



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 TAMAZUNCHALE, SAN LUIS POTOSÍ.
REGIÓN HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA IX, GOLFO
NORTE**

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Programa Contra Contingencias Hidráulicas para
la Zona Urbana de Tamazunchale, San Luis Potosí

Región Hidrológico-Administrativa IX, Golfo
Norte

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..... | 8 |
| 2.4 | Matriz de análisis de la ley estatal de protección civil..... | 10 |
| 2.5 | Instituciones involucradas en la gestión de crecidas | 12 |
| 2.5.1 | Atribuciones de las instituciones involucradas con la atención a fenómenos hidrometeorológicos..... | 14 |
| 3. | Caracterización de la cuenca y de las zonas inundables | 20 |
| 3.1 | Identificación de zonas potencialmente inundables..... | 20 |
| 3.2 | Socioeconómica..... | 21 |
| 3.3 | Fisiográfica, meteorológica e hidrológica..... | 22 |
| 3.3.1 | Subcuencas de aportación | 22 |
| 3.3.2 | Relieve..... | 24 |
| 3.3.3 | Uso de suelo..... | 24 |
| 3.3.4 | Edafología..... | 25 |
| 3.3.5 | Precipitación..... | 26 |
| 3.3.6 | Escurrimientos..... | 27 |
| 3.4 | Características geomorfológicas de los cauces y planicies de inundación | 28 |
| 3.5 | Descripción de inundaciones históricas relevantes | 31 |
| 3.6 | Obras de protección contra inundaciones y acciones no estructurales existentes..... | 32 |
| 3.7 | Identificación de actividades actuales en las planicies de inundación..... | 33 |
| 4 | Diagnóstico de las zonas inundables..... | 35 |
| 4.1 | Monitoreo y vigilancia de variables hidrometeorológicas..... | 35 |
| 4.2 | Pronóstico de avenidas y sistemas de alerta temprana | 36 |
| 4.3 | Funcionalidad de las acciones estructurales y no estructurales existentes..... | 36 |
| 4.4 | Identificación de los actores sociales involucrados en la gestión de crecidas | 37 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.5 | Identificación de la vulnerabilidad a las inundaciones | 38 |
| 4.6 | Identificación y análisis de la coordinación entre instituciones involucradas en la gestión de crecidas..... | 41 |
| 5 | Evaluación de riesgos de inundación | 43 |
| 5.1 | Estimación de caudales y tormentas de entrada al sistema | 43 |
| 5.1.1 | Cálculo de la precipitación media de diseño..... | 43 |
| 5.1.2 | Construcción de tormentas hipotéticas | 46 |
| 5.2 | Modelo hidráulico | 50 |
| 5.2.1 | Condiciones de frontera..... | 50 |
| 5.2.2 | Procesamiento del modelo digital de elevaciones | 51 |
| 5.2.3 | Infraestructura..... | 53 |
| 5.3 | Simulación en las condiciones actuales | 53 |
| 5.4 | Resultados..... | 57 |
| 5.5 | Análisis de los resultados | 63 |
| 5.6 | Elaboración del mapa de severidad..... | 66 |
| | GLOSARIO | 73 |
| | REFERENCIAS..... | 78 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 Gestión integrada de crecidas..... | 4 |
| Figura 3.1 Ubicación..... | 20 |
| Figura 3.2 Zonas potencialmente inundables..... | 21 |
| Figura 3.3 Zona urbana de Tamazunchale..... | 22 |
| Figura 3.4 Subcuencas de aportación..... | 23 |
| Figura 3.5 Relieve..... | 24 |
| Figura 3.6 Uso de suelo..... | 25 |
| Figura 3.7 Edafología..... | 25 |
| Figura 3.8 Estaciones climatológicas..... | 26 |
| Figura 3.9 Precipitación máxima en 24h por año registradas en las estaciones climatológicas..... | 27 |
| Figura 3.10 EMA's..... | 27 |
| Figura 3.11 Estaciones hidrométricas..... | 28 |
| Figura 3.12 Ríos principales..... | 29 |
| Figura 4.1 Marginación en la zona urbana de Tamazunchale, San Luis Potosí..... | 40 |
| Figura 5.1 Curva masa de precipitación en 24 horas..... | 46 |
| Figura 5.2 Hidrograma de ingreso en el río Moctezuma..... | 49 |
| Figura 5.3 Hidrograma de ingreso en el río Amajac..... | 50 |
| Figura 5.4 Vectores que delimitan el ancho de los ríos..... | 52 |
| Figura 5.5 Malla definida para el análisis hidráulico con IBER..... | 53 |
| Figura 5.6 Variación del coeficiente de rugosidad de Manning en la zona..... | 55 |
| Figura 5.7 Esquema del modelo hidráulico..... | 56 |
| Figura 5.8 Modelo en IBER donde se indica las condiciones de frontera..... | 57 |
| Figura 5.9 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años..... | 58 |
| Figura 5.10 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 2 años..... | 58 |
| Figura 5.11 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años..... | 59 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.12 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años | 59 |
| Figura 5.13 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años | 60 |
| Figura 5.14 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años | 60 |
| Figura 5.15 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años | 61 |
| Figura 5.16 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años | 61 |
| Figura 5.17 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años | 62 |
| Figura 5.18 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años | 62 |
| Figura 5.19 Hidrograma de salida para un $Tr = 2$ años | 63 |
| Figura 5.20 Hidrograma de salida para un $Tr = 5$ años | 64 |
| Figura 5.21 Hidrograma de salida para un $Tr = 10$ años | 64 |
| Figura 5.22 Hidrograma de salida para un $Tr = 50$ años | 65 |
| Figura 5.23 Hidrograma de salida para un $Tr = 100$ años..... | 65 |
| Figura 5.24 Diagrama de Dórrigo, Peterson, 2007 | 66 |
| Figura 5.25 Código de colores para elaborar mapas de severidades..... | 66 |
| Figura 5.26 Envolverte de tirantes máximos | 67 |
| Figura 5.27 Envolverte de velocidades máximas | 67 |
| Figura 5.28 Mapa de severidad..... | 68 |
| Figura 5.29 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 2 años..... | 69 |
| Figura 5.30 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 5 años..... | 69 |
| Figura 5.31 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 10 años..... | 70 |
| Figura 5.32 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años..... | 70 |
| Figura 5.33 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años | 71 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1 Tipos de vulnerabilidad | 6 |
| 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 san Luis Potosí . | 11 |
| Tabla 2.4 Ámbito de competencia de las instituciones involucradas | 14 |
| Tabla 3.1 Subcuencas..... | 23 |
| Tabla 3.2 Uso de suelo..... | 24 |
| Tabla 3.3 Edafología..... | 25 |
| Tabla 3.4 Estaciones climatológicas | 26 |
| Tabla 3.5 Características generales de los cauces | 29 |
| Tabla 3.6 Descripción de los cuatro grupos de suelo | 30 |
| Tabla 3.7 Valores del número de escurrimiento | 30 |
| Tabla 3.8Ciclones que han impactado al estado de San Luis Potosí..... | 32 |
| Tabla 4.1 Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie, en km ² por estación) | 35 |
| Tabla 4.2 Superficie de cobertura por estación | 35 |
| Tabla 4.3 Dimensiones e indicadores del índice de marginación urbana por AGEB, 2010 | 39 |
| Tabla 4.4 complemento a las dimensiones consideradas por el IMU | 39 |
| Tabla 4.5 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Tamazunchale, SLP. | 40 |
| Tabla 5.1 Distribución de estaciones pluviométricas (más de 20 años completos), en la República Mexicana..... | 44 |
| Tabla 5.2 Lluvia máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno (CENAPRED) | 45 |
| Tabla 5.3 Lluvia máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno..... | 45 |
| Tabla 5.4 Altura de precipitación a cada diez minutos (mm) | 46 |
| Tabla 5.5 Intensidad de lluvia a cada diez minutos (mm/hr) | 48 |
| Tabla 5.6 Análisis estadístico de escurrimiento en Tamazunchale | 48 |
| Tabla 5.7 Datos fisiográficos..... | 49 |

Tabla 5.8 Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning “n” de acuerdo con el uso del suelo..... 55

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 volumen de agua almacenada en 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 Tamazunchale, San Luis Potosí*, que pertenece a la Región Hidrológico Administrativa IX, Golfo Norte. Contiene la caracterización de la zona urbana, considerando los aspectos económicos, sociales y ambientales y el diagnóstico de la problemática existente.

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 humanas y animales masivas; degradación del medio ambiente; y 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 Sudáfrica – 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, Japón (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, Japón (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 con ello 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 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 |
| | Predicción y alerta de crecidas |
| Atenuar los efectos de las inundaciones | Información y educación |
| | Preparación en caso de desastres |
| | Medidas de recuperación después de la inundación |
| | Seguro contra inundaciones |
| Preservar los recursos naturales de las llanuras de inundación | Determinación de zonas y regulación de las planicies de inundación |

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 (prevaleciendo acciones no estructurales por encima de las estructurales), se incluyen a todos los actores involucrados en la gestión de las crecidas, definiendo fronteras geográficas y límites funcionales para evitar traslape de tareas antes, durante y después de que ocurra la inundación.

No obstante, para la aplicación efectiva del concepto de GIC en el ámbito urbano, es necesario disponer de un entorno propicio en términos de política, legislación e información; una clara definición de los papeles y las funciones institucionales; e instrumentos de gestión que permitan proceder de forma eficaz a la formulación de normas, seguimiento y cumplimiento de las leyes¹.

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.

¹ Gestión Integrada de Crecidas: Documento Conceptual, Organización Meteorológica Mundial, 2009

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

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

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

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

Consecutivamente, SEGOB remite el expediente a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y le solicita convoque a sesión del comité técnico del fideicomiso FONDEN para que éste autorice los recursos los cuales quedan etiquetados en el Fideicomiso FONDEN en una subcuenta específica por cada programa de reconstrucción. Los recursos son transferidos por BANOBRAS (en su carácter de institución fiduciaria) de estas subcuentas a las empresas proveedoras de servicios de reconstrucción, previa presentación de las facturas de avance de la ejecución de las obras. Los recursos del FONDEN financian 100% los costos de reconstrucción de activos federales y 50 por ciento de los activos locales.

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

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

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

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

2.4 Matriz de análisis de la ley estatal de protección civil

La ley de Protección civil del Estado de San Luis Potosí fue publicada en el periódico oficial del gobierno del estado el 27 de junio de 1998 y su última reforma corresponde al 9 de noviembre del 2010. De acuerdo a su la Constitución Política, el estado tiene la finalidad de proteger a la población en su integridad física, sus bienes y su entorno natural.

La entidad, por su ubicación geográfica y características de desarrollo, está expuesto a sufrir desastres provocados por la acción humana o por fenómenos naturales altamente destructivos, principalmente los de carácter meteorológico que afectan aleatoriamente a los conglomerados urbanos y rurales del Estado. El objetivo de la Protección Civil es salvaguardar la integridad de la persona y de la sociedad, ante la eventualidad de un desastre provocado por agentes naturales o humanos, a través de acciones que reduzcan o eviten la pérdida de vidas humanas, la destrucción de bienes materiales y el daño a la naturaleza, así como la interrupción de las funciones esenciales de la sociedad (Tabla 2.3).

El Sistema Estatal de Protección Civil está contenido en un marco jurídico integral, que establece las normas y lineamientos para la participación de las autoridades y la sociedad ante situaciones de desastre. Considerando primordialmente a la Protección Civil como una tarea de instituciones, la ley las dota de reglas, procedimientos, recursos técnicos y autoridad jurídica, mediante la creación de normas precisas y procedimientos claros de protección civil, que sustentan la participación de las instituciones.

Tabla 2.3 Matriz de análisis de la Ley de Protección Civil del Estado de san Luis Potosí

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

| Lo que incluye | Lo que omite |
|----------------|---|
| | Autoridad para decidir ubicación de un refugio temporal |
| | Declaratoria de zonas de riesgo, para reubicación |

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

2.5 Instituciones involucradas en la gestión de crecidas

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

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

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

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

Internacionales

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) desde su creación, la OMM ha participado de forma excepcional e importante en la seguridad y el bienestar de la humanidad. En el marco de los programas de la OMM y bajo su dirección, los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales contribuyen sustancialmente a la protección de la vida humana y los bienes frente a los desastres naturales, a la salvaguardia del medio ambiente y a la mejora del bienestar económico y social de todos los sectores de la sociedad en esferas como la seguridad alimentaria, los recursos hídricos y el transporte.

Además, fomenta la colaboración entre los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales y favorece la aplicación de la meteorología a los servicios meteorológicos para el público, la agricultura, la aviación, la navegación, el medio ambiente, las cuestiones relacionadas con el agua y la atenuación de los efectos de los desastres naturales.

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

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

El Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO, reconoció que la gestión adecuada de los peligros relacionados con el agua es un factor esencial para el desarrollo humano y socioeconómico sustentable, y en particular para la atenuación de la pobreza (Gutiérrez López Alfonso, Revista Agua y Saneamiento, ANEAS, año 11, número 43, abril, mayo y junio de 2012, México).

La iniciativa internacional, comprende la gestión de riesgos y las emergencias, análisis de riesgos múltiples; bases de datos para evaluar el riesgo; modelación hidrológica, hidráulica y económica; cartografía de riesgos por inundaciones; medidas estructurales y no estructurales; la gobernabilidad y participación, reformas institucionales, pronósticos y alerta anticipada y sistemas de alerta, comunicación efectiva, vigilancia y respuesta a las alertas.

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

Federales

- Corresponde al Ejecutivo Federal en materia de protección civil, por conducto de la Secretaría de Gobernación, a través de la Coordinadora Nacional de Protección Civil.
- Comité Científico asesor sobre el Fenómeno Perturbador de carácter Hidrometeorológico, integrado por personal de la UNAM, CFE, CONAGUA, IMTA, U. de Guadalajara, SNEAM, CENAPRED.
- Secretaría 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)
- Secretaría de la Función Pública, hasta en tanto no se publique en el Diario Oficial de la Federación la Comisión Anticorrupción.
- En su caso, conjuntamente con los tres niveles de gobierno, Federal, Estatal y municipal.

Estatales

- El Ejecutivo Estatal (Gobernador) o también llamado mandatario estatal.

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

Municipales

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

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

En la Tabla 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,3 8FVII | Reglamento Interior.- DOF.- 17-10-2011.- Artículo 28 fracción XXXVI. Proponer directivas orientadas a la prevención y control de desastres en asuntos de su competencia.- Artículo 38 fracción VII. Planear, dirigir y coordinar el trabajo de ingenieros en beneficio de la Secretaría y de la población civil, en casos de desastres y demás necesidades públicas. |
| Secretaría de Marina (SEMAR) | 16FX,2FX | Reglamento Interior: DOF.-31-12-2012.- Artículo 16 fracción X.- Corresponde a la Dirección General de Investigación y Desarrollo.- Obtener, procesar y difundir información meteorológica y de fenómenos oceánicos y atmosféricos, coordinando lo que proceda con el Servicio Meteorológico Nacional. Ley Orgánica de la Armada de México. DOF 31/12/2012.- Artículo 2 fracción X.- El de realizar actividades de investigación científica, oceanográfica, meteorológica, biológica y de los recursos humanos, actuando por sí sólo o en coordinación con otras instituciones nacionales o extranjeras, o en coordinación con dependencias y entidades de la Administración Pública Federal. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 30 fracción XXI.- Participar y llevar a cabo las acciones que le corresponda dentro del marco del Sistema Nacional de Protección Civil para la prevención, auxilio, recuperación y apoyo a la población en situaciones de desastre. |
| Secretaría de Gobernación.- Comisionado nacional de seguridad. | 38FI | Reglamento Interior.- DOF 2-04-2013.- Artículo 38 fracción i.- Proponer al Secretario las Políticas, programas y acciones tendientes a garantizar la seguridad pública de la Nación y de sus habitantes, así como coordinar y supervisar su ejecución e informar sobre sus resultados. Reglamento del Servicio de Protección Federal.-DOF 9/112/2008.- Facultades del Comisionado.- Artículo 10 fracción VIII.- Apoyar la participación de las instituciones públicas federales en la implementación de programas de |

| Instituciones | Artículos | Atribuciones |
|--|----------------|---|
| | | 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. |
| 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. |

| Instituciones | Artículos | Atribuciones |
|--|--------------------|---|
| Secretaría de Educación Pública (SEP) | 38FXXI | Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 38 fracción XXI.- Conservar, proteger y mantener los monumentos arqueológicos, históricos y artísticos que conforman el patrimonio cultural de la Nación, atendiendo las disposiciones legales en la materia.- Referencia normativa.- Artículo 2.- Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas: El de utilidad pública, la investigación, protección, conservación, restauración y recuperación de los monumentos arqueológicos, artísticos e históricos y de las zonas de monumentos. |
| Secretaría de Salud (SS) | 39fi | Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 39 fracción I.- Establecer y conducir la política nacional en materia de asistencia social, servicios médicos y salubridad general, con excepción de lo relativo al saneamiento del ambiente; y coordinar los programas de servicios a la salud de la Administración Pública Federal, así como los agrupamientos por funciones y programas a fines, en su caso, se determinen. |
| Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) | 41 fi INCISO A Y B | Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 41 fracción I.- Impulsar en coordinación con las entidades estatales y municipales, la planeación y el ordenamiento del territorio nacional para su máximo aprovechamiento, con la formulación de políticas que armonicen: inciso a).- El crecimiento o surgimiento de asentamientos humanos y centros de población, inciso b).- la planeación habitacional y del desarrollo de viviendas. |
| Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal (CJEF) | 43FII | Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 43 fracción II.- Someter a consideración y, en su caso, firma del Presidente de la República todos los proyectos de iniciativa de leyes y decretos que se presenten al Congreso de la Unión o a una de sus cámaras, así como a la Asamblea de Representantes del Distrito Federal, y darle opinión sobre dichos proyectos. |
| Comisión para la Regularización de la Tenencia de la Tierra (CORETT) | 2FII | Decreto de creación: Promover la adquisición y enajenación de suelo y reservas territoriales para el desarrollo urbano y la vivienda en coordinación con otras dependencias y entidades federales, con los gobiernos de los estados con la participación de sus municipios, y del Distrito Federal, así como en concertación con los sectores social y privado particularmente con los núcleos agrarios. |
| Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) | 14 BIS 2FVII | Ley de Aguas Nacionales.- Atribuciones.- Artículo 14 BIS 3 fracción VII.- Realizar por sí o a solicitud estudios y brindar consultorías especializadas en materia de hidráulica, hidrología, control de calidad del agua, de gestión integrada de los recursos hídricos. |
| Comisión Federal de Electricidad (CFE) | 10FII | Estatuto Orgánico: El de atender los aspectos técnicos operativos relacionados con la generación, transmisión, transformación, control y distribución de energía eléctrica. |
| Secretaría de Marina - Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (SEMAR - CICESE) | 5FXXI | Reglamento interior, aquellas otras facultades que con ese carácter le confieran expresamente las disposiciones legales, y le asigne el Presidente de la República. |
| Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) | 2, 251FI | Ley del IMSS. DOF.- 31-03-2007.- Artículo 2.- Tiene como finalidad garantizar el derecho a la salud, la asistencia médica, la prestación de los medios de subsistencia y los servicios sociales necesarios para el bienestar individual y colectivo, así como el otorgamiento de una pensión que, en su caso y previo cumplimiento de los requisitos legales, será garantizado por el Estado. Artículo 251 fracción i.- Administrar los seguros de riesgos de trabajo, enfermedades y materiales, invalidez y vida, guardería y prestaciones sociales, salud para la familia, adicionales y otros, así como prestar los servicios de beneficios colectivos que señale esta Ley. |

| Instituciones | Artículos | Atribuciones |
|---|------------|---|
| Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) | 4FII,23FVI | Ley del ISSSTE.-DOF.-28-05-2012.- Artículo 4 fracción II, inciso d).- Préstamos personales extraordinarios para damnificados por desastres naturales.- Estatuto Orgánico artículo 23 fracción VI.- El de resolver bajo su inmediata directa responsabilidad los asuntos urgentes del instituto, a reserva de informar a la Junta sobre las acciones y los resultados obtenidos. |
| Distribuidora de Conasupo (DICONSA) | 2.1 | Reglas de Operación, el de contribuir a mejorar la nutrición como una capacidad básica de la población que habita en localidades rurales. 2.2. Abastecer localidades rurales de alta y muy alta marginación con productos, en forma eficaz y oportuna. |
| Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) | 109FI | El de investigar los peligros, riesgos y daños producidos por agentes perturbadores que puedan dar lugar a desastres integrando y ampliando los conocimientos de tales acontecimientos, en coordinación con las dependencias y entidades responsables. |
| Petróleos Mexicanos (PEMEX) | 4FII | Estatuto Orgánico de Petróleos Mexicanos, el de emitir a propuesta del Comité correspondiente las políticas y lineamientos en materia de, inciso f).- Programar y proyectos, contratación de terceros experto independiente, prelación entre los proyectos de gran magnitud alta prioridad y otros proyectos relevantes, así como los criterios para definir los casos y la etapa de la fase de los proyectos y programas de inversión de los organismos subsidiarios que deberán ser aprobados por el Consejo de Administración, previo acuerdo del Consejo de Administración del Organismo Subsidiario correspondiente. |
| Desarrollo Integral de la Familia (DIF) | 4FXXV | Estatuto Orgánico: Promover la atención y coordinación de las acciones de los distintos sectores sociales que actúen en beneficio de aquellos, en el ámbito de su competencia, en casos de desastres como inundaciones, terremotos, derrumbes, explosiones, incendios, y otros de naturaleza similar por los que se causen daños a la población, el organismo, sin perjuicio de las atribuciones que en auxilio de los damnificados lleve a cabo otras dependencias y entidades. |
| Universidad Autónoma de México (UNAM) | 1 | La Universidad Nacional Autónoma es una corporación pública-organismo descentralizado del estado - dotada de plena capacidad jurídica y que tiene por fines impartir educación superior para formar profesionales, investigadores, profesores universitarios y técnicos útiles a la sociedad; organizar y realizar investigaciones principalmente acerca de las condiciones y problemas nacionales, y extender con la mayor amplitud posible, los beneficios de la cultura. |
| 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 Tamazunchale, está ubicada en el sur del estado de San Luis Potosí, en la Región Hidrológico Administrativa Golfo Norte, Región Hidrológica Número 26, Cuenca del río Pánuco. El menor porcentaje de la cuenca tributaria está en el estado de San Luis Potosí y el resto en otras entidades federativas; casi la totalidad del estado de Hidalgo, también casi la totalidad del Distrito Federal y más de la mitad del estado de Querétaro, aproximadamente un tercio del Estado de México y en menor proporción parte de los estados de Puebla, Tlaxcala y Michoacán (Figura 3.1). La zona urbana se ubica en las coordenadas: 98°48' de longitud oeste y 21°16' de latitud norte, con una altura de 140 metros sobre el nivel del mar.

