



MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

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

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

**PROGRAMA CONTRA CONTINGENCIAS
HIDRÁULICAS PARA LA ZONA URBANA DE
FRESNILLO, ZACATECAS.
REGIÓN HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA VII,
CUENCAS CENTRALES DEL NORTE**

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Programa Contra Contingencias Hidráulicas para
la Zona Urbana de Fresnillo, Zacatecas

Región Hidrológico-Administrativa VII, Cuencas
Centrales del Norte

Contenido

1.	Introducción	1
2.	Gestión integrada de crecientes.....	2
2.1	La perspectiva a largo plazo	3
2.2	Políticas y estrategias de gestión integrada de crecientes.....	4
2.3	Declaratoria de Desastre Natural por fenómenos hidrometeorológicos.....	7
2.4	Matriz de análisis de la ley estatal de protección civil.....	9
2.5	Instituciones involucradas en la gestión de crecientes	11
2.5.1	Atribuciones de las instituciones involucradas con la atención a fenómenos hidrometeorológicos.....	13
3.	Caracterización de la cuenca y de las zonas inundables.....	18
3.1	Identificación de zonas potencialmente inundables.....	20
3.2	Socioeconómica.....	21
3.3	Fisiográfica, meteorológica e hidrológica.....	21
3.3.1	Cuenca de aportación	22
3.3.2	Relieve	23
3.3.3	Uso de suelo	24
3.3.4	Edafología.....	25
3.3.5	Subcuencas y características fisiográficas.....	27
3.3.6	Precipitación.....	32
	Ubicación de las estaciones climatológicas convencionales.....	32
	Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS)	33
	Precipitación media mensual, anual y máxima en 24 horas en la cuenca y en la localidad de Fresnillo	33
3.3.7	Escurrimientos.....	35
3.4	Descripción de inundaciones históricas relevantes	35
3.5	Identificación de actividades actuales en las planicies de inundación	38
4.	Diagnóstico de las zonas inundables.....	39
4.1.	Monitoreo y vigilancia de variables hidrometeorológicas.....	39
4.2.	Pronóstico de avenidas y sistemas de alerta temprana	39

4.3.	Funcionalidad de las acciones estructurales y no estructurales existentes.....	40
4.4.	Identificación de los actores sociales involucrados en la gestión de crecidas	41
4.5.	Identificación de la vulnerabilidad a las inundaciones	42
5.	Evaluación de riesgos de inundación	45
5.1.	Estimación de caudales y tormentas de entrada al sistema	45
5.1.1.	Cálculo de precipitación media de diseño	45
5.1.2.	Construcción de tormentas de diseño	48
5.1.3.	Modelo lluvia-escurrimiento	49
5.1.4.	Simulación y resultados.....	53
5.2	Modelo hidráulico	54
5.2.1	Procesamiento del modelo digital de elevaciones.....	54
5.2.2	Infraestructura.....	54
5.3	Simulación en las condiciones actuales	57
5.4	Análisis de los resultados	67
5.5	Elaboración del mapa de severidad.....	68
GLOSARIO		74
ANEXOS.....		81
REFERENCIAS.....		83

Lista de figuras

Figura 2.1 Gestión integrada de crecidas	3
Figura 3.1 Ubicación de la Zona Urbana de Fresnillo respecto al estado de Zacatecas	18
Figura 3.2 Ubicación respecto a las Regiones hidrológicas.....	19
Figura 3.3 Ubicación respecto a las cuencas del DOF	19
Figura 3.4 Ubicación respecto a la Región Hidrológico Administrativa Cuencas Centrales del Norte.....	20
Figura 3.5 Zonas potencialmente inundables.....	21
Figura 3.6. Zona Urbana de Fresnillo	22
Figura 3.7 Cuenca de aportación a la zona urbana de Fresnillo.....	23
Figura 3.8 Relieve de la cuenca de aportación	24
Figura 3.9 Cobertura vegetal y uso del suelo de la cuenca de aportación	25
Figura 3.10 Edafología o tipo de suelo (primario) de la cuenca de aportación.....	26
Figura 3.11. Subcuencas en las que se dividió la cuenca correspondiente a la ciudad de Fresnillo	27
Figura 3.12 Clasificación del suelo en grupos.....	30
Figura 3.13 Variación del número de escurrimiento N en la cuenca de la ciudad de Fresnillo	32
Figura 3.14 Estaciones climatológicas dentro y fuera de la cuenca de aportación	34
Figura 3.15 Precipitación media mensual y anual en la cuenca y en la localidad de Fresnillo	35
Figura 3.16. Zonas bajas susceptibles a inundaciones en Zacatecas	37
Figura 4.1 Marginación en la zona urbana de Fresnillo, Zacatecas.	44
Figura 5.1 Interfaz del programa V.E.L.L. elaborado por el CENAPRED.....	48
Figura 5.2. Patrón de distribución temporal de la lluvia en la EMA Zacatecas	49
Figura 5.3. Hidrograma curvilíneo adimensional del SCS.....	51
Figura 5.4. Pantalla que muestra el modelo de cuenca construido hasta la ciudad de Fresnillo	52
Figura 5.5 MDE recortado a la zona a modelar en IBER	55
Figura 5.6. Canal fluvial sobre la calle Pasea El Fresno desde la Calle Duranguillo hasta la carretera Fresnillo Enrique Estrada (Fuente Google Earth)	55

