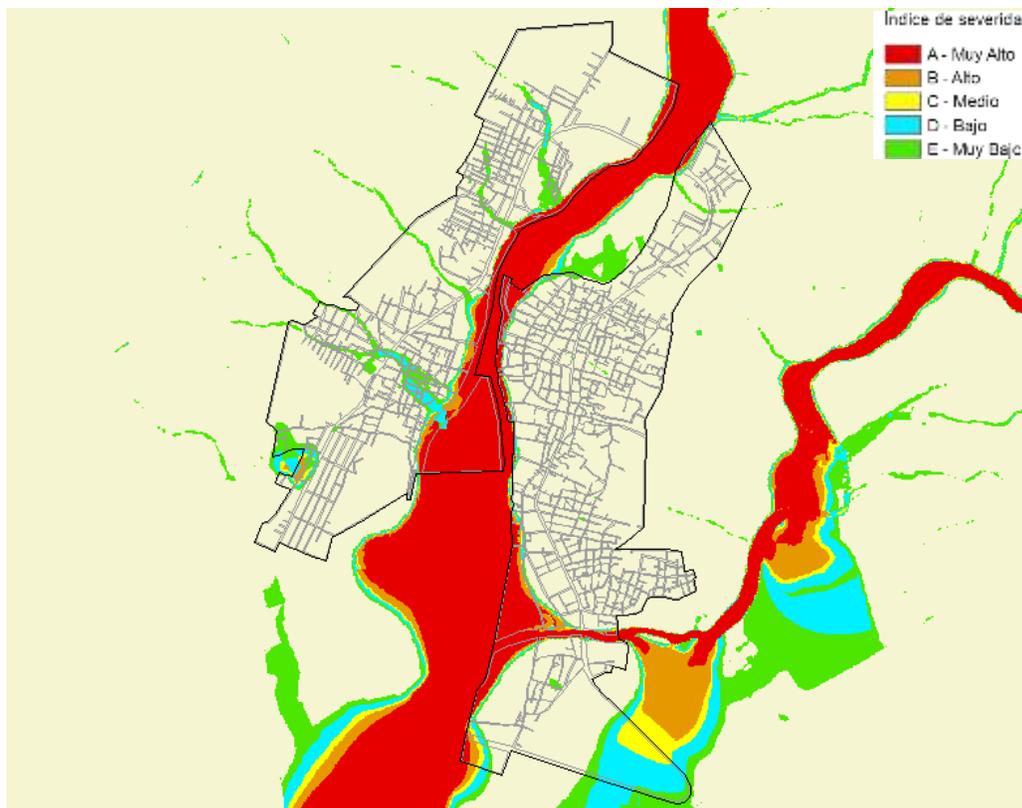


Figura 5.31 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 10 años

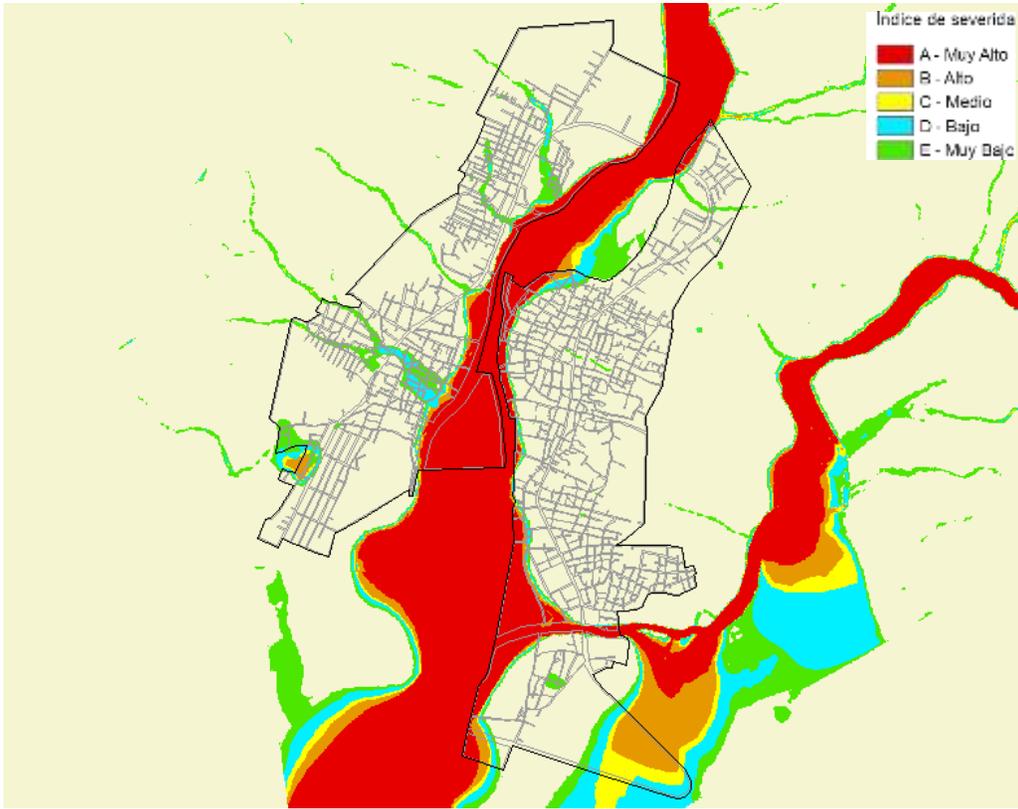


Figura 5.32 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años

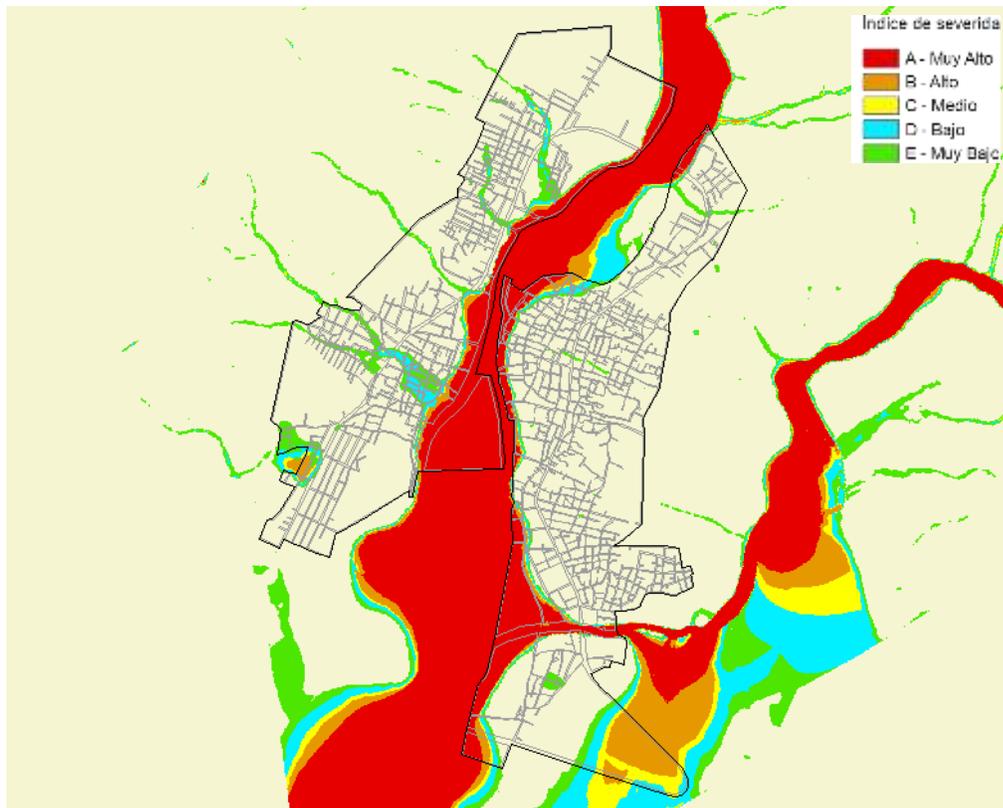


Figura 5.33 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años

GLOSARIO

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

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

Área de Aportación. Véase cuenca (4).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Monitoreo (Vigilancia). Sistema que permite la observación, medición y evaluación 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/reclat/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 al. (2012) Economic evaluation of structural and non-structural flood risk management measures: examples from the Mulde River. *Nat Hazards* (2012) 62:301-324. DOI 10.1007/s11069-011-9997-z. Received: 21 April 2011 / Accepted: 25 September 2011 / Published online: 14 October 2011_ Springer Science+Business Media B.V. 2011.

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

Paterson Consultants Pty Limited, 2007. Dorrigo Flood Study. Final Report. Bellingen Shire Council. December 2007. Consultado en:

http://www.bellingen.nsw.gov.au/index.php?option=com_content&view=article&id=47576:dorrigo-flood-study&catid=523&Itemid=1711

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

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

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

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

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

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