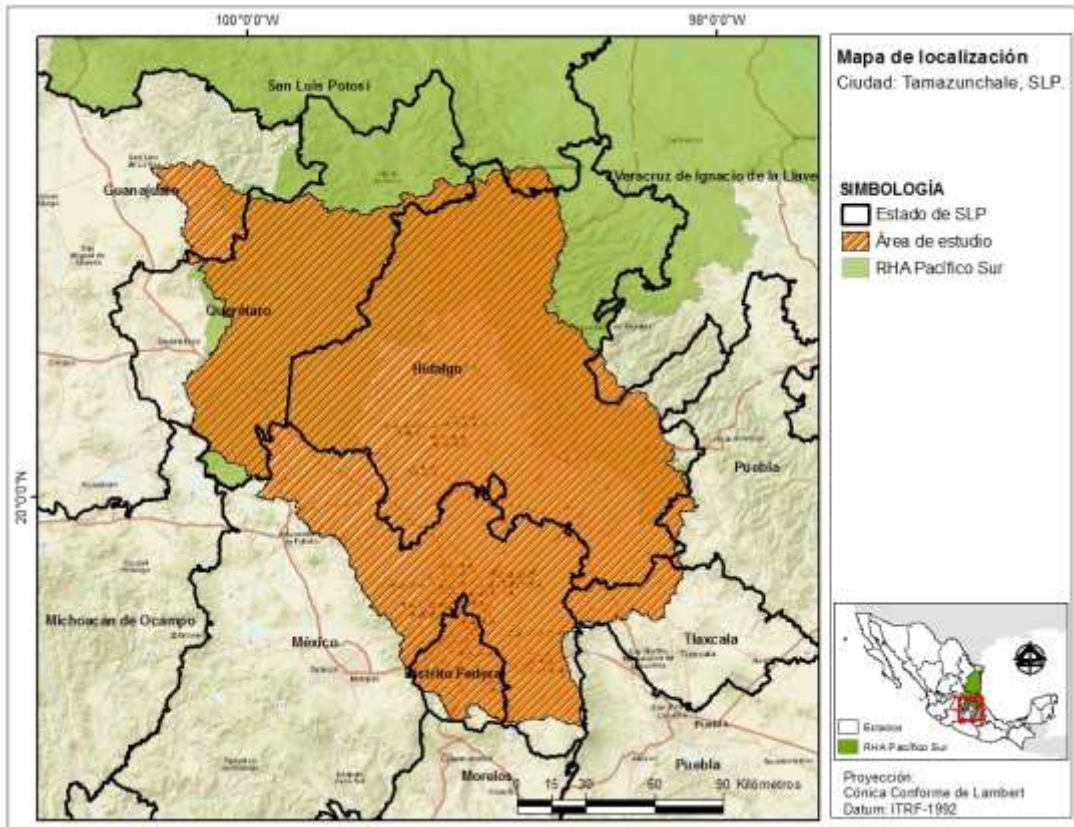


Figura 3.1 Ubicación

3.1 Identificación de zonas potencialmente inundables

De acuerdo con el Mapa Nacional de Índice de Inundación la zona urbana de Tamazunchale no tiene problemática de inundaciones, como se muestra en la Figura 3.2 si hay algunas poligonales cerca de la zona urbana, se tiene el conocimiento de problemática histórica de inundaciones en la zona urbana que es atravesada por dos corrientes principales afluentes del río Pánuco, por lo que es necesario estudiar con mejor detalle el problema de inundaciones

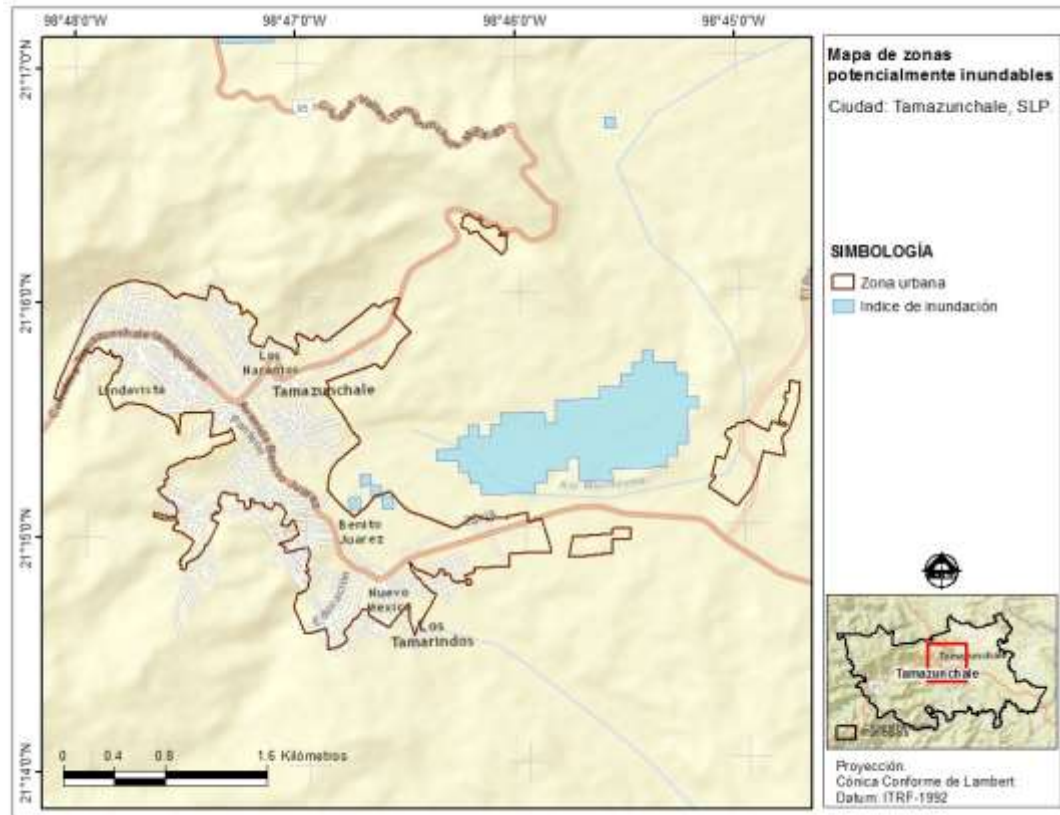


Figura 3.2 Zonas potencialmente inundables

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 pendiente². Su aplicación principal consiste en la identificación de humedales, definidos como zonas perennes o efimeramente 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

Tamazunchale es el nombre de una ciudad de San Luis Potosí, ubicada en el municipio del mismo nombre. Presentan una orografía montañosa y gran presencia de grupos indígenas. De acuerdo con los datos del Censo de Población y Vivienda 2010, la ciudad cuenta con una población de 24,562 habitantes, de los cuales 2,644 son menores de 5 años y 2,325 mayores de 60. Se contabilizan 1,072 personas con capacidades limitadas. En relación a la escolaridad, el grado promedio es de 9.52 años. La población económicamente activa asciende a 10,368 habitantes, y en materia de salud 9,039 no tienen derecho a servicios de salud. Del total de viviendas –7,545– 694 tienen piso de tierra y 5,218 cuentan con servicios.

²Beven, K.J. and Kirkby, M.J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrol. Sci. Bull. Vol. 24, no. 1, 1979, pp. 43-69.

3.3 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 en la confluencia de dos afluentes caudalosos del río Pánuco, el crecimiento en los últimos años hacia las zonas planas adyacentes de la localidad crea la necesidad de identificar bien las zonas de mayor riesgo de inundación para evitar el crecimiento de la mancha urbana hacia las mismas. (Figura 3.3).

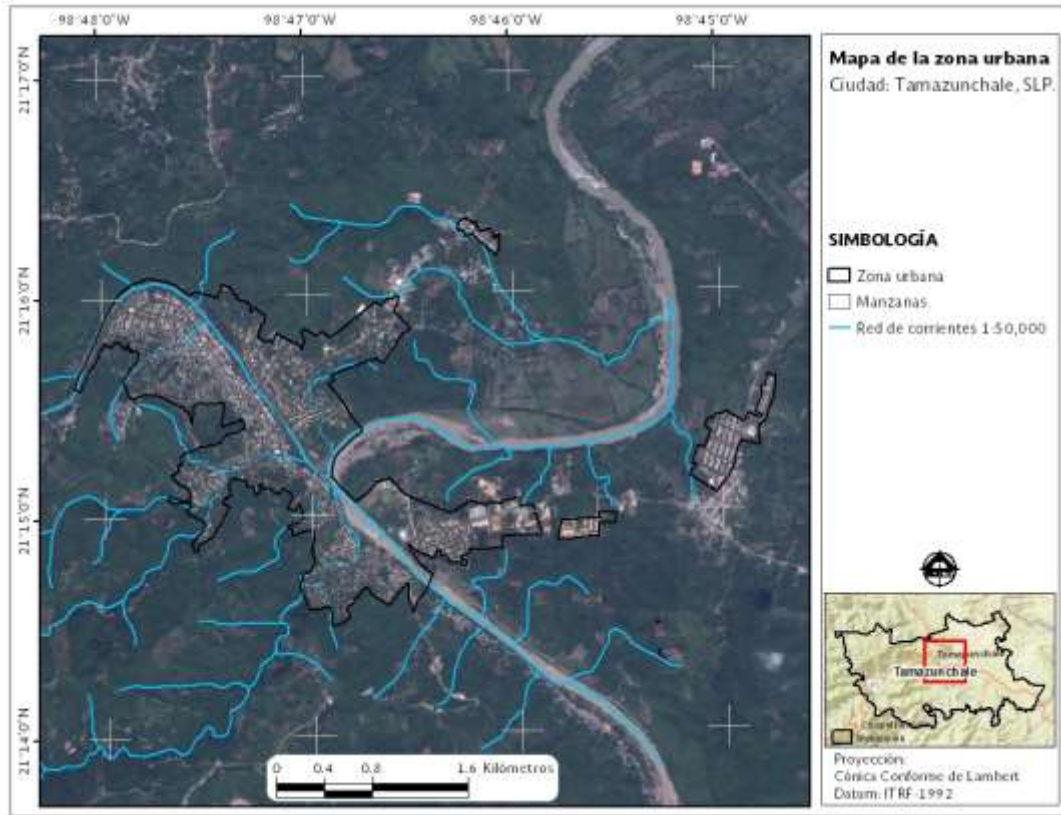


Figura 3.3 Zona urbana de Tamazunchale.

3.3.1 Subcuencas de aportación

Para estimar el riesgo de inundación en la zona urbana de Tamazunchale, se delimitaron las cuencas de aportación a la localidad, es necesario recordar que es una cuenca de aportación grande con una gran cantidad de afluentes, afortunadamente relativamente cerca del poblado, se aforan las dos corrientes principales que confluyen dentro de la zona urbana, con esto la aportación desde todas las cuencas altas es asociada al escurrimiento aforado en dichas estaciones en las que es posible ajustar mejor el proceso lluvia - escurrimiento.

De acuerdo con la subdivisión hidrográfica de INEGI, las subcuencas de aportación a la zona urbana de Tamazunchale se puntualizan en la Figura 3.4.

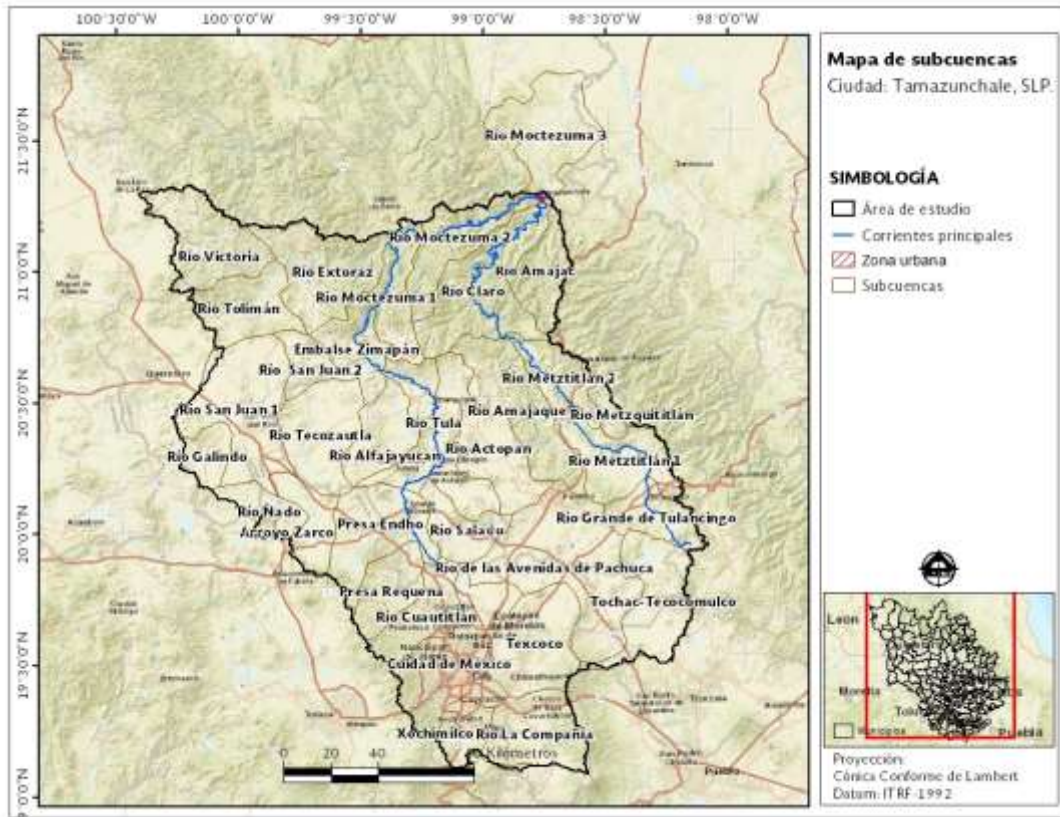


Figura 3.4 Subcuencas de aportación

Tabla 3.1 Subcuencas

| Subcuenca | Área (km ²) |
|-------------------------|-------------------------|
| R. Moctezuma | 2,347.25 |
| R. Extoraz | 3,853.95 |
| R. San Juan | 1,611.32 |
| Drenaje Caracol | 1,027.95 |
| R. Prieto | 609.01 |
| R. Arroyo Zarco | 791.90 |
| R. Tecozutla | 1,259.41 |
| R. Alfajayucan | 842.14 |
| R. Tula | 2,053.76 |
| R. Rosas | 294.38 |
| R. Tlautla | 504.13 |
| R. El Salto | 851.25 |
| R. Cuautitlán | 382.77 |
| Tepotzotlán | 417.59 |
| L. Texcoco y Zumpango | 4,837.20 |
| R. Salado | 657.01 |
| R. Actopan | 1,308.98 |
| R. Amajac | 4,030.59 |
| R. Tezontepec | 2,052.89 |
| L. Tochac y Tecocomulco | 1,889.35 |
| R. Metztitlán | 2,799.72 |

3.3.2 Relieve

La cuenca de aportación nace en el cerro de la Bufa en el Estado de México, recibe las aportaciones que artificialmente abrieron la cuenca cerrada del Valle de México en la parte alta del río Tula, uno de los principales afluentes es el río San Juan del Río del estado de Querétaro. En términos generales, se puede decir que la cuenca alta nace en el Eje Neovolcánico y que la salida hacia el mar después de la ciudad de Tamazunchale lo hace hacia el Golfo de México atravesando la Sierra Madre Oriental (Figura 3.5)

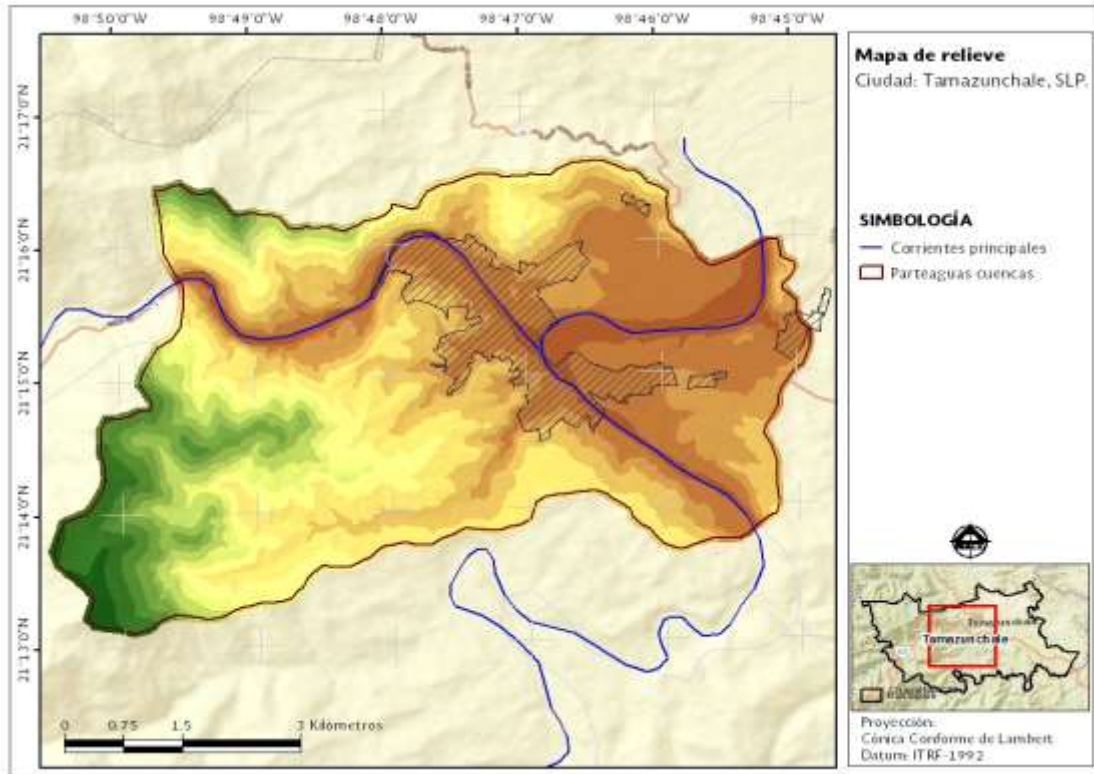


Figura 3.5 Relieve

3.3.3 Uso de suelo

Por tener una gran extensión la cuenca tributaria de la zona urbana de Tamazunchale, una descripción general de los usos del suelo destaca las áreas de usos agrícolas, bosque y matorral, que juntas cubren más del 90% de la cuenca, mientras que los asentamientos humanos ocupan un menor porcentaje. El suelo es apto para ganadería y agricultura. (Figura 3.6 y Tabla 3.2)