Figura 5.7. Vista del canal desde la calle Gonzáles Echeverría en dirección a la carretera Fresnillo- Enrique Estrada (Fuente Google Earth).....	56
Figura 5.8. Vista del canal visto desde la Carretera Fresnillo – Enrique Estrada. (Fuente Google Earth).....	56
Figura 5.9. Figura que muestra los tamaños de los elementos de la Malla para el análisis hidráulico con IBER.....	58
Figura 5.10. Figura que muestra la variación de la cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca	60
Figura 5.11. Figura que muestra la variación de la cobertura vegetal en la cuenca en el modelo IBER.....	61
Figura 5.12 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años	62
Figura 5.13 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 2 años	62
Figura 5.14 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años	63
Figura 5.15 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años	63
Figura 5.16 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años	64
Figura 5.17 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años	64
Figura 5.18 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años	65
Figura 5.19 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años	65
Figura 5.20 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años	66
Figura 5.21 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años.....	66
Figura 5.22 Comparación del hidrograma de salida con el software IBER y con el software HEC-HMS	67
Figura 5.23 Mapa de tirantes máximos alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años dentro de la zona urbana y donde se localiza el canal fluvial	68
Figura 5.24 Diagrama de Dórrigo	69
Figura 5.25 Código de colores para elaborar mapas de severidades	69

Figura 5.26 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 2 años.....	71
Figura 5.27 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 5 años.....	71
Figura 5.28 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 10 años.....	72
Figura 5.29 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años.....	72
Figura 5.30 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años.....	73

Lista de tablas

Tabla 2.1 Estrategias y opciones para la gestión de crecidas.....	6
Tabla 2.2 Matriz de análisis de la Ley de Protección Civil del Estado de Zacatecas	10
Tabla 2.3 Ámbito de competencia de las instituciones involucradas	13
Tabla 3.1 Regiones hidrológicas que conforman la localidad de Fresnillo.....	22
Tabla 3.2 Regiones hidrológicas que conforman la cuenca de aportación.....	23
Tabla 3.3 Uso de suelo.....	24
Tabla 3.4 Edafología.....	25
Tabla 3.5 Relación de las subcuencas en que se dividió la cuenca.....	28
Tabla 3.6 Grupo edafológico y tipo de suelo.....	29
Tabla 3.7 Valores del número de escurrimiento	30
Tabla 3.8 Características fisiográficas de las subcuencas	32
Tabla 3.9 Información de las estaciones climatológicas localizadas dentro y fuera de la cuenca	33
Tabla 3.10 Estaciones Meteorológicas Automáticas cerca de la cuenca de aportación .	33
Tabla 3.11 Precipitación media mensual y anual en la localidad de Fresnillo	34
Tabla 3.12 Lluvias extraordinarias en la localidad de Fresnillo para los años 2008, 2012 y 2013.....	35
Tabla 4.1 Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie, en km ² por estación)	39
Tabla 4.2 Dimensiones e indicadores del índice de marginación urbana por AGEB, 2010	43
Tabla 4.3 Complemento del IMU.....	43
Tabla 4.4 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Fresnillo, Zacatecas.	44
Tabla 5.1. Distribución de estaciones pluviométricas, con más de 20 años completos, en la república mexicana.....	47
Tabla 5.2. Precipitación máxima (mm) en 24 horas en cada una de las subcuencas	48
Tabla 5.3. Resumen de la EMA Zacatecas.....	49
Tabla 5.4. Gastos máximos (m ³ /s) para diferentes periodos de retorno en las subcuencas.....	53