Tabla 3.2 Uso de suelo

| Uso de suelo | Área (Km ²) | Porcentaje del área total (%) |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Selva - área agrícola | 21.618 | 53.48% |
| Selva | 0.275 | 0.68% |
| Río | 1.363 | 3.37% |
| Área agrícola | 13.251 | 32.78% |
| Área urbana | 3.919 | 9.69% |
| Total | 40.426 | 100.00 |

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

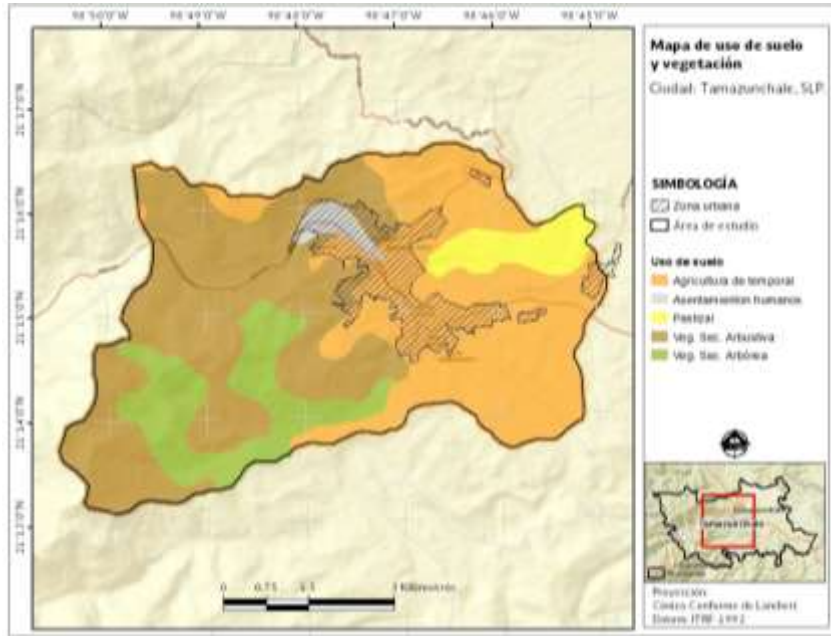


Figura 3.6 Uso de suelo

3.3.4 Edafología

El tipo de suelo predominante en la zona son los Leptosoles (84%), cuyo término deriva del vocablo griego "leptos" que significa delgado, haciendo alusión a su espesor reducido. Aparecen fundamentalmente en zonas altas o medias con una topografía escarpada y elevadas pendientes. Se encuentran en todas las zonas climáticas y, particularmente, en áreas fuertemente erosionadas. Son suelos poco o nada atractivos para cultivos; presentan una potencialidad muy limitada para cultivos arbóreos o para pastos. Lo mejor es mantenerlos en bajo bosque.

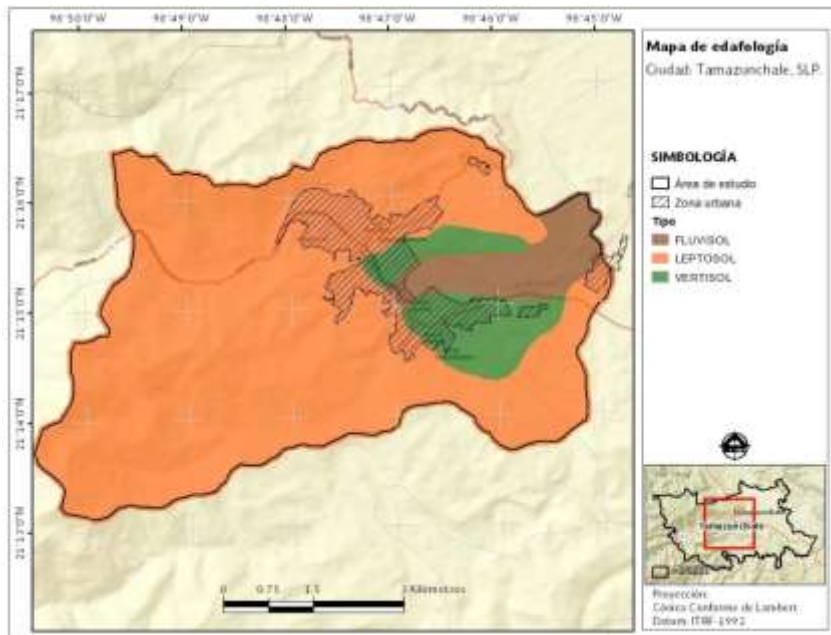


Figura 3.7 Edafología

Tabla 3.3 Edafología

| Suelo primario | Área (km ²) | % | Tipo |
|----------------|-------------------------|--------|------|
| Fluvisol | 3.09 | 7.30 | B |
| Leptosol | 35.40 | 83.69 | D |
| Vertisol | 3.81 | 9.01 | D |
| Total | 42.30 | 100.00 | |

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

3.3.5 Precipitación

Se localizaron 4 estaciones climatológicas dentro de la zona de estudio y lugares cercanos (Figura 3.8), una de ellas no operan actualmente (Tabla 3.4). Como se puede observar las estaciones Tierra Blanca y Temamatla cuentan con casi todos sus registros de información.

Tabla 3.4 Estaciones climatológicas

| Clave | Nombre | Situación (CLICOM) | Periodo inicio | Periodo Fin | Años con información | Años completos |
|-------|----------------|--------------------|----------------|-------------|----------------------|----------------|
| 24092 | Tierra Blanca | Operando | 1961 | 2010 | 50 | 46 |
| 24091 | Temamatla | Operando | 1961 | 2010 | 50 | 50 |
| 24138 | Temazunchale | Suspendida | 1962 | 2002 | 33 | 26 |
| 24122 | Chapuluacanito | Operando | 1972 | 2010 | 38 | 36 |

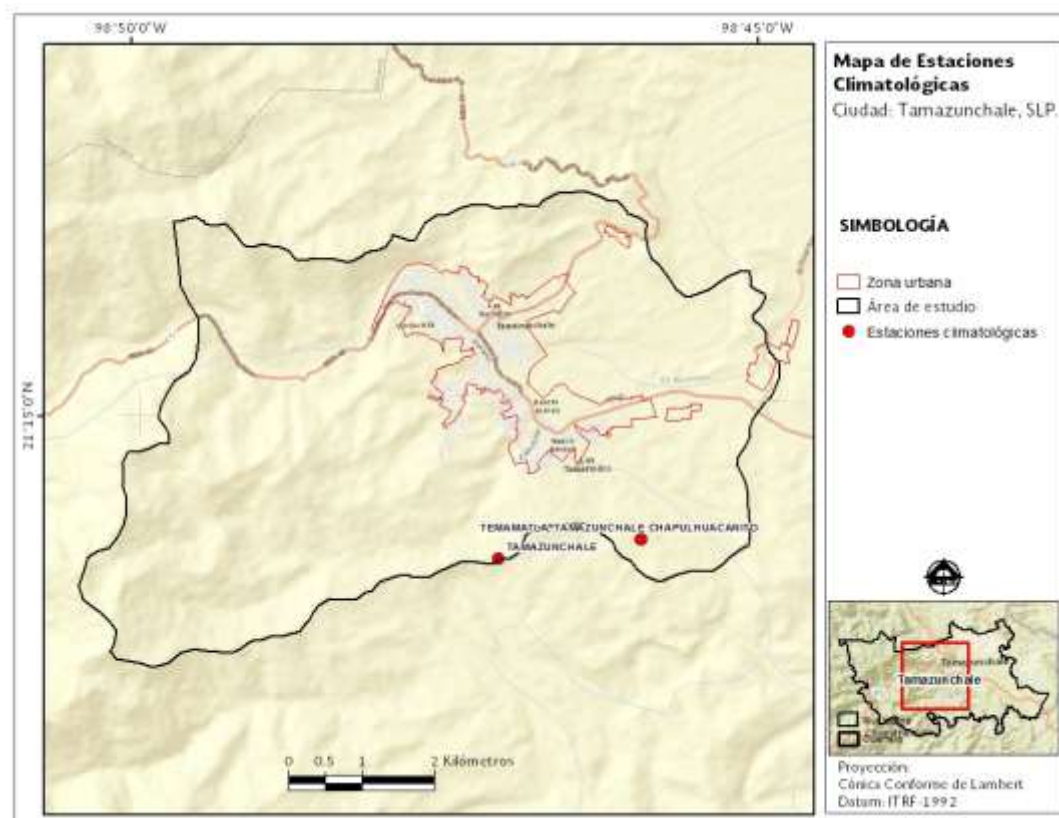


Figura 3.8 Estaciones climatológicas

De acuerdo a Figura 3.8 las estaciones 24091 Temamatla, 24092 Tierra Blanca, 24122 Chapuluacanito y 24138 Temazunchale son las que se ubican cerca de la zona de estudio,

por lo que en la Figura 3.9 se muestran gráficamente los máximos de precipitación en 24 h registrados en cada una de ellas de manera anual.

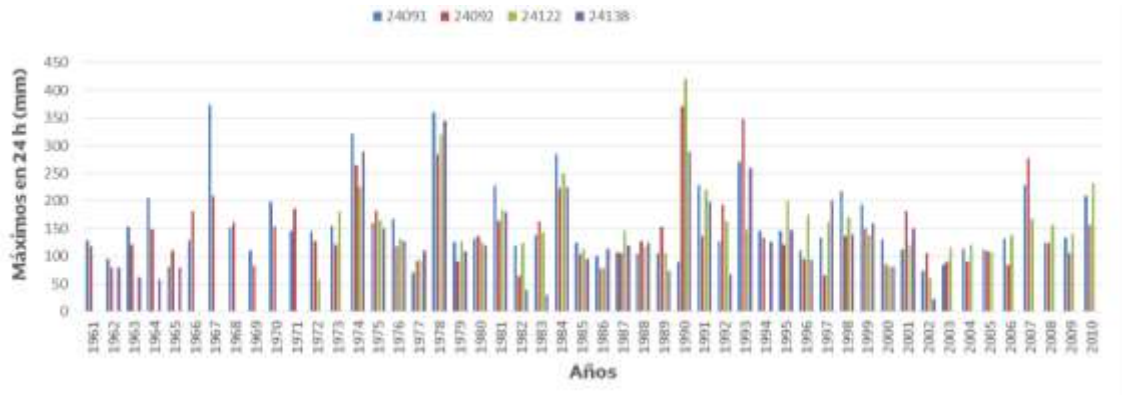


Figura 3.9 Precipitación máxima en 24h por año registradas en las estaciones climatológicas

Por otro lado, la zona urbana de Tamazunchale cuenta con dos estaciones meteorológicas automáticas: Tierra Blanca y Tamamatla, que permiten conocer la distribución temporal de la precipitación en la ciudad y cuentan con registros de 2011 a 2015 los cuales fueron analizados y utilizados para definir la forma de la tormenta hipotética para la zona (Figura 3.10).

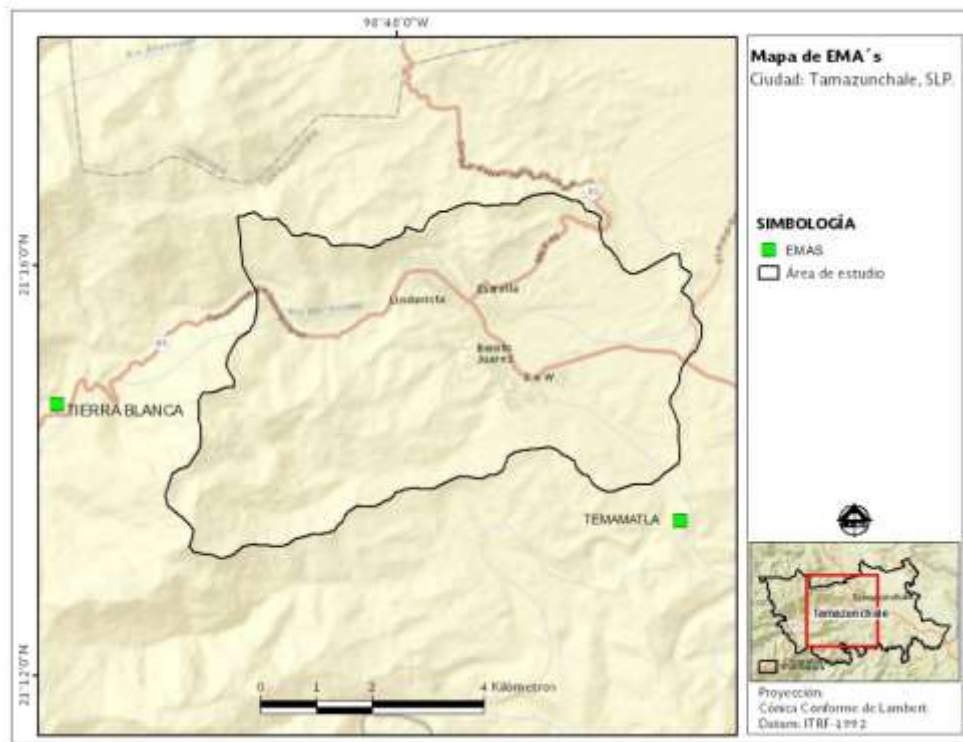


Figura 3.10 EMA's

3.3.6 Ecurrimientos

Agua arriba de la zona urbana de Tamazunchale a la que confluyen dos corrientes principales, se localizan las estaciones hidrométricas Tierra Blanca y Tamamatla, que permiten aforar las cuencas de aportación a la zona urbana (Figura 3.11).

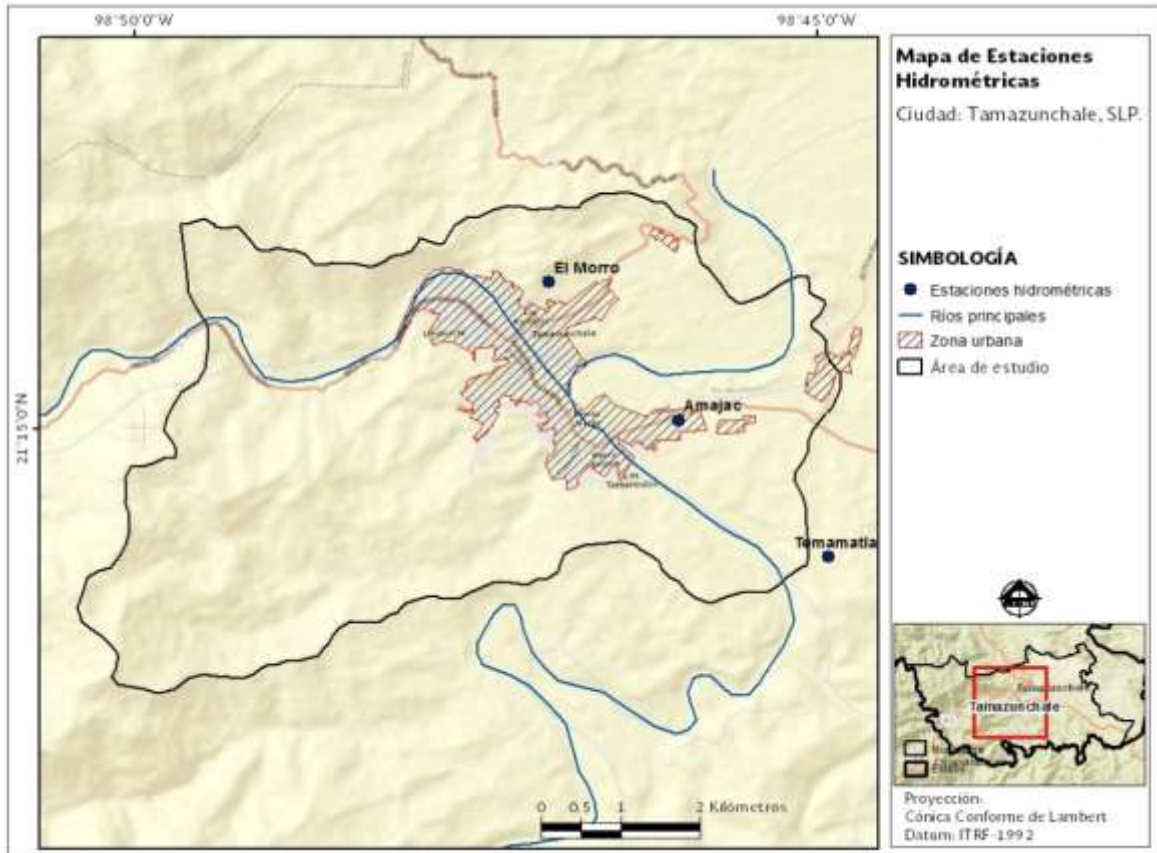


Figura 3.11 Estaciones hidrométricas

Como se observa en la Figura 3.11 existen tres estaciones hidrométricas con registros horarios a partir de 1960 a 2010 dentro de la zona, sin embargo se utilizaron los registros de las estaciones Tierra Blanca y Temamatla para identifica 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 Pánuco y el Río Moctezuma. El primero lo hace de norte a sur al cual confluye el segundo todavía dentro de la zona urbana, (Figura 3.12).

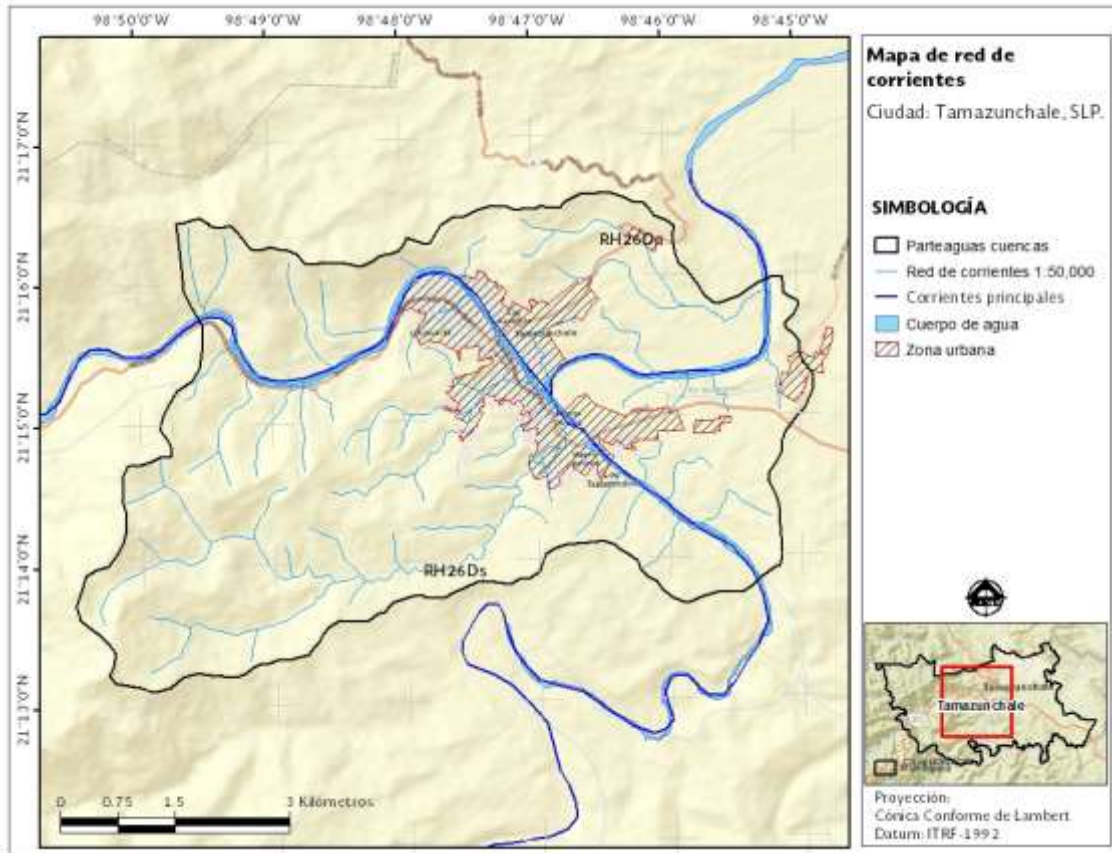


Figura 3.12 Ríos principales

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 3.5 Características generales de los cauces

| Río | Longitud del cauce principal (m) | Elevación máxima (msnm) | Elevación mínima (msnm) | DH | Pendiente (Si) |
|-----------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|----|----------------|
| Panuco | 311,914 | 2766.14 | 49.00 | | 0.0087 |
| Moctezuma | 382,324 | 2,257.44 | 49.00 | | 0.0058 |

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

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

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

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

De acuerdo con los mapas de edafología, se clasificó el suelo en los cuatro grupos (Tabla 3.6), para lo cual se apoyó en la tabla presentada en el manual de la CNA (1987).