Tabla 5.5. Precipitación efectiva (mm) para diferentes periodos de retorno en las subcuencas.....	53
Tabla 5.6. Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning “n” de acuerdo con el uso del suelo.....	59

1. Introducción

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

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

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

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

En este documento se presenta el *Programa Contra Contingencias Hidráulicas para la Zona Urbana de Fresnillo, estado de Zacatecas*, perteneciente a la Región Hidrológico-Administrativa VII, Cuencas Centrales del Norte. Contiene la caracterización de la zona urbana, considerando los aspectos económicos, sociales y ambientales, el diagnóstico de la problemática existente, y un análisis de riesgo en el que se encuentra la población y zonas productivas. Finalmente se presenta una propuesta de acciones que ayuden a prevenir y reducir los daños causados por inundaciones.

2. Gestión integrada de crecientes

La necesidad de mitigar los efectos de las inundaciones fue planteada desde el 2002 en el Plan de Aplicación de las Decisiones de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible –celebrada en Sudáfrica¹– en la que la comunidad internacional se comprometió a adoptar un enfoque integrado e integrador para hacer frente a la gestión de riesgos y a la vulnerabilidad, incluidas la prevención, la atenuación, la preparación, la respuesta y la recuperación.

Posteriormente, en Hyogo, Japón² (2005) se definió un Marco de Acción con objetivos estratégicos hacia una integración más eficaz de las consideraciones sobre los riesgos de desastre en las políticas, los planes y los programas de desarrollo sostenible, en los que la prevención, la atenuación, la preparación y la reducción de la vulnerabilidad son nuevamente elementos centrales, al igual que la creación y el fortalecimiento de instituciones, de mecanismos y de capacidad a todos los niveles.

A últimas fechas, el marco de acción para la reducción de desastres post 2015 resultante de la Conferencia de Sendai, Japón³ (2015) incorpora el compromiso para la reducción sustantiva de la mortalidad y una disminución de los damnificados y pérdidas económicas por desastres para el año 2030, así como un descenso de los daños de infraestructura crítica y servicios básicos, entre ellos la salud y la educación.

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

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

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

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

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



Figura 2.1 Gestión integrada de crecidas

2.1 La perspectiva a largo plazo

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

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

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

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

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

2.2 Políticas y estrategias de gestión integrada de crecientes

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

Objetivo 1. Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua

Objetivo 2. Incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones

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

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

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

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

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

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

Los elementos rectores de la GIC son:

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

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

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

El tercer elemento, Gestión integrada de riesgos, ofrece alternativas para evitar que un peligro se transforme en desastre. La gestión de riesgos de crecidas consiste en una serie de medidas sistemáticas para un periodo de preparación, respuesta y recuperación y debe formar parte de la GIRH. Las medidas adoptadas dependen de las condiciones de peligro del entorno social, económico y físico. Los resultados de este proceso continuo de gestión de riesgos pueden ser divididos en:

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

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

El cuarto elemento, *Adopción de la mejor combinación de estrategias*, propone para la selección de estrategias o combinación de estrategias, considerar tres factores

correlacionados: el clima, las características de la cuenca y las condiciones socioeconómicas de la zona.

Tabla 2.1 Estrategias y opciones para la gestión de crecidas

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

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

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

- Definir las fronteras geográficas y límites funcionales de todas las instituciones involucradas en la gestión de crecidas.
- Promover la coordinación y la cooperación por encima de las barreras funcionales y administrativas.

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

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

2.3 Declaratoria de Desastre Natural por fenómenos hidrometeorológicos

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

Los Gobiernos son cada vez más conscientes que el riesgo fiscal derivado de desastres naturales no puede seguir siendo ignorado. México se encuentra en la vanguardia de iniciativas encaminadas al desarrollo de un marco integral en gestión del riesgo de desastres, incluyendo el uso efectivo de mecanismos de financiamiento del riesgo y aseguramiento para manejar el riesgo fiscal derivado de los desastres. El Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) fue establecido por el Gobierno Federal de México en el marco de su estrategia de gestión integral del riesgo con el propósito de apoyar actividades de emergencia, recuperación y reconstrucción después de la ocurrencia de un desastre.

El FONDEN fue originalmente creado como un programa dentro del Ramo 23 del Presupuesto de Egresos de la Federación de 1996, y se hizo operacional en 1999 cuando 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.

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

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 Zacatecas vigente, entró en vigor el 20 de agosto de 2011. Su objeto es establecer las normas, criterios y principios básicos, a los que se sujetarán los programas, políticas y acciones de protección civil; los fundamentos para la prevención y mitigación ante las amenazas de riesgo geológico, fisicoquímico, sanitario, hidrometeorológico y socio-organizativo; implementar las acciones de mitigación, auxilio y restablecimiento, para la salvaguarda de las personas, sus bienes, el entorno y el funcionamiento de los servicios vitales y sistemas estratégicos, en los casos de emergencia, siniestro o desastre; la integración y funcionamiento de los Sistemas Estatal y Municipales de Protección Civil de la entidad, las bases para promover y garantizar la participación social en protección civil y en la elaboración, ejecución y evaluación de los programas en la materia, para que las acciones de los particulares contribuyan a alcanzar los objetivos y prioridades establecidos por dichos programas; y el fomento a la Cultura de Protección Civil y autoprotección en sus habitantes (Tabla 2.2).

La política de Protección Civil tiene entre sus principios rectores, la prevención como el medio más eficaz para alcanzar los objetivos de la protección civil, el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas estratégicos y servicios vitales son aspectos fundamentales de la protección civil, la participación corresponsable de la sociedad y la prevención en situación normal, las acciones de auxilio a la población y restablecimiento de los servicios públicos vitales en condiciones de emergencia, son funciones de carácter público que se deben atender promoviendo la participación de la sociedad.

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

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

2.5 Instituciones involucradas en la gestión de crecientes

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

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

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

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

Internacionales

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

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

El Programa Asociado de Gestión de Inundaciones, que se conoce por su sigla en inglés APFM, es una iniciativa conjunta de la Organización Meteorológica Mundial y la Asociación Mundial del Agua [Global Water Partnership (GWP)]. El Programa promueve

el concepto de gestión integrada de inundaciones, nuevo enfoque en materia de gestión de crecidas. Cuenta con respaldo financiero de los gobiernos de Japón y los Países Bajos.

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

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

Federales

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

Estatales

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

Municipales

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

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

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

Tabla 2.3 Ámbito de competencia de las instituciones involucradas

Instituciones	Artículos	Atribuciones
Secretaría de Gobernación (SEGOB)	5FXXIV,XXVII	Fracción XXIV, coordinar a las diversas dependencias y entidades que, por sus funciones, deban participar en las labores de auxilio, en caso de desastres o emergencias. Fracción XXVII, coordinar las acciones de Seguridad Nacional y establecer políticas de Protección Civil. Reglamento Interior D.O.F. 2/04/2013.
Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA)	28FXXXVI,38F VII	Reglamento Interior.- DOF.- 17-10-2011.- Artículo 28 fracción XXXVI. Proponer directivas orientadas a la prevención y control de desastres en asuntos de su competencia.- Artículo 38 fracción VII. Planear, dirigir y coordinar el trabajo de ingenieros en beneficio de la Secretaría y de la población civil, en casos de desastres y demás necesidades públicas.
Secretaría de Marina (SEMAR)	16FX,2FX	Reglamento Interior: DOF.-31-12-2012.- Artículo 16 fracción X.- Corresponde a la Dirección General de Investigación y Desarrollo.- Obtener procesar y difundir información meteorológica y de fenómenos oceánicos y atmosféricos, coordinando lo que proceda con el Servicio Meteorológico Nacional. Ley Orgánica de la Armada de México. DOF 31/12/2012.- Artículo 2 fracción X.- El de realizar actividades de investigación científica, oceanográfica, meteorológica, biológica y de los recursos humanos, actuando por sí sólo o en coordinación con otras instituciones nacionales o extranjeras, o en coordinación con dependencias y entidades de la Administración Pública Federal. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 30 fracción XXI.- Participar y llevar a cabo las acciones que le corresponda dentro del marco del Sistema Nacional de Protección Civil para la prevención, auxilio, recuperación y apoyo a la población en situaciones de desastre.
Secretaría de Gobernación.- Comisionado nacional de seguridad.	38FI	Reglamento Interior.- DOF 2-04-2013.- Artículo 38 fracción i.- Proponer al Secretario las Políticas, programas y acciones tendientes a garantizar la seguridad pública de la Nación y de sus habitantes, así como coordinar y supervisar su ejecución e informar sobre sus resultados. Reglamento del Servicio de Protección Federal.-DOF 9/112/2008.- Facultades del Comisionado.- Artículo 10 fracción VIII.- Apoyar la participación de las instituciones públicas federales en la implementación de programas de vigilancia y custodia, protección civil y prevención del delito, en los términos de las disposiciones aplicables.
Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP)	6FIV, 31FI	Reglamento interior. Artículo 6 fracción IV.- Coordinar, conjuntamente con la Secretaría de Desarrollo Social en el ámbito de su competencia, el otorgamiento de las autorizaciones de acciones e inversiones convenidas con los gobiernos locales y municipales tratándose de planeación nacional y regional. Ley