Tabla 3.6 Descripción de los cuatro grupos de suelo

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

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 3.7), esto de acuerdo con las referencias bibliográficas y la experiencia.

Tabla 3.7 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 Táscate | 37 | 60 | 71 | 78 |
| Bosque Latifoliado | 26 | 52 | 62 | 69 |
| Bosque mesofilo 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 |
| Matorral xerófilo | 48 | 67 | 77 | 83 |
| Otros tipos de vegetación | 50 | 69 | 79 | 84 |

| Cobertura vegetal o uso del suelo | Grupo de suelo | | | |
|---|----------------|----|----|----|
| | A | B | C | D |
| 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 la información de la tabla anterior, la información de los grupos de suelo, de cobertura vegetal y uso del suelo se calculó la variación espacial del número de escurrimiento en las subcuencas de aportación y zonas urbanas.

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 85.

3.5 Descripción de inundaciones históricas relevantes

La Zona Urbana de Tamazunchale, San Luis Potosí, geográficamente pertenece al Organismo de Cuenca Golfo Norte, que a su vez se ubica en la zona de influencia de la trayectoria de ciclones, principalmente los municipios ubicados en la costa del Golfo de México. Por tal motivo, existen grandes riesgos para zonas susceptibles de ser afectadas por la acción de vientos fuertes y lluvias extraordinarias.

Las inundaciones que se presentan con mayor frecuencia son las de tipo fluvial, debido a la existencia de varios ríos de importancia que, al no tener la suficiente capacidad de conducción ante las avenidas extraordinarias, terminan desbordándose, causando graves problemas en las zonas cercanas a su cauce. Este problema se hace mayor, al tomar en cuenta la gran cantidad de localidades que se encuentran localizadas en las cercanías de

estos ríos. Además de las inundaciones de tipo fluvial, las de tipo pluvial también suelen presentarse con cierta frecuencia en la región, sobretodo en localidades urbanas donde el drenaje es insuficiente.

A lo largo de la historia, San Luis Potosí se ha visto impactado por diferentes fenómenos hidrometeorológicos, los cuales han afectado y provocado daños al paso del fenómeno y de sus remanentes trayendo consigo, comunidades incomunicadas, destrucción de vías y medio de comunicación, destrucción y pérdida de patrimonio familiar, y en algunos eventos hasta la pérdida de vidas humanas.

Tabla 3.8Ciclones que han impactado al estado de San Luis Potosí

| Nº | Fenómeno Hidrometeorológico | Año |
|----|-----------------------------|------|
| 1 | Gladys, Hilda y Janet | 1955 |
| 2 | Anita | 1977 |
| 3 | Gerth | 1993 |
| 4 | Dolly | 1996 |
| 5 | Kenna | 2002 |
| 6 | Dean | 2007 |
| 7 | Alex | 2010 |
| 8 | Ingrid | 2013 |
| 9 | Patricia | 2015 |

Particularmente en la zona urbana de Tamazunchale, se tiene registro hemerográficos recientes de inundaciones en los años 2011, 2013 y 2015. En el 2011 las intensas lluvias provocaron que el arroyo Acontla se desbordara e inundara viviendas en el municipio. Se trató de lluvias generadas por los remanentes de la onda tropical número 8 y un canal de baja presión que se extendió desde la mesa del norte hasta la mesa central. En septiembre de 2013 se emitió la declaratoria de emergencia por inundaciones generadas por lluvias ocurridas del 12 al 16 de septiembre de ese año. Ya en 2015 una tromba afectó municipios de la Huasteca Potosina, siendo Tamazunchale afectada por el desbordamiento de un arroyo, anegaciones en viviendas, escuelas, centro de salud y otros.

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 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.

La CONAGUA implementó El Programa Nacional para el Control de Avenidas y la Prevención de Daños por Inundaciones, el cual establece el mejoramiento de las condiciones de seguridad para un número importante de habitantes y de hectáreas, la conservación y el mantenimiento de la infraestructura hidráulica, el desalojo de las zonas federales urbanas invadidas y con riesgos de inundación, así como la modernización de los sistemas de observación y registro de fenómenos meteorológicos e hidrológico.

Dentro de la jurisdicción del Organismo de Cuenca Golfo Norte, donde se encuentra la Zona Urbana de Tamazunchale, San Luis Potosí. No se encontró mayor información sobre acciones no estructurales contra inundaciones de tipo preventivo. La prensa local reporta la participación de la comunidad en la campaña “Limpiemos nuestro México”, que entre sus actividades está la recolección de basura en barrancas, cauces de ríos y calles, para así evitar inundaciones.

Durante las inundaciones registradas en 2011, se reportó el apoyo a la población afectada con despensas, cobijas, colchonetas y rollos de plástico por parte de la Dirección General de Protección Civil, además de la apertura de refugios temporales.

3.7 Identificación de actividades actuales en las planicies de inundación

El crecimiento económico del Municipio de Tamazunchale incluye grandemente en el progreso y bienestar de sus Comunidades, fomentando este rubro en su área para promover el progreso y bienestar de sus habitantes.

Sus principales actividades económicas son el comercio en general en todas sus modalidades. Las actividades del sector comercio y servicios que más empleos generan en el Municipio son servicios de salud, educación pública y privada; y la práctica profesional privada.

Del sector industrial y de manufactura son los principales empleos del municipio, en actividades de extracción minera de arena, grava y otros minerales refractarios, construcción de obras de urbanización y vías de comunicación.

Las actividades agropecuarias son primordialmente para el autoconsumo (maíz, frijol) y venta regional (café, palmilla y cítricos). Los excedentes se comercializan a nivel local o hacia la misma región. En cuanto a la producción de naranja y caña de azúcar se comercializan en el ámbito estatal y nacional. La actividad forestal de productos maderables se da con varias unidades de producción rural.

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)³ 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 (superficie, en km² por estación)

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

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

De acuerdo a la superficie de cobertura de las estaciones climatológicas y meteorológicas ubicadas dentro de la zona la cual es de tipo montañoso, dos estaciones localizadas dentro de la zona urbana cumplen con las recomendaciones de la OMM, siendo su superficie de cobertura menor a los 250 km² (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Superficie de cobertura por estación

| Clave | Nombre | Estado | Área (km ²) | Unidad fisiográfica | Cumple |
|-------|----------------|-----------------|-------------------------|---------------------|--------|
| 24122 | CHAPULUACANITO | SAN LUIS POTOSÍ | 344.21 | Montaña | No |
| 24092 | TIERRA BLANCA | SAN LUIS POTOSÍ | 411.78 | Montaña | No |
| 24091 | TEMAMATLA | SAN LUIS POTOSÍ | 194.08 | Montaña | Si |
| 24138 | TAMAZUNCHALE | SAN LUIS POTOSÍ | 199.37 | Montaña | Si |

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.

³Organización Meteorológica Mundial (OMM). Guía de prácticas hidrológicas. Sexta edición, 2011.

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.

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.

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

De las acciones no estructurales relacionadas al problema de las inundaciones en la zona urbana de Tamazunchale se encontró información a través de fuentes hemerográficas y

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Posterior a las inundaciones, en lo que en la declaratoria de desastres se denomina etapa de reconstrucción, la sociedad civil intensifica su presencia en el mismo sentido que en la etapa anterior, es decir, en la denuncia y la exigencia a los actores gubernamentales, a quienes considera son los responsables de la situación. No obstante, a otro nivel de participación comunitaria, operan otros mecanismos al margen de la acción gubernamental como las organizaciones vecinales, redes familiares, grupos solidarios y similares que posibilitan a nivel familiar y vecinal reestablecer la normalidad tras el impacto de situaciones como las inundaciones. Para el caso particular de la zona urbana de Tamazunchale, 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, la localidad de Tamazunchale presenta un predominio de marginación alta, seguida por media y muy alta. Sobre salen dos grupos pequeños de manzanas, uno en la margen este de la zona urbana con un muy bajo grado de marginación y el otro en la periferia noreste con bajo grado de marginación.

El mapa muestra la prevalencia predominante de condiciones desfavorables en indicadores de distribución de la población, educación, ingresos por trabajo y vivienda, lo que podría generar una combinación de situaciones como insuficiencia de servicios, precariedad en el empleo, bajos niveles adquisitivos y deficientes condiciones de la vivienda y, por ende, apuntaría a una mayor vulnerabilidad a las inundaciones.

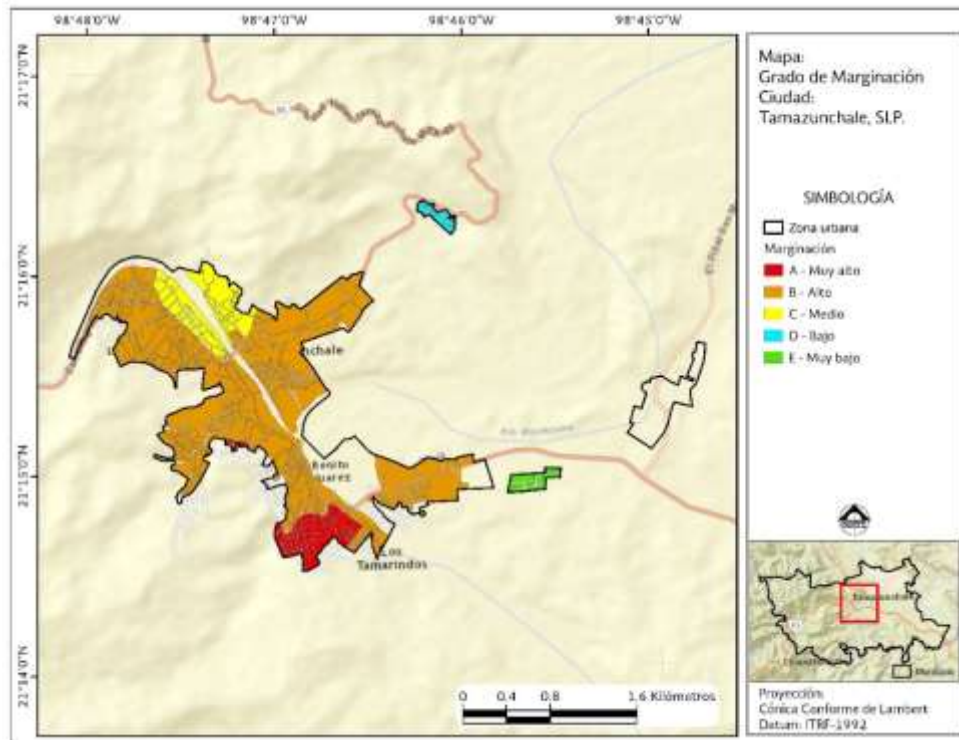


Figura 4.1 Marginalización en la zona urbana de Tamazunchale, San Luis Potosí

Lo que muestran los datos estadísticos complementarios es la existencia de un 21.9% de población en condiciones propensas a la vulnerabilidad, particularmente ante la ocurrencia de eventos súbitos como las inundaciones, es decir, población infantil menor a 5 años (11.2%), adultos mayores de 65 años (6%) y población con problemas en la movilidad⁴ (3.5%). En otras palabras, en cada manzana urbana hay en promedio 9.8 adultos mayores y 6.8 con limitaciones físicas, principalmente⁵. En cuanto a la desocupación laboral, el promedio es de 2.6 personas por manzana en esta situación, lo que representa el 1.2% de la población total.

Es importante que este dato sea considerado como un indicador que influye en el nivel de vida material de las personas, lo que puede favorecer o inhibir su vulnerabilidad.

Tabla 4.5 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Tamazunchale, SLP.

| | Población total | Población menor a 5 años | Población mayor a 65 años | Población con limitación en la actividad | Población desocupada |
|------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|--|----------------------|
| Totales | 24,562 | 2,761 | 1,477 | 884 | 317 |
| Promedio | 104.8 | s/d | 9.8 | 6.8 | 2.6 |
| Porcentaje | 100 | 11.2 | 6 | 3.5 | 1.2 |

Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010, Principales resultados por AGEB y manzana urbana, INEGI.

⁴ 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.

⁵ Los datos corresponden solamente a aquellas manzanas que tienen información.

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

- La organización institucional sigue estando fragmentada y existe una instancia que atienda en su justa dimensión la complejidad y las diferentes dimensiones que conforman la ocurrencia de las inundaciones, es decir, no sólo lo técnico, sino la integralidad y transversalidad de estos fenómenos.
- Continúa existiendo una atención mayormente enfocada a las acciones estructurales, faltando una política que busque el balance entre las medidas estructurales y no estructurales para prevenir y atenuar el impacto de los fenómenos extremos.
- Se ha identificado pero no se ha hecho nada para solucionar la falta 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 será diseñada. 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 muchas veces 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 Tamazunchale cuenta con dos estaciones hidrométricas que aforan los ríos Moctezuma y Amajac correspondientes, es decir, el Amajac es aforado antes de la zona urbana de Tamazunchale, el Moctezuma también es aforado antes de dicha zona urbana, una vez que confluye el Amajac al Moctezuma, continúan unidos hacia el Golfo, no hay aforos aguas abajo de la zona urbana, por tal motivo la cuenca propia limitada por las estaciones hidrométricas 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 referencia de las lluvias de diseño se utilizó el programa de computo denominado V.E.L.L. Desarrollado en el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED⁶), 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. El número de estaciones utilizadas fue definido, básicamente, revisando que el

⁶CENAPRED, Mapas de Precipitación para Diferentes Duraciones y Periodos de Retorno. Octubre 2013.

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 en el V.E.L.L. 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 funciones de distribución de probabilidad; 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 (km ²) | Estaciones pluviométricas | | Cobertura Media (km ² /estaciones) |
|-----|---------------------|----------------------------|---------------------------|--------|--|
| | | | Existentes | Usadas | |
| 1 | Aguascalientes | 5,589 | 68 | 46 | 121.5 |
| 2 | Baja California | 70,113 | 130 | 36 | 1,947.60 |
| 3 | Baja California Sur | 73,667 | 160 | 72 | 1,023.20 |
| 4 | Campeche | 51,833 | 71 | 35 | 1,480.90 |
| 5 | Coahuila | 151,571 | 108 | 28 | 5,413.30 |
| 6 | Colima | 5,455 | 51 | 17 | 320.9 |
| 7 | Chiapas | 73,887 | 280 | 84 | 879.6 |
| 8 | Chihuahua | 247,087 | 328 | 58 | 4,260.10 |
| 9 | Distrito Federal | 1,499 | 63 | 30 | 50 |
| 10 | Durango | 119,648 | 148 | 83 | 1,441.50 |
| 11 | Guanajuato | 21,461 | 352 | 108 | 198.7 |
| 12 | Guerrero | 30,589 | 160 | 129 | 237.1 |
| 13 | Hidalgo | 63,794 | 220 | 66 | 966.6 |
| 14 | Jalisco | 20,987 | 139 | 180 | 116.6 |
| 15 | México | 80,137 | 282 | 105 | 763.2 |
| 16 | Michoacán | 59,864 | 242 | 93 | 643.7 |
| 17 | Morelos | 4,941 | 68 | 44 | 112.3 |
| 18 | Nayarit | 27,621 | 80 | 25 | 1,104.80 |
| 19 | Nuevo León | 64,555 | 167 | 55 | 1,173.70 |
| 20 | Oaxaca | 95,364 | 359 | 130 | 733.6 |
| 21 | Puebla | 33,919 | 206 | 97 | 349.7 |
| 22 | Querétaro | 11,769 | 58 | 33 | 356.6 |
| 23 | Quintana Roo | 50,350 | 43 | 20 | 2,517.50 |
| 24 | San Luis Potosí | 62,848 | 190 | 102 | 616.2 |
| 25 | Sinaloa | 58,092 | 180 | 51 | 1,139.10 |
| 26 | Sonora | 184,934 | 275 | 79 | 2,340.90 |
| 27 | Tabasco | 24,661 | 84 | 42 | 587.2 |
| 28 | Tamaulipas | 76,829 | 198 | 109 | 704.9 |
| 29 | Tlaxcala | 3,914 | 50 | 20 | 195.7 |
| 30 | Veracruz | 72,815 | 352 | 185 | 393.6 |
| 31 | Yucatán | 39,340 | 89 | 30 | 1,311.30 |
| 32 | Zacatecas | 75,040 | 137 | 51 | 1,471.40 |

| No. | Estado | Área (km ²) | Estaciones pluviométricas | | Cobertura Media (km ² /estaciones) |
|-----|--------|----------------------------|---------------------------|--------|--|
| | | | Existentes | Usadas | |
| | TOTAL | 1,964,173 | 5,338 | 2,243 | 1,092.90 |

A través del VELL se obtuvieron las alturas de precipitación para los periodos de retorno 2, 5, 10, 50 y 100 años (Tabla 5.2). Estas alturas de precipitación corresponden a las precipitaciones máximas en 24 horas.

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

| Altura de precipitación de acuerdo con Vell | | | |
|---|-------|-------|-------|
| Tr | Zona | | |
| | 0 | 1 | 2 |
| 2 | 54.2 | 58.4 | 155.8 |
| 5 | 75.3 | 87.9 | 220.2 |
| 10 | 89.5 | 109.2 | 262.7 |
| 50 | 122.0 | 161.3 | 359.8 |
| 100 | 136.2 | 185.6 | 402.4 |

Los resultados del programa Vell mostrados en la Tabla 5.2 describen tres zonas de referencia en la misma cuenca, las zonas “0” y “1” fueron estimados para las cuencas tributarias a la zona de estudio y acumulan el escurrimiento de un área tributaria de 24,764 km² que se aforan en las hidrométricas de ingreso a la zona “2” que abarca el dominio del modelo hidráulico.

Por otro lado, fue considerada la estación climatológica 24091 que mide la precipitación que cae en la zona 2 y que fue 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 muy similares a la información del CENAPRED de la Tabla 5.2 lo cual valida los resultados obtenidos en el CENAPRED.

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

| Estación Climatológica 24091 (Número de Curva = 85) | | |
|---|---------|------------------|
| Tr (años) | Hp (mm) | Lámina Neta (mm) |
| 2 | 135.802 | 93.9 |
| 5 | 205.518 | 170.2 |
| 10 | 261.541 | 214.5 |
| 50 | 372.214 | 323.3 |
| 100 | 416.801 | 367.5 |

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.

Dicho 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 = 85 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.

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.

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 70% ocurre durante 5 horas, el 30% 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.

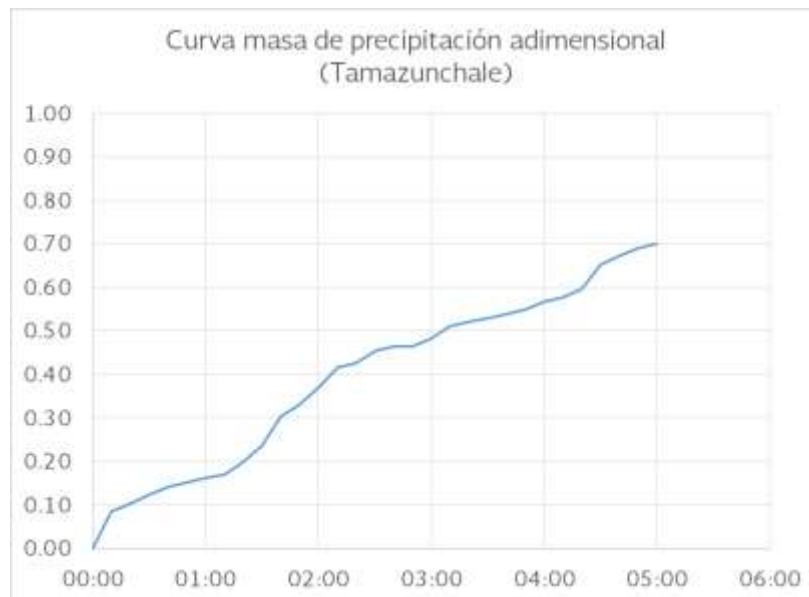


Figura 5.1 Curva masa de precipitación en 24 horas

Dicho de otra manera, se genera una onda de avenida que eventualmente es la que causa las inundaciones con el 70% de la precipitación que logra escurrir durante 5 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.