Instituciones	Artículos	Atribuciones
		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.
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

Instituciones	Artículos	Atribuciones
		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.
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

Instituciones	Artículos	Atribuciones
		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 rija 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 Fresnillo, cuya área aproximada es de 27.33 km², se localiza en el municipio del mismo nombre correspondiente al estado de Zacatecas. Se ubica al centro del estado y del municipio entre las coordenadas Geográficas 102° 52' 03" de Longitud Oeste y 23°10'33" de Latitud Norte.

Los municipios con los que colinda el municipio de Fresnillo están dentro del estado de Aguascalientes. Al norte colinda con los municipios de Sain Alto y Cañitas de Felipe Pescador; al Sur con los municipios de Jerez, General Enrique Estrada, Calera y Pánuco; al Este con el municipio de Villa de Cos; y al Oeste con los municipios de Sombrerete y Valparaíso.

Para los estudios hidrológicos de la determinación de la disponibilidad de agua y de inundaciones, el país está dividido en 37 Regiones Hidrológicas (RH), siendo las RH "Nazas-Aguanaval" y la RH 36 "El salado" donde se localiza la localidad de Fresnillo, el municipio del mismo nombre. Además de acuerdo con la división de las cuencas del Diario Oficial de la Federación (DOF) la localidad está dentro de la cuenca "Presa Cazadero" y "Fresnillo-Yesca".

Para la administración del Agua, la Comisión Nacional del Agua (Conagua), dividió al país en 13 Regiones Hidrológico Administrativos (RHA), el municipio de Fresnillo y por lo tanto la localidad del mismo nombre se encuentran dentro de la RHA VII "Cuencas Centrales del Norte".

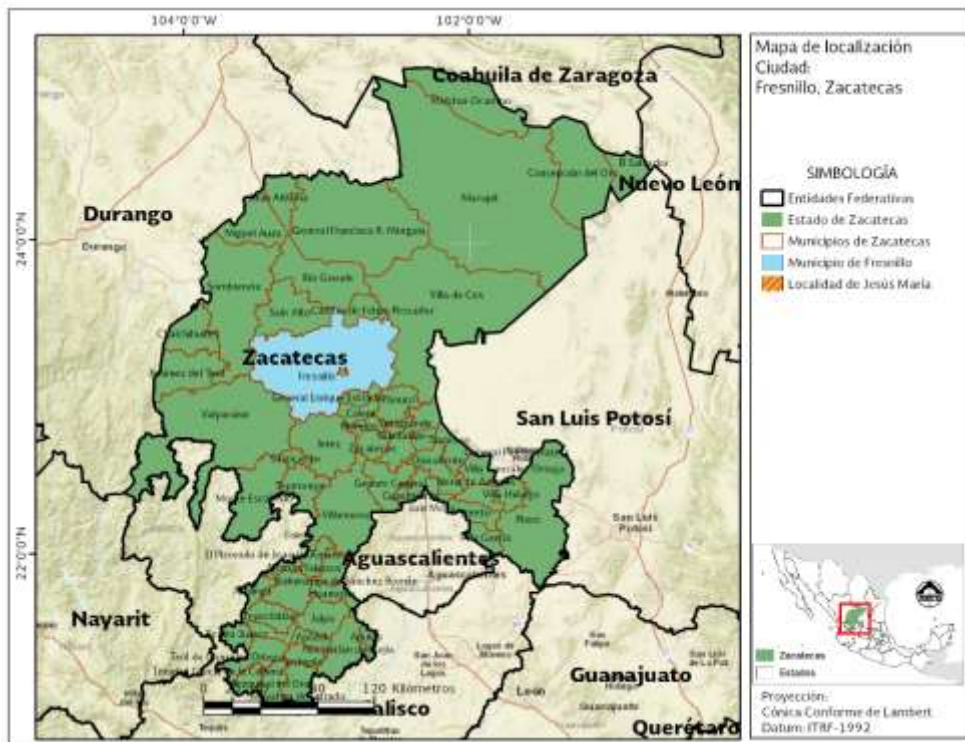


Figura 3.1 Ubicación de la Zona Urbana de Fresnillo respecto al estado de Zacatecas