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

| t \ Tr | 2 | 5 | 10 | 50 | 100 |
|--------|-----|------|------|------|------|
| 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 600 | 8.0 | 14.5 | 18.3 | 27.5 | 31.3 |
| 1200 | 1.8 | 3.2 | 4.1 | 6.1 | 7.0 |
| 1800 | 1.8 | 3.2 | 4.1 | 6.1 | 7.0 |

| t \ Tr | 2 | 5 | 10 | 50 | 100 |
|--------|-----|------|------|------|------|
| 2400 | 1.8 | 3.2 | 4.1 | 6.1 | 7.0 |
| 3000 | 0.9 | 1.6 | 2.0 | 3.1 | 3.5 |
| 3600 | 0.9 | 1.6 | 2.0 | 3.1 | 3.5 |
| 4200 | 0.9 | 1.6 | 2.0 | 3.1 | 3.5 |
| 4800 | 2.7 | 4.8 | 6.1 | 9.2 | 10.4 |
| 5400 | 3.6 | 6.4 | 8.1 | 12.2 | 13.9 |
| 6000 | 6.2 | 11.3 | 14.2 | 21.4 | 24.3 |
| 6600 | 2.7 | 4.8 | 6.1 | 9.2 | 10.4 |
| 7200 | 3.6 | 6.4 | 8.1 | 12.2 | 13.9 |
| 7800 | 4.4 | 8.1 | 10.1 | 15.3 | 17.4 |
| 8400 | 0.9 | 1.6 | 2.0 | 3.1 | 3.5 |
| 9000 | 2.7 | 4.8 | 6.1 | 9.2 | 10.4 |
| 9600 | 0.9 | 1.6 | 2.0 | 3.1 | 3.5 |
| 10200 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 10800 | 1.8 | 3.2 | 4.1 | 6.1 | 7.0 |
| 11400 | 2.7 | 4.8 | 6.1 | 9.2 | 10.4 |
| 12000 | 0.9 | 1.6 | 2.0 | 3.1 | 3.5 |
| 12600 | 0.9 | 1.6 | 2.0 | 3.1 | 3.5 |
| 13200 | 0.9 | 1.6 | 2.0 | 3.1 | 3.5 |
| 13800 | 0.9 | 1.6 | 2.0 | 3.1 | 3.5 |
| 14400 | 1.8 | 3.2 | 4.1 | 6.1 | 7.0 |
| 15000 | 0.9 | 1.6 | 2.0 | 3.1 | 3.5 |
| 15600 | 1.8 | 3.2 | 4.1 | 6.1 | 7.0 |
| 16200 | 5.3 | 9.7 | 12.2 | 18.3 | 20.9 |
| 16800 | 1.8 | 3.2 | 4.1 | 6.1 | 7.0 |
| 17400 | 1.8 | 3.2 | 4.1 | 6.1 | 7.0 |
| 18000 | 0.9 | 1.6 | 2.0 | 3.1 | 3.5 |

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

| t \ Tr | 2 | 5 | 10 | 50 | 100 |
|--------|------|------|-------|-------|-------|
| 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 600 | 48.0 | 86.9 | 109.6 | 165.1 | 187.7 |
| 1200 | 10.7 | 19.3 | 24.3 | 36.7 | 41.7 |
| 1800 | 10.7 | 19.3 | 24.3 | 36.7 | 41.7 |
| 2400 | 10.7 | 19.3 | 24.3 | 36.7 | 41.7 |
| 3000 | 5.3 | 9.7 | 12.2 | 18.3 | 20.9 |
| 3600 | 5.3 | 9.7 | 12.2 | 18.3 | 20.9 |
| 4200 | 5.3 | 9.7 | 12.2 | 18.3 | 20.9 |
| 4800 | 16.0 | 29.0 | 36.5 | 55.0 | 62.6 |
| 5400 | 21.3 | 38.6 | 48.7 | 73.4 | 83.4 |
| 6000 | 37.3 | 67.6 | 85.2 | 128.4 | 146.0 |
| 6600 | 16.0 | 29.0 | 36.5 | 55.0 | 62.6 |
| 7200 | 21.3 | 38.6 | 48.7 | 73.4 | 83.4 |
| 7800 | 26.6 | 48.3 | 60.9 | 91.7 | 104.3 |
| 8400 | 5.3 | 9.7 | 12.2 | 18.3 | 20.9 |
| 9000 | 16.0 | 29.0 | 36.5 | 55.0 | 62.6 |
| 9600 | 5.3 | 9.7 | 12.2 | 18.3 | 20.9 |
| 10200 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 10800 | 10.7 | 19.3 | 24.3 | 36.7 | 41.7 |
| 11400 | 16.0 | 29.0 | 36.5 | 55.0 | 62.6 |
| 12000 | 5.3 | 9.7 | 12.2 | 18.3 | 20.9 |
| 12600 | 5.3 | 9.7 | 12.2 | 18.3 | 20.9 |
| 13200 | 5.3 | 9.7 | 12.2 | 18.3 | 20.9 |
| 13800 | 5.3 | 9.7 | 12.2 | 18.3 | 20.9 |
| 14400 | 10.7 | 19.3 | 24.3 | 36.7 | 41.7 |
| 15000 | 5.3 | 9.7 | 12.2 | 18.3 | 20.9 |
| 15600 | 10.7 | 19.3 | 24.3 | 36.7 | 41.7 |
| 16200 | 32.0 | 58.0 | 73.0 | 110.1 | 125.1 |
| 16800 | 10.7 | 19.3 | 24.3 | 36.7 | 41.7 |
| 17400 | 10.7 | 19.3 | 24.3 | 36.7 | 41.7 |
| 18000 | 5.3 | 9.7 | 12.2 | 18.3 | 20.9 |

Aunque no se precisó, el escurrimiento proveniente de las zonas “0” y “1” no se simula mediante un proceso lluvia – escurrimiento, en ese caso, se tienen aforadas las corrientes de la zona tributaria en dos estaciones hidrométricas, la información hidrométrica obtenida para la simulación hidráulica proviene de las estaciones hidrométricas 26270 (Tierra Blanca) y 26293 (Temamatla) que aforan los ríos Moctezuma y Amajac, que al igual que la precipitación, se realizó un ajuste estadístico con los gastos máximos anuales correspondientes y se presenta en la Tabla 5.6.

De igual manera, 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 valores de dicho ajuste se muestran en la 5.6, cabe destacar que las dos estaciones hidrométricas resultaron tener el mejor ajuste con la misma función de distribución de probabilidad, y otra cosa que puede destacarse, es que la hidrométrica Tierra Blanca afora una superficie tributaria mucho mayor que la estación Temamatla, pero que en apariencia escurre mayor cantidad de agua por la segunda.

Tabla 5.6 Análisis estadístico de escurrimiento en Tamazunchale

| Tr | E. H. 26270 | E. H. 26293 |
|----|-------------|-------------|
| 2 | 565.479 | 865.394 |
| 5 | 1,371.171 | 2,378.304 |

| Tr | E. H. 26270 | E. H. 26293 |
|-----|-------------|-------------|
| 10 | 1,750.063 | 3,197.297 |
| 50 | 2,288.068 | 4,398.649 |
| 100 | 2,496.719 | 4,867.431 |

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 tributario 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, se obtuvieron hidrogramas con tiempo base de aproximadamente 4 días, con base en los datos fisiográficos de la tabla siguiente:

Tabla 5.7 Datos fisiográficos

| Características/Río | Amajac | Moctezuma |
|------------------------|---------|-----------|
| Longitud (Km) = | 309.88 | 342.00 |
| S Taylor-Schwarz = | 0.00554 | 0.00444 |
| S _{T-S} (%) = | 0.55428 | 0.44424 |
| Tc (Kirpich, hr) = | 40.62 | 47.73 |
| Tr (Chow, hr) = | 19.74 | 22.57 |
| Tp (hr) = | 30.75 | 35.54 |
| T receso (hr) = | 49.20 | 56.87 |
| Tb (hr) = | 79.94 | 92.41 |

Con el fin de simplificar la simulación hidráulica, se propuso simular solamente 36 horas en las que se tomaron en cuenta los hidrogramas aforados en cada uno de los afluentes y para cada caso se mayoró la avenida con base en un hidrograma seleccionado de las avenidas máximas históricas ocurridas en esos ríos. Los resultados de los hidrogramas de entrada por cada uno de los afluentes se observan en las dos figuras siguientes.

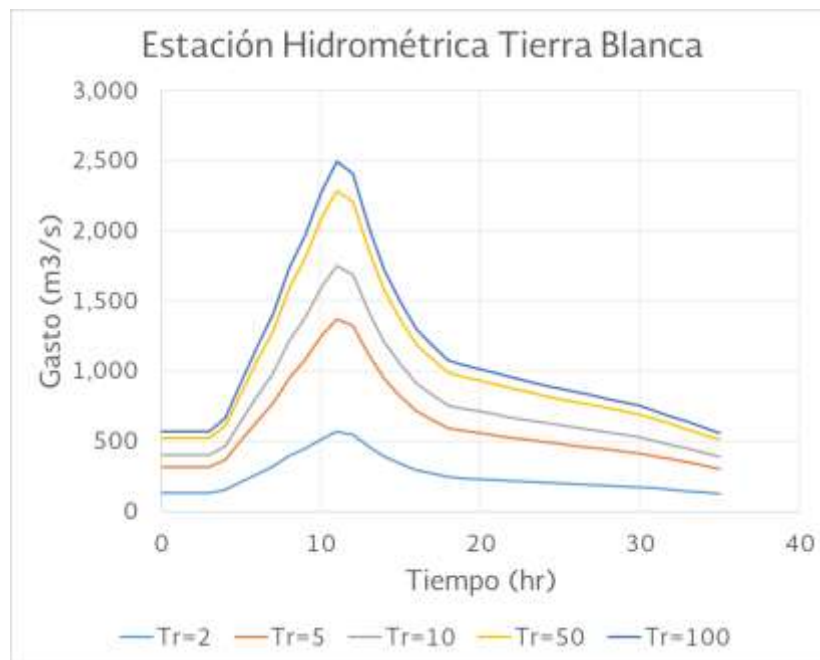


Figura 5.2 Hidrograma de ingreso en el río Moctezuma

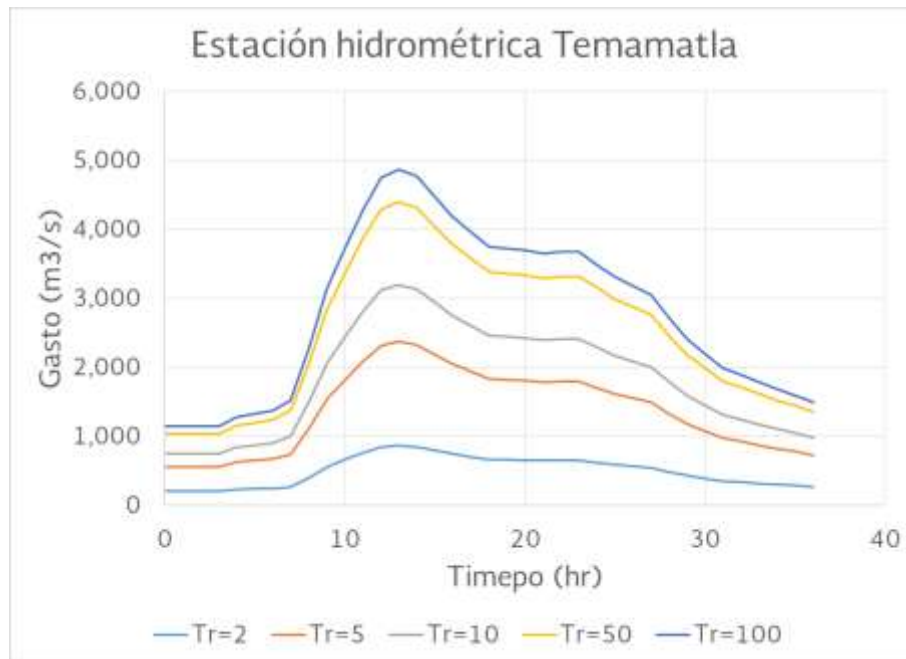


Figura 5.3 Hidrograma de ingreso en el río Amajac

5.2 Modelo hidráulico

Para obtener los mapas de peligro se simularon los periodos de retornos de 2, 5, 10, 50 y 100 años para inundaciones fluviales y pluviales aplicando técnicas de modelación matemática hidráulica de flujos de agua en dos dimensiones, utilizando el software IBER 2.3.2⁷.

5.2.1 Condiciones de frontera

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

Existen tres variantes para el perfil tipo M:

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

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

⁷ 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 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 aguas abajo exista un cuerpo de agua que fuerce 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 la zona a simular (dominio del modelo) acotada por los escurrimientos de entrada medidos en las estaciones hidrométricas Tierra Blanca y Temamatla, por el oriente y en una sección aguas abajo de la confluencia de los esos ríos posterior a la zona urbana de Tamazunchale por el poniente.

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 ASCCI para que pueda ser leído en el software de IBER. Con base en los puntos de medición de las estaciones hidrométricas, se acotó la zona de simulación bidimensional haciendo las tres siguientes consideraciones.

- 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.

La Figura 5.4 corresponde a la extensión acotada del modelo digital de elevación (MDE) en el que se aprecian claramente las entradas de los cauces tributarios, esa zona también es denominada dominio del modelo y precisamente es la extensión de terreno en la cual se hacen simulaciones hidráulicas y se obtienen los resultados correspondientes.

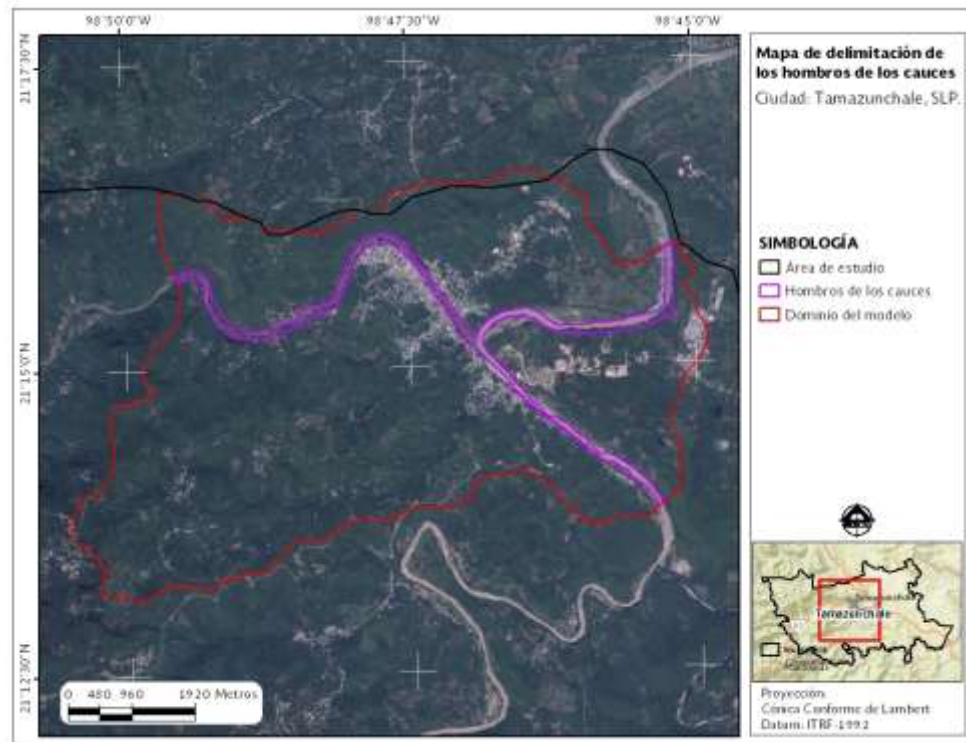


Figura 5.4 Vectores que delimitan el ancho de los ríos

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 estar asociados con calles y avenidas que no necesariamente tienen una sección transversal definida desde un punto de vista hidráulico, dichas secciones llegan a ser canales entubados con secciones definidas por un proyecto hidráulico.

El modelo digital de elevación (MDE) del terreno ofrece la configuración del mismo, mediante un archivo tipo raster, en general la información fuente de este tipo de archivos es confiable, excepto en las zonas que están permanentemente inundadas, como es el caso de las corrientes perennes y en cuerpos de agua, en esos casos, el dato de la elevación llega a tener errores muy grandes, dentro del dominio del modelo, la información topográfica en los cauces llegó a incluir errores de más de 50 metros, los cuales tuvieron que ser editados para buscar la mejor aproximación a la realidad física. Cabe mencionar que en el proyecto no fue considerado un levantamiento topográfico ni mucho menos uno batimétrico que permitiría una mejor corrección de esta información.

En la extensión del MDE de Tamazunchale, en la que originalmente se podría pensar en un posible dragado o disminución de la cota de referencia dentro de los cauces principales, al analizar varias secciones transversales, fue necesario obtener otra fuente de información digital, ya que la elevación de los ríos observados en la Figura 5.4 tiene grandes profundidades, en las simulaciones realizadas hasta el momento, incluso las grandes avenidas han sido transitadas dentro de los cauces por esa gran sección hidráulica que exhiben los modelos digitales de elevación.

Para la modelación hidráulica se definió una malla triangular (Figura 5.5). El tamaño mínimo de los elementos, que corresponde al área de los ríos, es de 5 metros, mientras que para

el resto de la zona fue de 15 metros. La elevación del terreno que se le asigna a cada elemento es la correspondiente 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 en la que la cota de la malla más fina es similar a la del INEGI, pero con dos metros de disminución la cual es considerada como dragado.

El procesamiento hidráulico es un procedimiento reiterativo, con base en los primeros resultados de la simulación, se podrá enfocar la atención en los canales que hidráulicamente exhibieron efectos de inundación, los cuales se observaron en campo y se ajustaron a las condiciones que se habían definido artificialmente a priori.

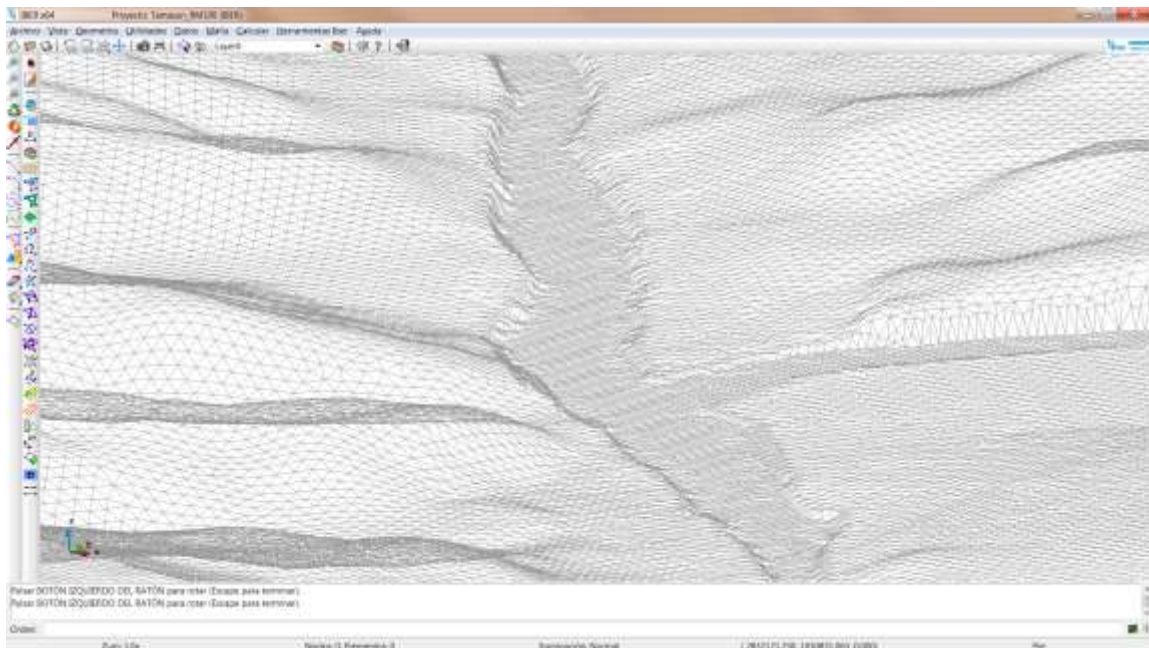


Figura 5.5 Malla definida para el análisis hidráulico con IBER

5.2.3 Infraestructura

Las condiciones actuales de simulación no han 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: 126,000 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 distintos valores de coeficientes de Manning en toda el área a modelar, se utilizó la información vectorial de la capa vectorial de manzanas de INEGI (Figura 5.5). A cada polígono definido por las manzanas y calles y con apoyo de la imagen de satélite se le asignó un uso de suelo.