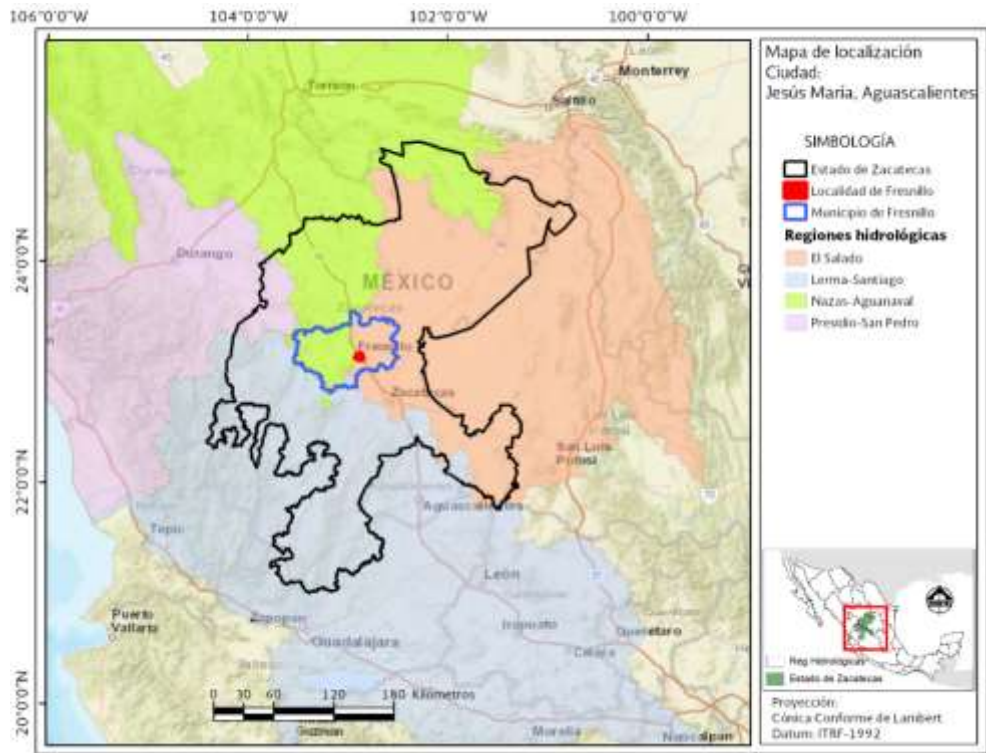


Figura 3.2 Ubicación respecto a las Regiones hidrológicas

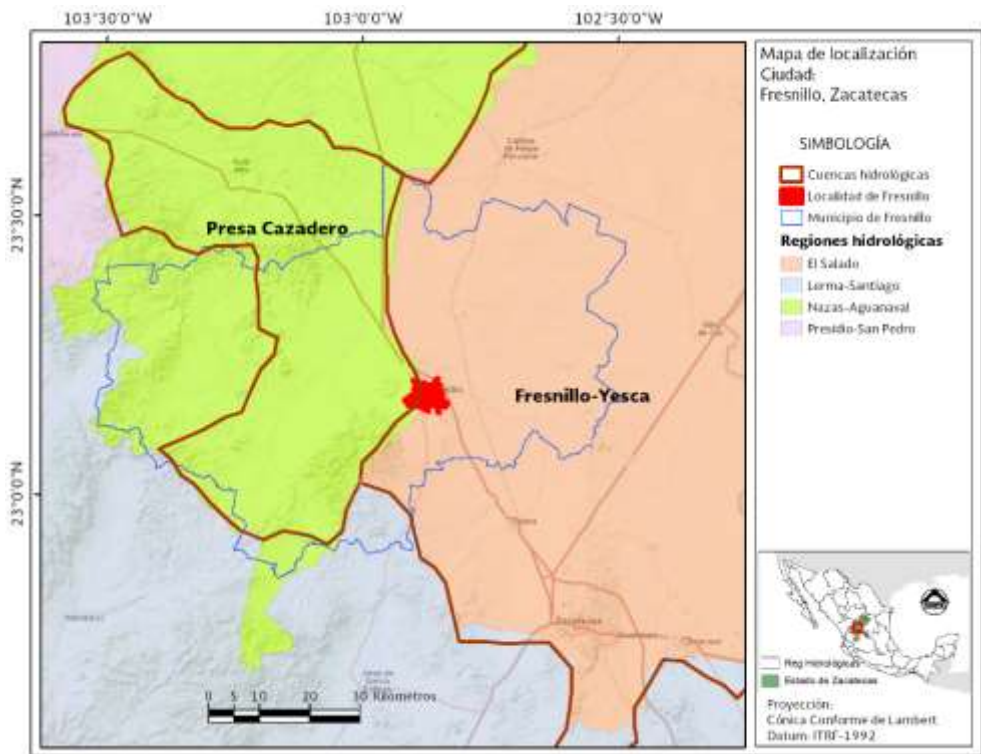


Figura 3.3 Ubicación respecto a las cuencas del DOF



Figura 3.4 Ubicación respecto a la Región Hidrológica Administrativa Cuencas Centrales del Norte

3.1 Identificación de zonas potencialmente inundables

De acuerdo al Mapa Nacional de Índice de Inundación (Uribe et al, 2010) se presentan algunas zonas potencialmente inundables a las afueras de la zona urbana Fresnillo y focos pequeños de atención dentro de la misma (Figura 3.5).

El mapa es una primera aproximación para caracterizar el potencial de inundación y se construyó a partir del cálculo del Índice Topográfico, definido como el cociente entre la acumulación de flujo (área de drenaje parcial “aguas arriba” para un punto en particular) y la tangente de la pendiente (Beven and Kirkby, 1979). Su aplicación principal consiste en la identificación de humedales, definidos como zonas perennes o efímeramente saturadas o inundadas. Los valores altos del índice corresponden a regiones propensas a inundación, el índice constituye un elemento poderoso y simple para la determinación de dichas regiones.

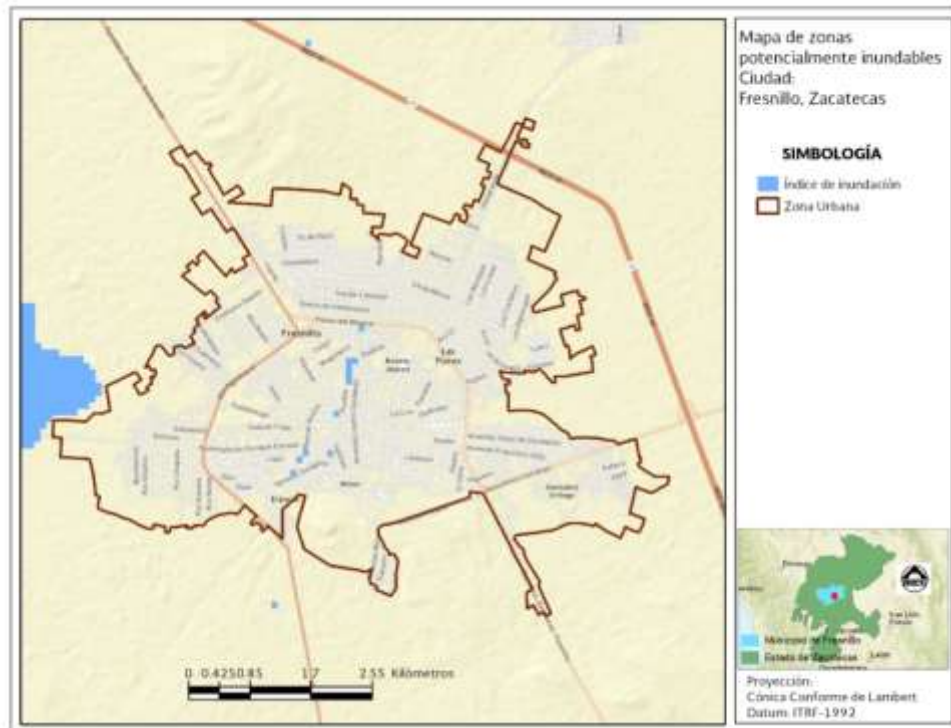


Figura 3.5 Zonas potencialmente inundables

3.2 Socioeconómica

Fresnillo de González Echeverría, o simplemente Ciudad de Fresnillo, es la cabecera municipal del municipio de Fresnillo, en el estado de Zacatecas. Es la segunda ciudad más importante del estado después de la capital. De acuerdo a los datos del Censo de Población y Vivienda 2010, la ciudad cuenta con una población de 120,944 habitantes, de los cuales 14,589 son menores de 5 años y 9,086 mayores de 60. Se contabilizan 4,654 personas con capacidades limitadas. En relación a la escolaridad, el grado promedio es de 9.07 años. La población económicamente activa asciende a 47,511 habitantes, y en materia de salud 31,041 no tienen derecho a servicios de salud. Del total de viviendas –36,583– 567 tienen piso de tierra y 28,163 cuentan con servicios.