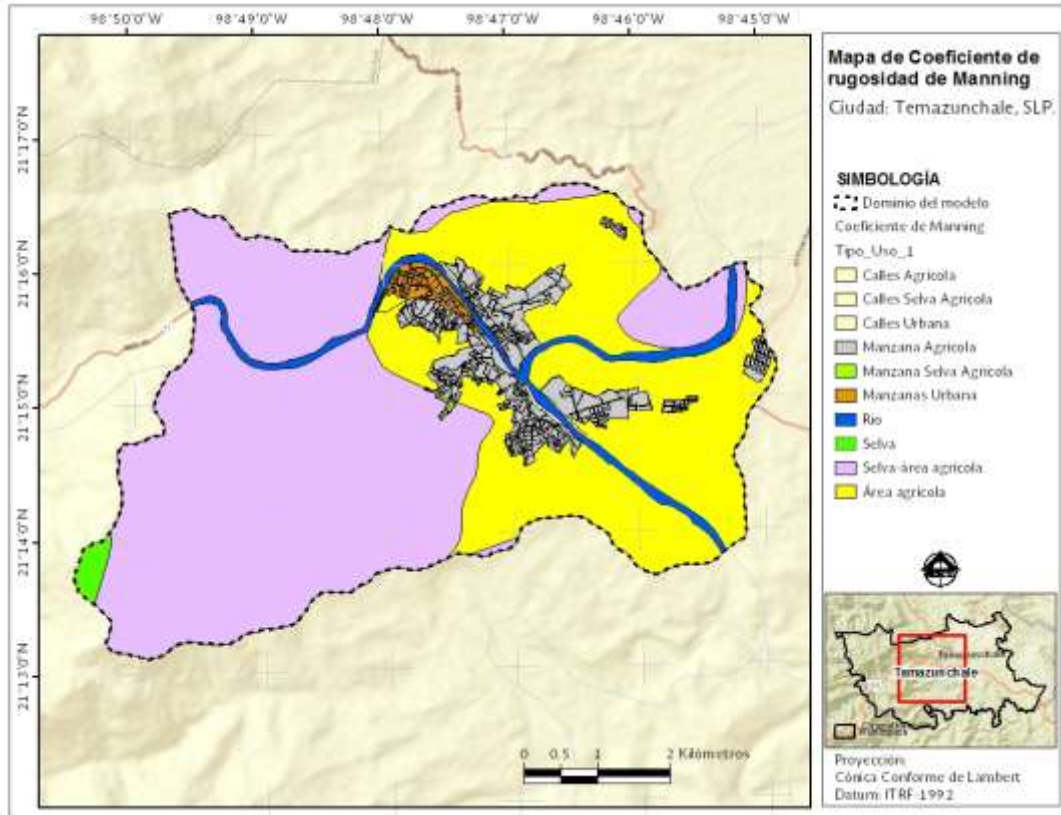


Figura 5.6 Variación del coeficiente de rugosidad de Manning en la zona

Luego de procesar la capa arriba mencionada, para asignarle valores se emplearon los sugeridos por Ven Te Chow⁸, en combinación con los valores definidos por defecto en el programa IBER (Tabla 5.8)

Tabla 5.8 Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning “n” de acuerdo con el uso del suelo

| Clases | n Manning | Fuente |
|---|-----------|--------|
| Río angosto < a 30m y recto con matorrales y piedras | 0.035 | Chow |
| Río angosto < a 30m y serpenteante con matorrales y piedras | 0.045 | Chow |
| Río angosto < a 30m montañoso | 0.040 | Chow |
| Río ancho > a 30 m con sección irregular y rugoso | 0.040 | Chow |
| Suelo desnudo | 0.023 | IBER |
| Pastizales | 0.030 | IBER |
| Bosque | 0.120 | IBER |
| Playa | 0.023 | IBER |
| Matorrales | 0.045 | Chow |
| Árboles | 0.120 | IBER |
| Vegetación urbana | 0.023 | IBER |
| Escasa vegetación | 0.080 | IBER |
| Vegetación densa | 0.180 | IBER |
| Colectores pluviales | 0.017 | Chow |
| No clasificado | 0.032 | IBER |
| Calles | 0.020 | IBER |
| Industrial | 0.100 | IBER |
| Viviendas | 0.150 | IBER |

⁸ Chow, Ven Te. Hidráulica de Canales Abiertos, pag. 108, Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning “n”. Mc Graw Hill. 2004.

| Clases | n Manning | Fuente |
|-----------------|-----------|--------|
| Cultivos | 0.040 | Chow |
| Arbustos | 0.060 | Chow |
| Cuerpos de agua | 0.070 | Chow |
| Parque | 0.120 | IBER |
| Canal concreto | 0.017 | Chow |

En la Figura 5.7 se muestra un esquema del modelo hidráulico utilizado en el que se observa una entrada a través de un hidrograma para el río Moctezuma, otra entrada a través de un hidrograma para el río Amajac y una entrada en forma de hietograma para el resto de la zona.

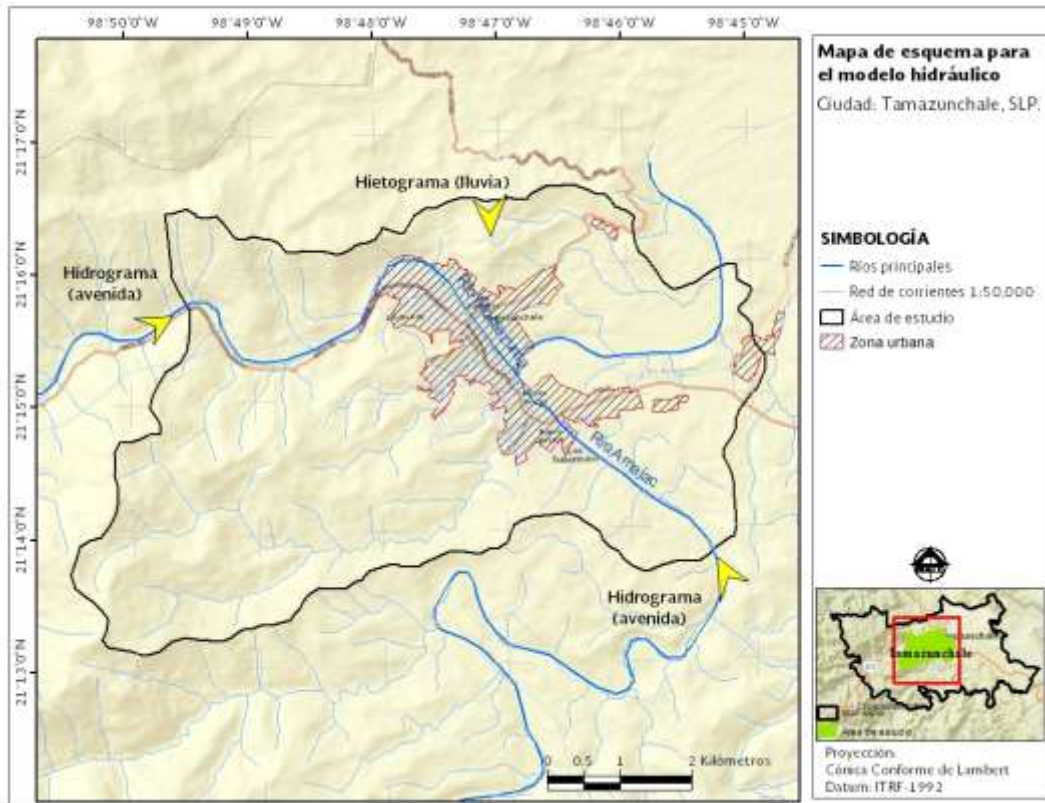


Figura 5.7 Esquema del modelo hidráulico

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 las estaciones hidrométricas Tierra Blanca y Temamatla para los diversos periodos de retorno (Figura 5.8).

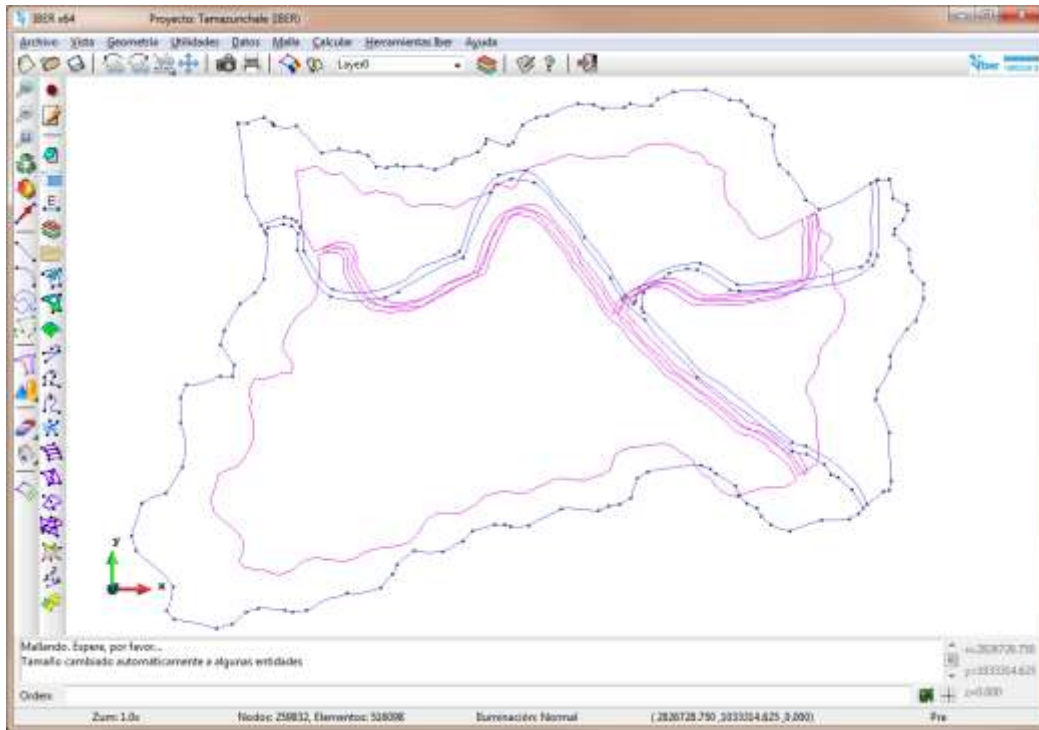


Figura 5.8 Modelo en IBER donde se indica las condiciones de frontera

Otra condición de frontera corresponde a la precipitación para los diferentes periodos de retorno que se presenta directamente en la zona a modelar, corresponde a las zonas urbanas mostradas en las Tabla 5.3 a 5.5.

5.4 Resultados

En este estudio se definieron los niveles y las velocidades de inundación, adicionalmente se evaluó 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. Los resultados de los niveles de inundación se muestran en las (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.

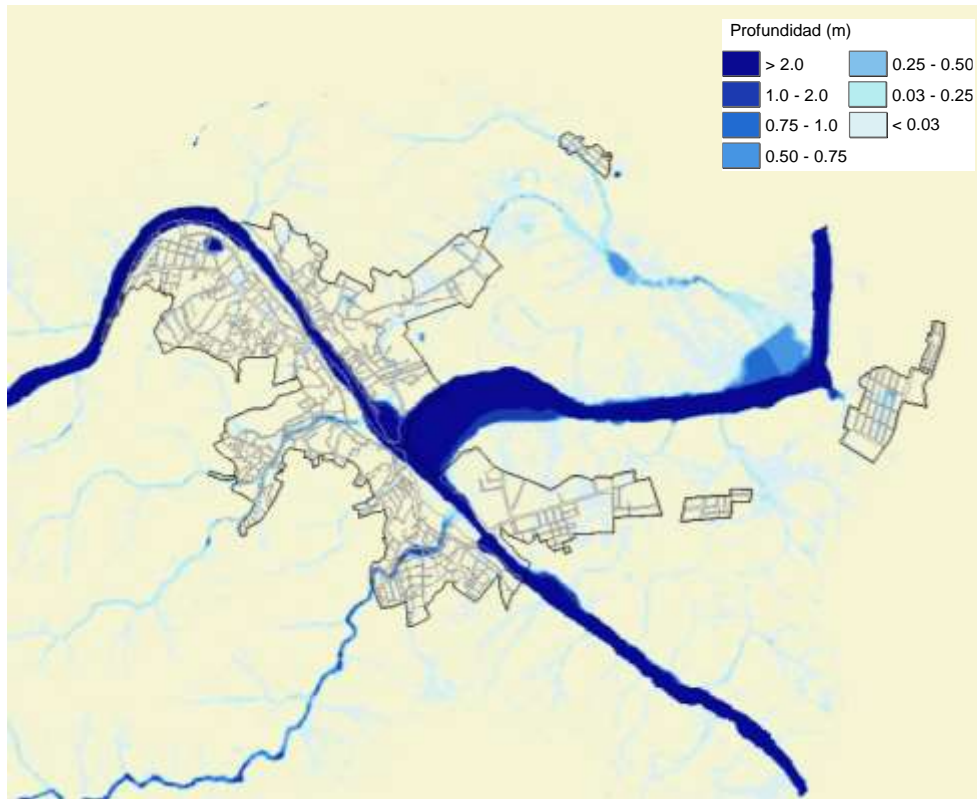


Figura 5.9 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años

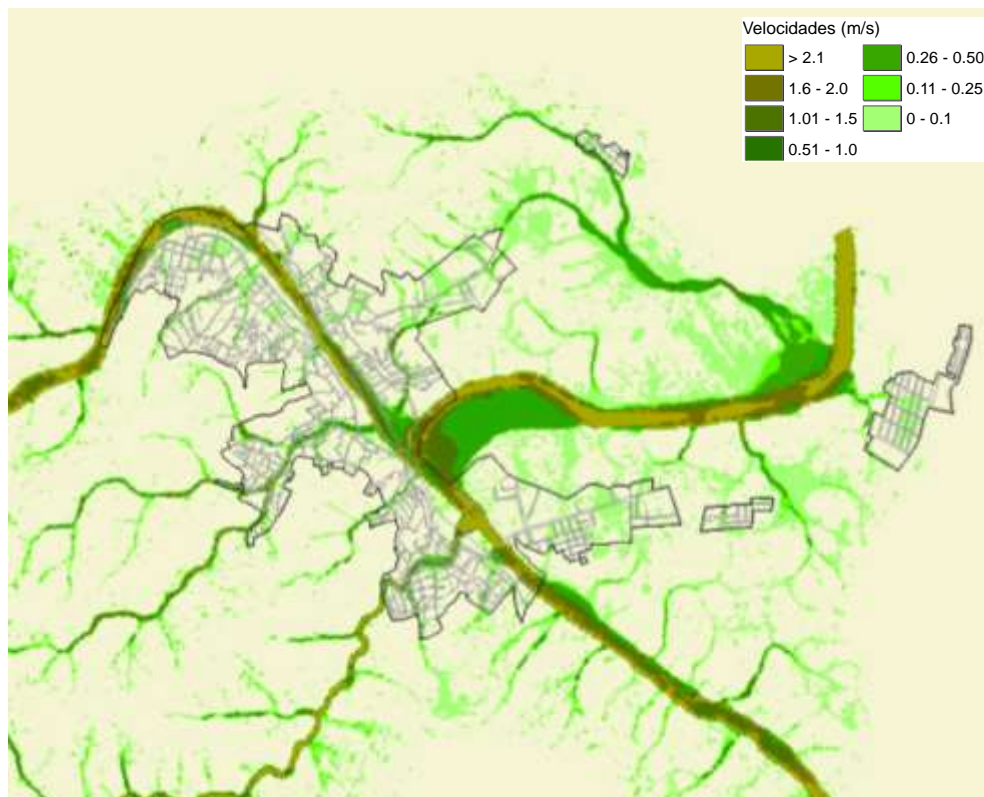


Figura 5.10 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 2 años

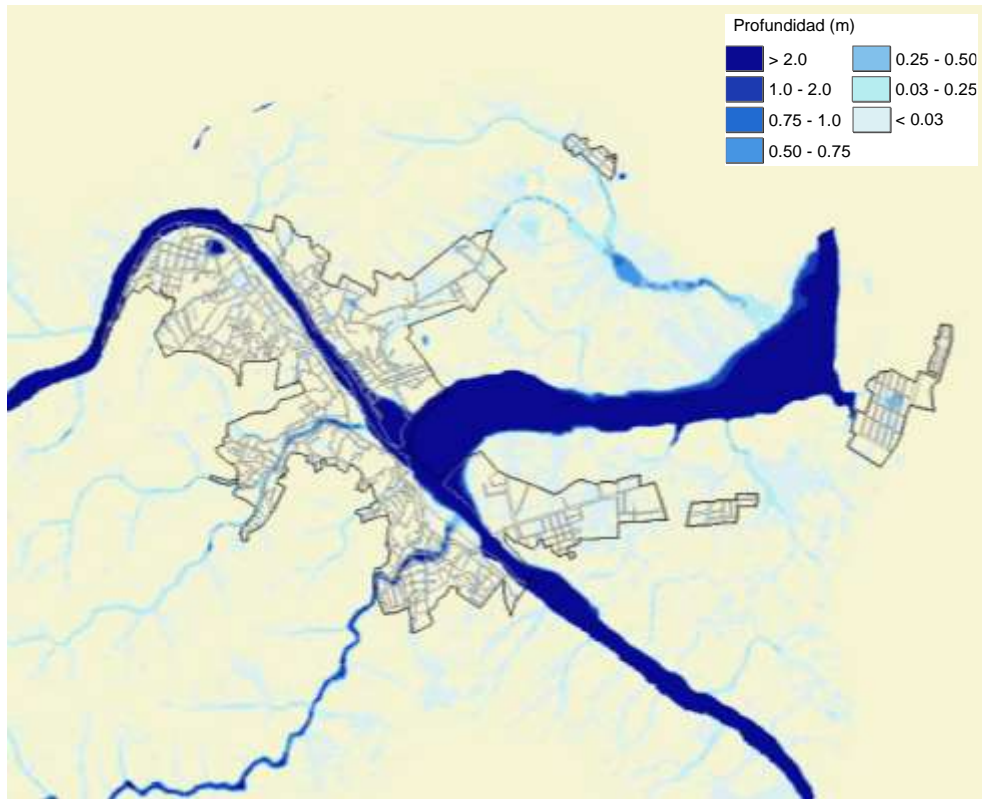


Figura 5.11 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años

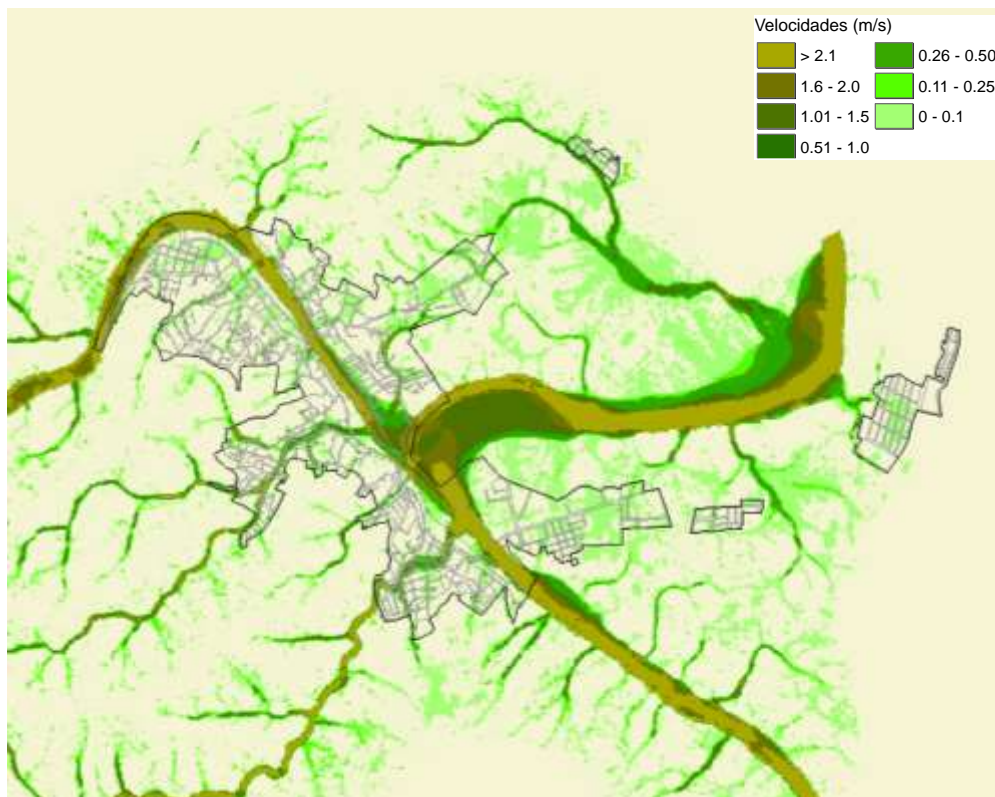


Figura 5.12 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años

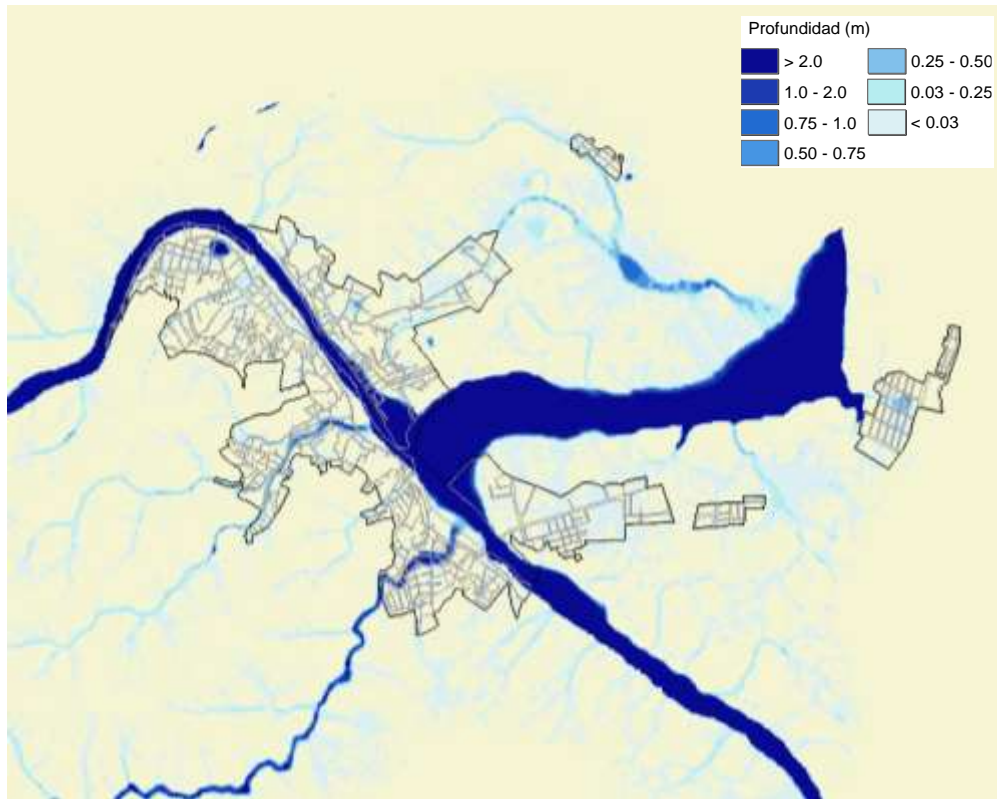


Figura 5.13 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años

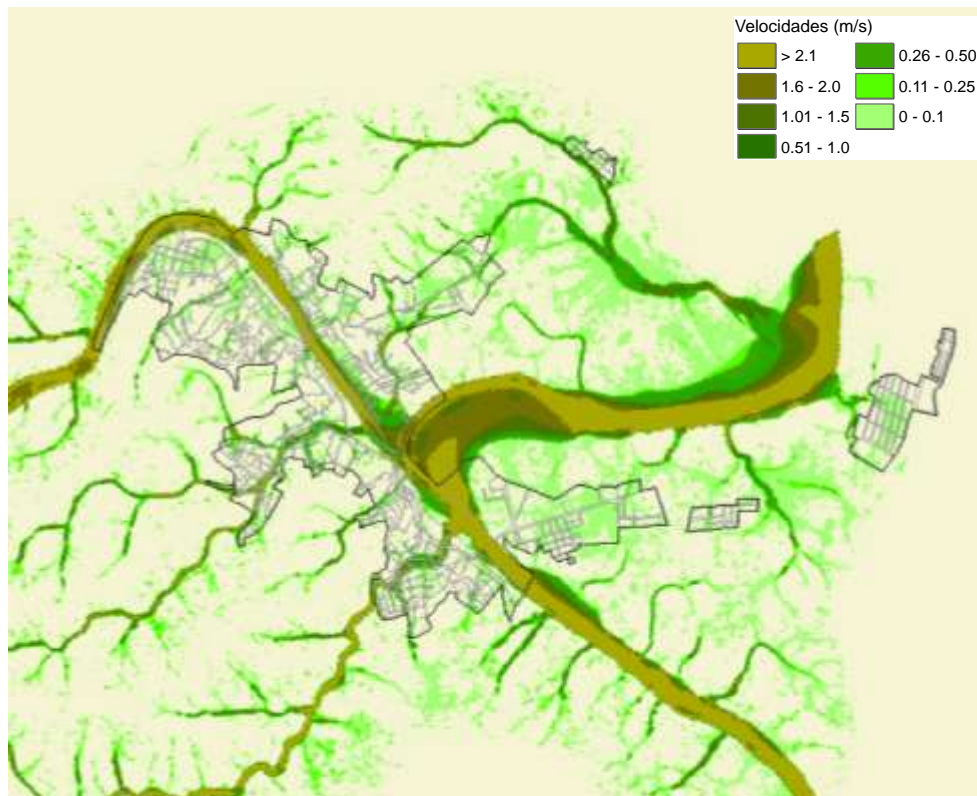


Figura 5.14 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años

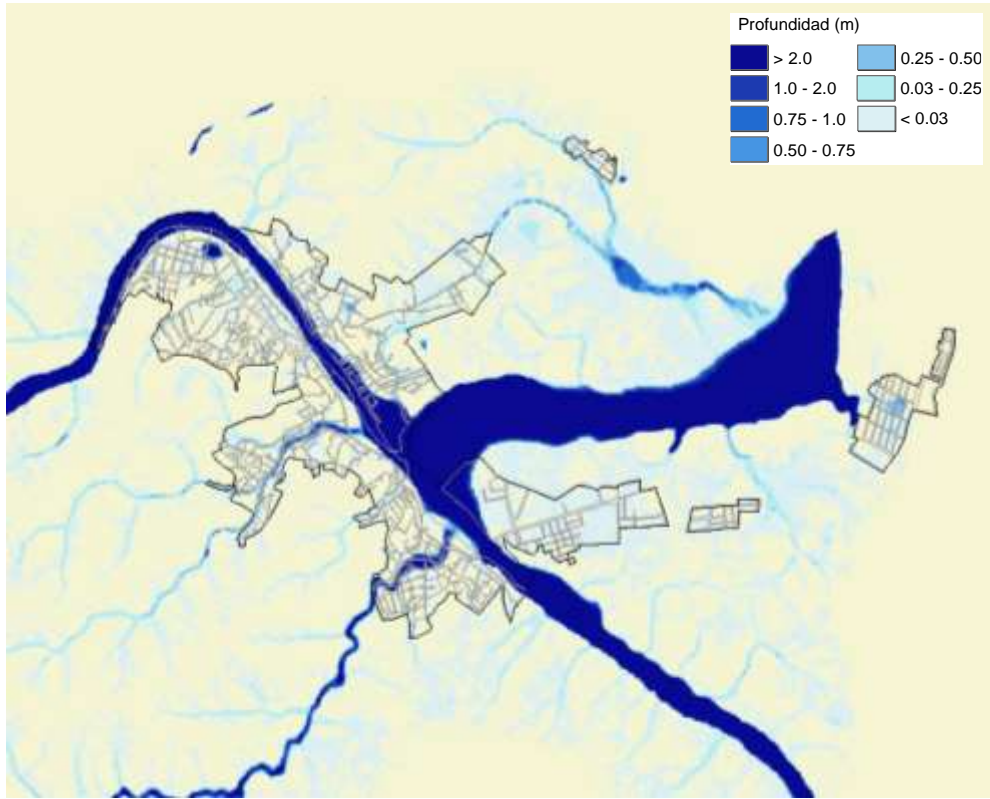


Figura 5.15 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años

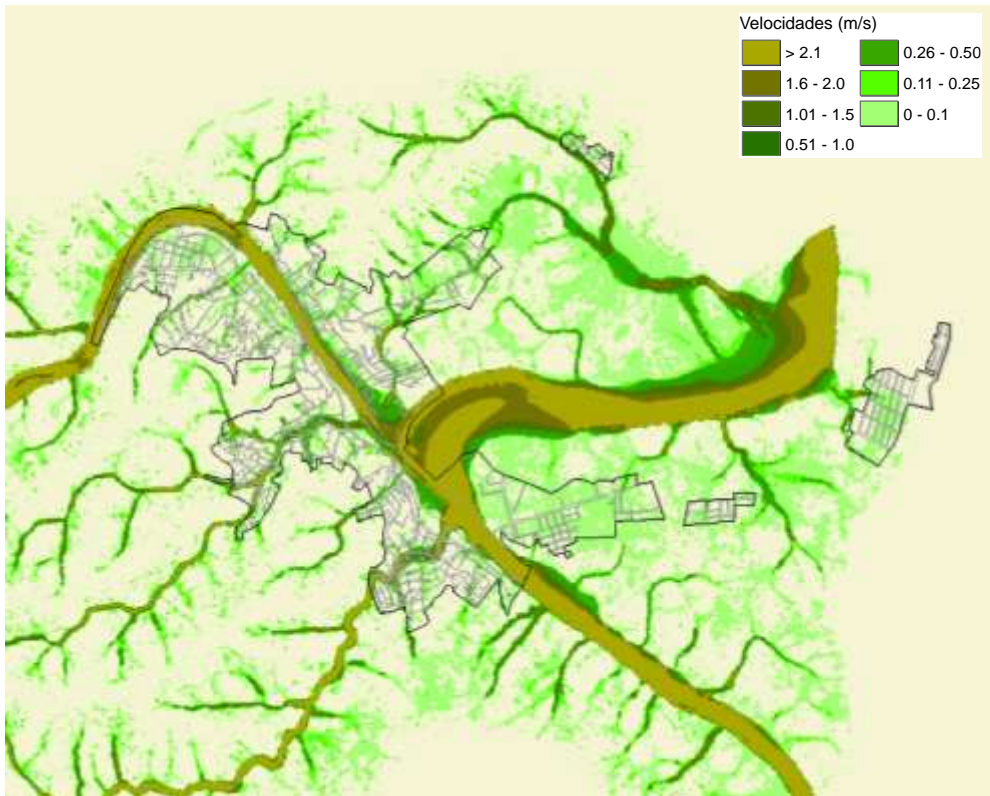


Figura 5.16 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años

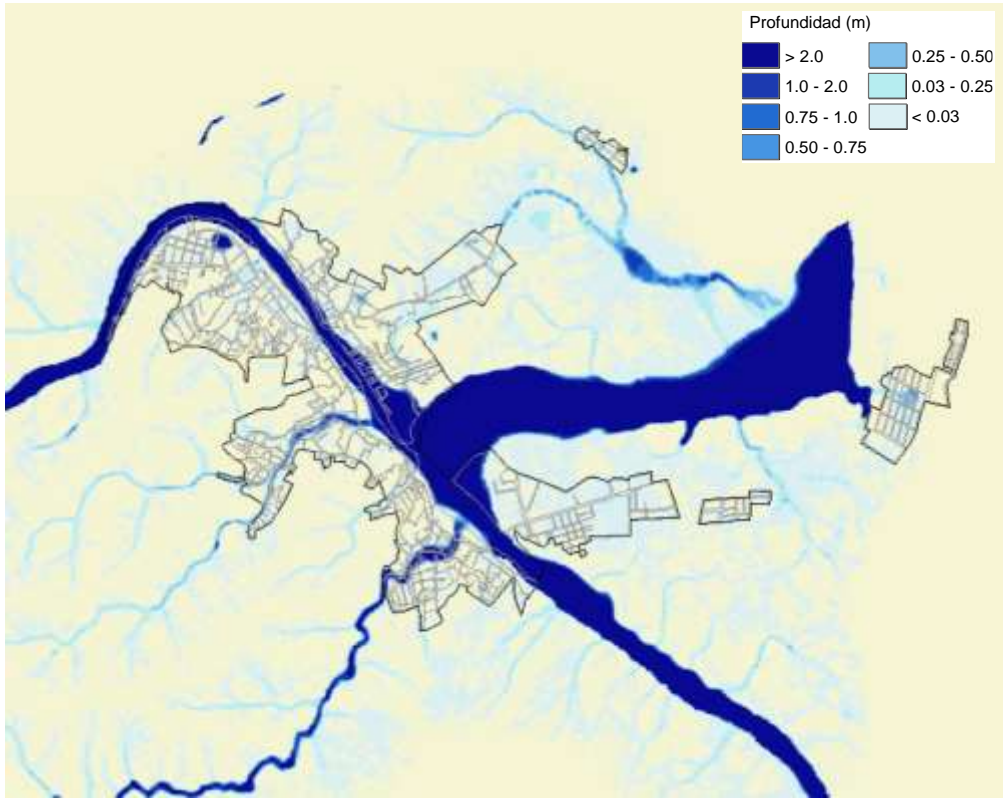


Figura 5.17 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años

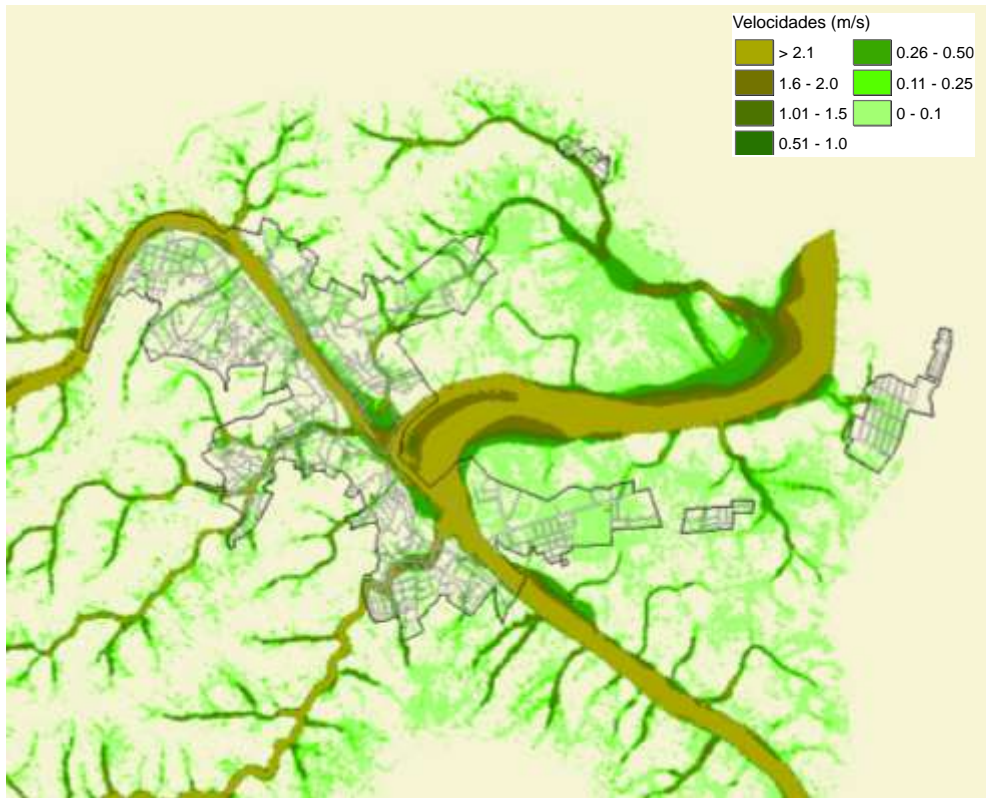


Figura 5.18 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años

5.5 Análisis de los resultados

La modelación hidráulica realizada incluye lo que se ha descrito en este capítulo, 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 permiten describir el complemento de las características físicas del modelo que por un lado aportan información para la geometría de la zona y por otro aportan datos para la selección de la rugosidad que es un parámetro hidráulico en la simulación bidimensional utilizada .

Los resultados mostrados en la simulación correspondiente a un periodo de retorno de 2 años exhiben que no hay zonas de inundación en la mayoría de la zona urbana; sin embargo, en algunos puntos localizados en las márgenes de los ríos que convergen en el cauce principal se observan algunas inundaciones fluviales que se consideran de menor importancia (Figura 5.19).

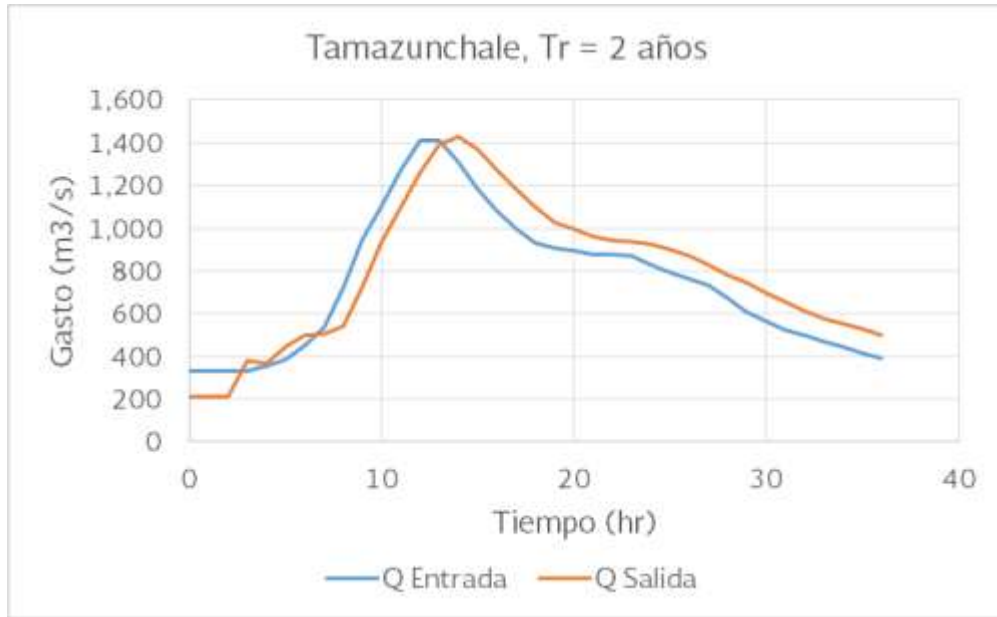


Figura 5.19 Hidrograma de salida para un Tr = 2 años

Los resultados mostrados en la simulación correspondiente a un periodo de retorno de 5 años (Figura 5.20) exhiben que no hay zonas de inundación en la mayoría de la zona urbana; sin embargo, en algunos puntos localizados en las márgenes de los ríos que convergen en el cauce principal se observan algunas inundaciones fluviales que se consideran de menor importancia.

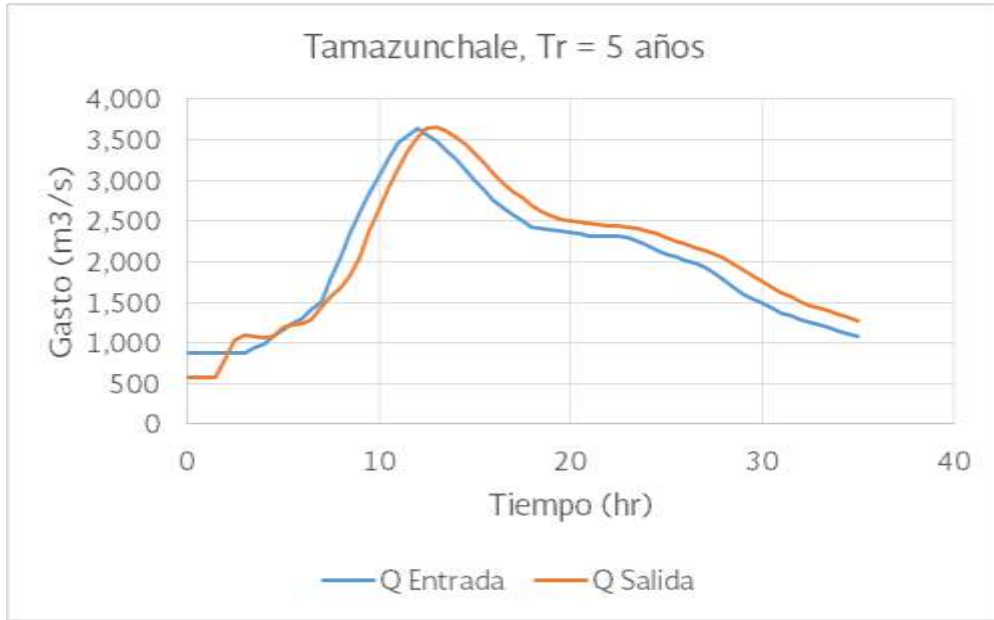


Figura 5.20 Hidrograma de salida para un Tr = 5 años

Con base en los resultados mostrados en la simulación correspondiente a un periodo de retorno de 10 años (Figura 5.21) se puede apreciar que no hay zonas de inundación en la mayoría de la zona urbana; sin embargo, en algunas márgenes de los ríos que convergen en el cauce principal se observan inundaciones leves de tipo fluvial

Para este escenario, las avenidas que ingresan en los dos ríos de ingreso puntual, son de gasto pico de 1,750 y 3,197 m³/s, más la precipitación que de acuerdo con la tabla 5.2 tiene una lámina neta de 214.5 mm, produce un hidrograma de salida de 3,514 m³/s mostrado en la figura 5.5.

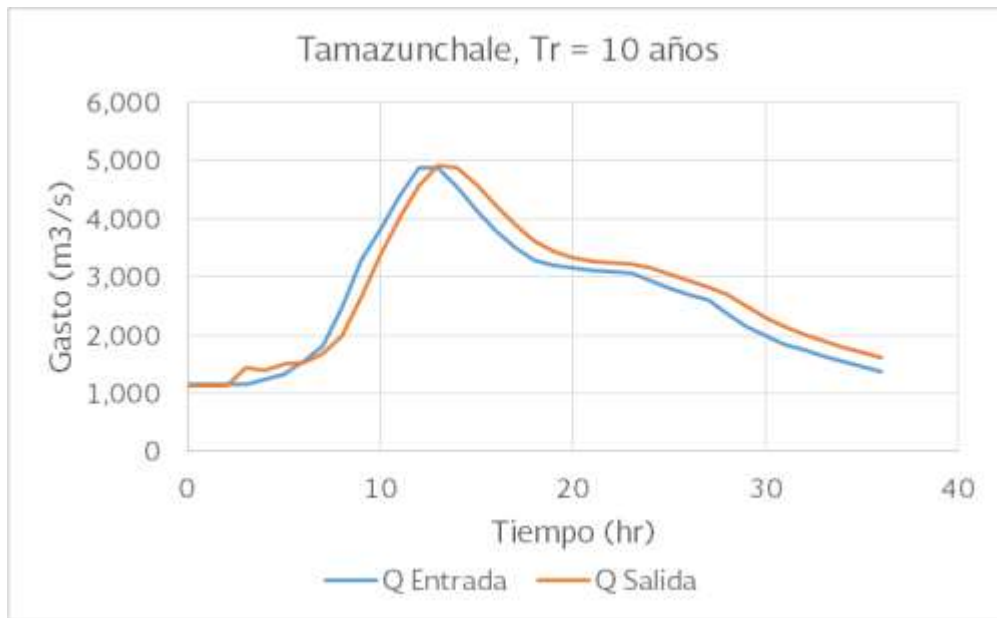


Figura 5.21 Hidrograma de salida para un Tr = 10 años

Los resultados mostrados en la simulación correspondiente a un periodo de retorno de 50 años (Figura 5.22) exhiben que no hay zonas de inundación en la mayoría de la zona urbana; sin embargo, en algunos puntos localizados en las márgenes de los ríos que convergen en el cauce principal se observan algunas inundaciones fluviales que se consideran de menor importancia.

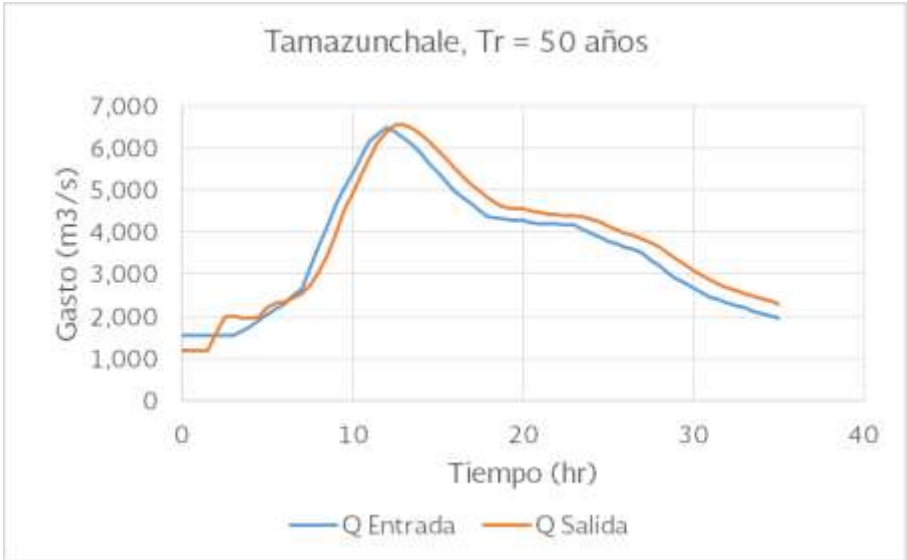


Figura 5.22 Hidrograma de salida para un Tr = 50 años

Con base en los resultados mostrados en la simulación correspondiente a un periodo de retorno de 100 años (Figura 5.23) se puede apreciar que las zonas no exhiben problemas importantes de inundación.

Para este escenario, las avenidas que ingresan en los dos ríos de ingreso puntual, son de gasto pico de 2,497 y 4,867 m³/s, más la precipitación que de acuerdo con la Tabla 5.3 tiene una lámina neta de 367.5 mm, que produce un hidrograma de salida de 5,378 m³/s mostrado en la Figura 5.23.



Figura 5.23 Hidrograma de salida para un Tr = 100 años

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 las 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.

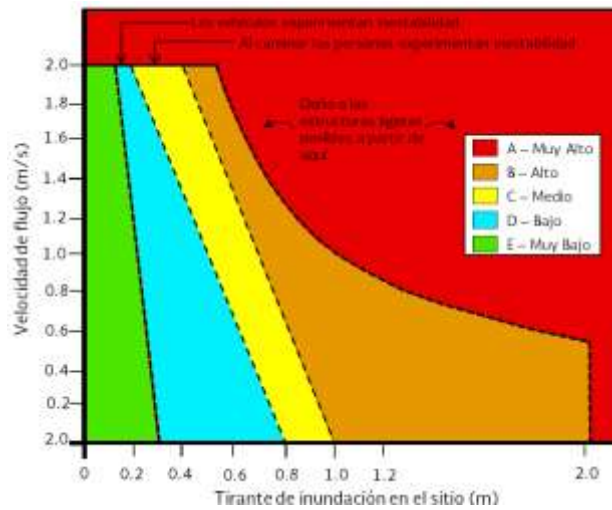


Figura 5.24 Diagrama de Dórrigo, Peterson, 2007

El Diagrama de Dórrigo (Figura 5.24) presenta un cuadrante coordinado compuesto por la velocidad del flujo (v), en el eje de las ordenadas, y el tirante que alcanza la inundación (y), en eje de las abscisas, dividido en cinco diferentes regiones, en función de los efectos que pueden llegar a presentarse ante la combinación de las dos variables antes mencionadas, a través de las cuales es posible identificar algunos de los efectos generados por una inundación y, de esa manera, clasificar toda el área inundada en función de la combinación (y,v). Cada región se identifica a través de una letra, de la A a la E y la “severidad de la inundación” se clasifica a través de un código de colores: el rojo corresponde a severidad muy alta, mientras que el verde a la severidad muy baja. En la Figura 5.25 se observa el criterio adoptado para clasificar la severidad ante una inundación.

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

Figura 5.25 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).

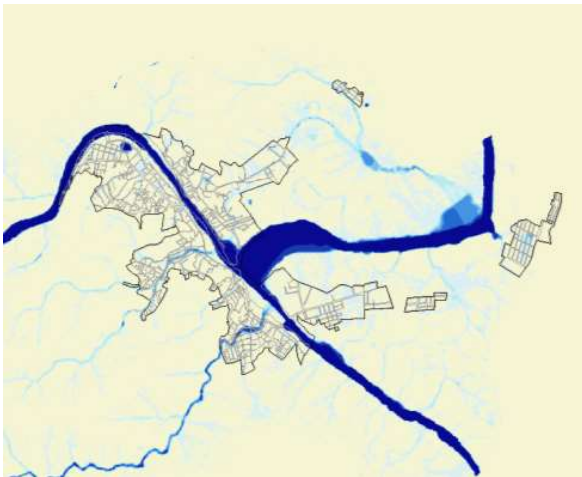


Figura 5.26 Envolvente de tirantes máximos

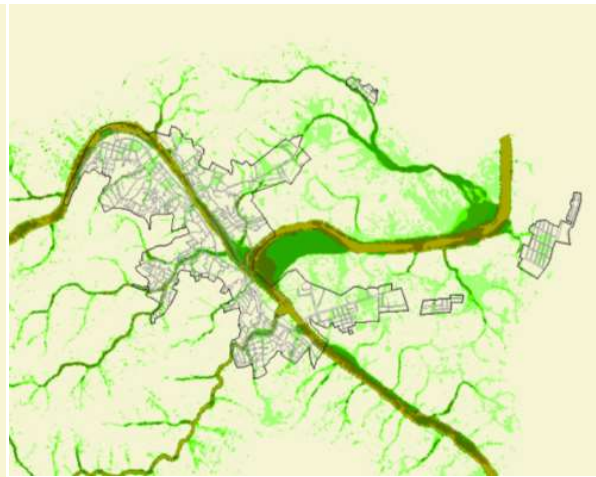


Figura 5.27 Envolvente de velocidades máximas

- 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).



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.

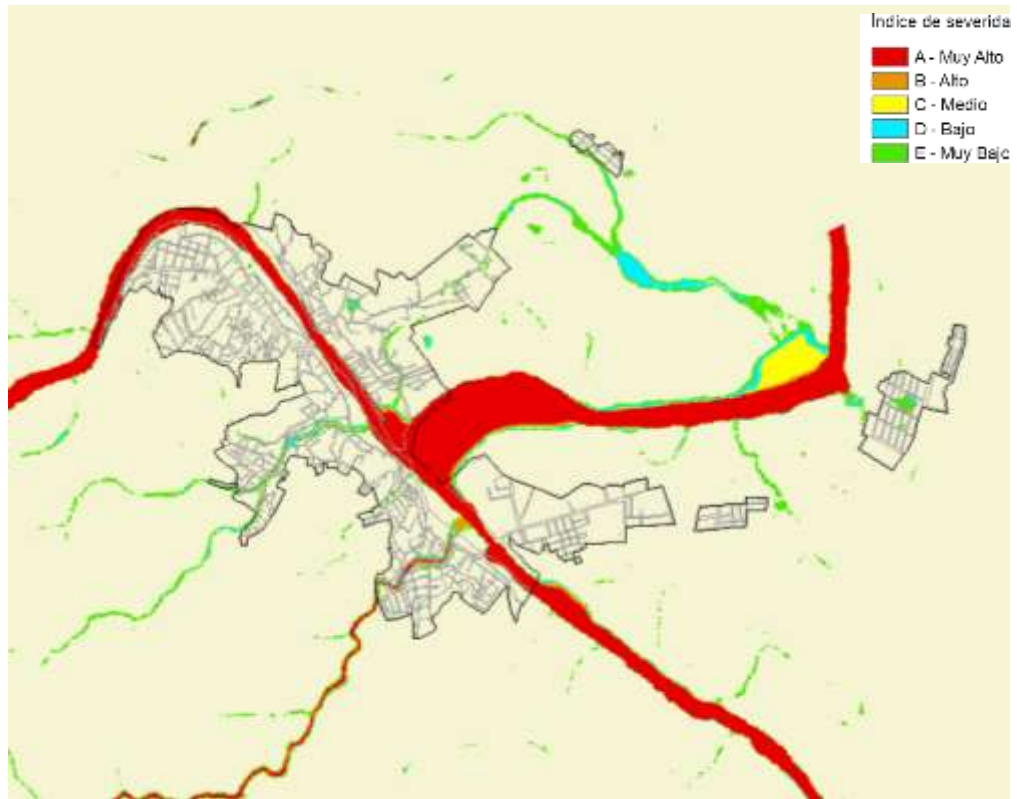


Figura 5.29 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 2 años

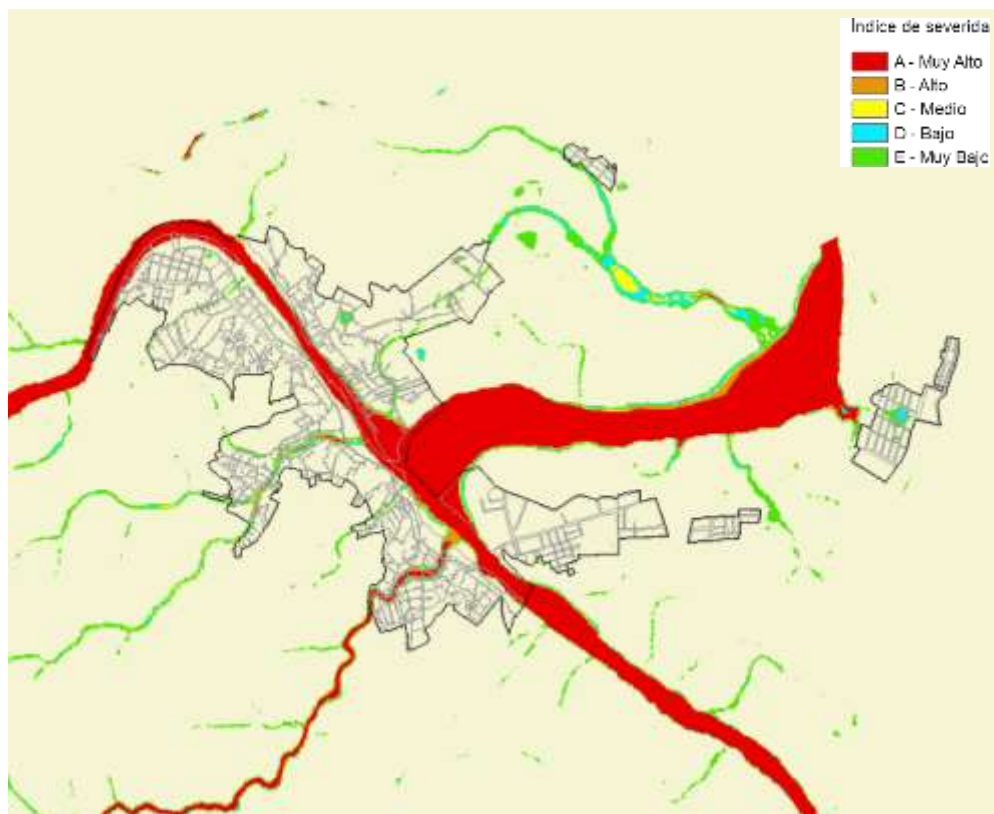


Figura 5.30 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 5 años



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

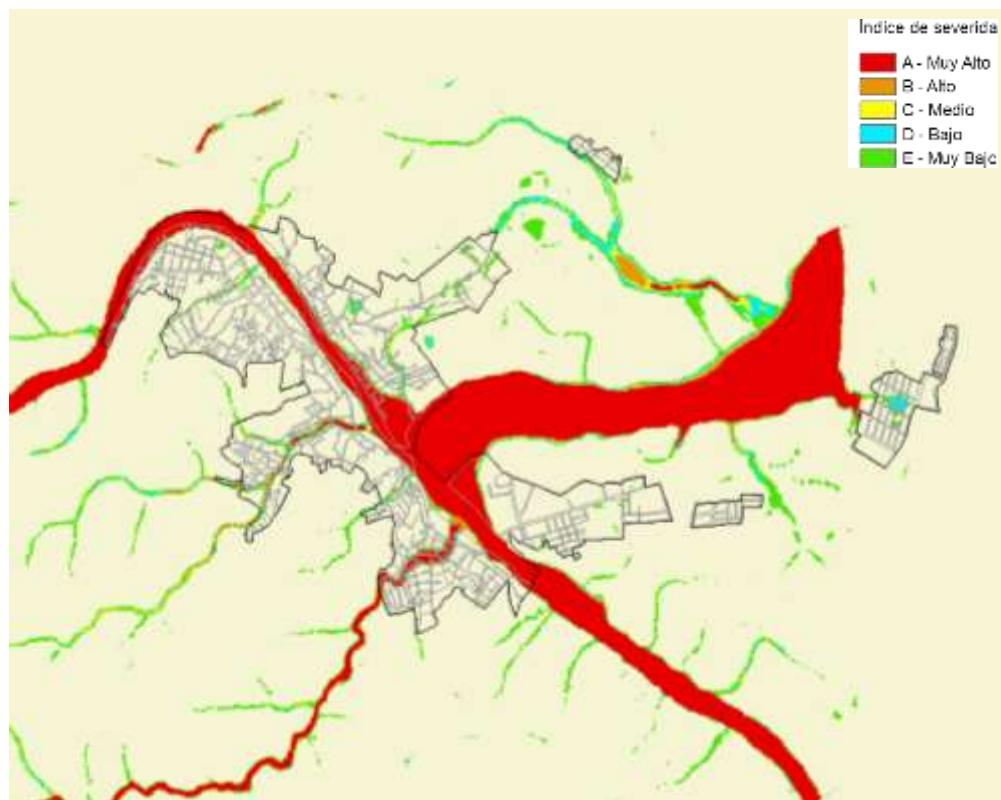


Figura 5.32 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años

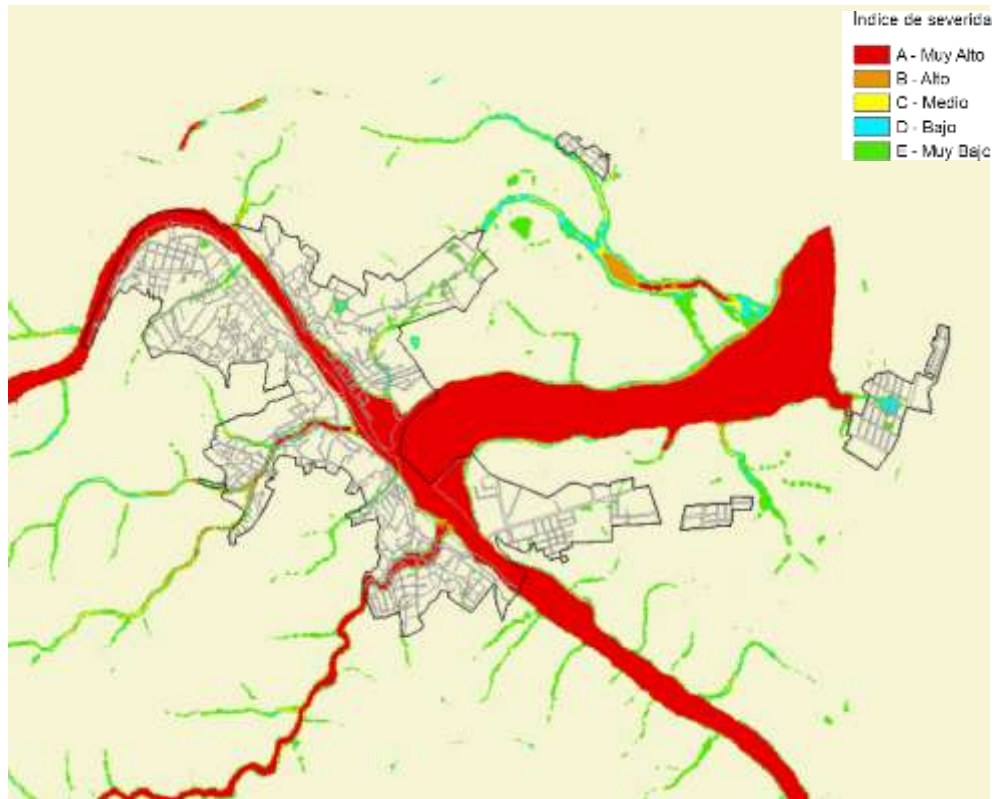


Figura 5.33 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años

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).

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/reclnat/usuarios/doc/dd_usyv_v1_250k.pdf

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

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.