3.3 Fisiográfica, meteorológica e hidrológica

El área de estudio corresponde a la zona conurbada de Fresnillo que tiene una extensión de 27.33 km², de los cuales 21.40 km² corresponden a la RH “El Saldo” y los 5.42 km² restantes a la RH “Nazas Aguanaval”. Aproximadamente la elevación en la zona más alta es 2,299 m.s.n.m y en su parte más baja de 2,141 m.s.n.m.

Tabla 3.1 Regiones hidrológicas que conforman la localidad de Fresnillo

Región hidrológica	Núm. región	Área (km ²)	%
Nazas-Aguanaval	36	5.92	21.67
El Salado	37	21.40	78.33
Total		27.32	100.00

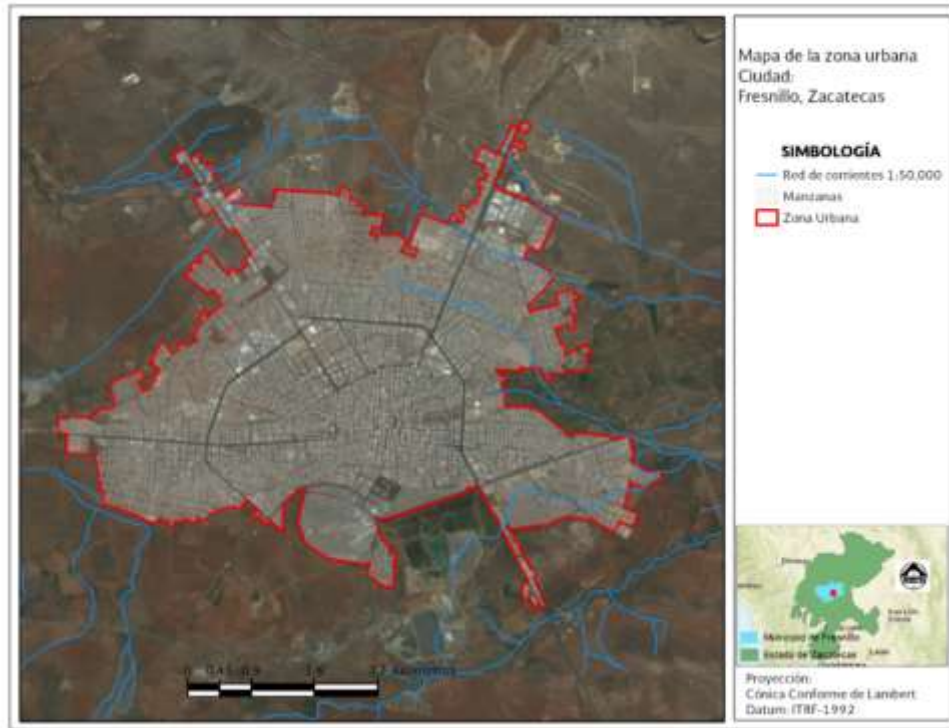


Figura 3.6. Zona Urbana de Fresnillo

3.3.1 Cuenca de aportación

Con el fin de estimar el riesgo por inundación en la zona urbana de Fresnillo se determinó la cuenca de aportación a la localidad. La cuenca contiene en su mayoría arroyos intermitentes.

Para el trazo de la cuenca se recopiló y utilizó la información siguiente:

- Modelo digital de elevación escala 1:20,000
- Red Hidrográfica escala 1:50,000
- Curvas de nivel escala 1:50,000

El área de la cuenca de aportación resultó de 68.058 km², de los cuales 43.33 km² corresponden a la RH “El Saldo” y los 24.73 km² restantes a la RH “Nazas Aguanaval”.

Debido a que la localidad se ubica entre dos regiones hidrológicas, para la determinación de las avenidas para los diferentes periodos de retorno, así como para el análisis hidráulico la cuenca se dividirá en subcuencas considerando las RH, así como los principales cauces localizados dentro de la localidad.

Tabla 3.2 Regiones hidrológicas que conforman la cuenca de aportación.

Región hidrológica	Núm. región	Área (km ²)	%
Nazas-Aguanaval	36	24.73	36.34
El Salado	37	43.33	63.66
Total		68.06	100.00

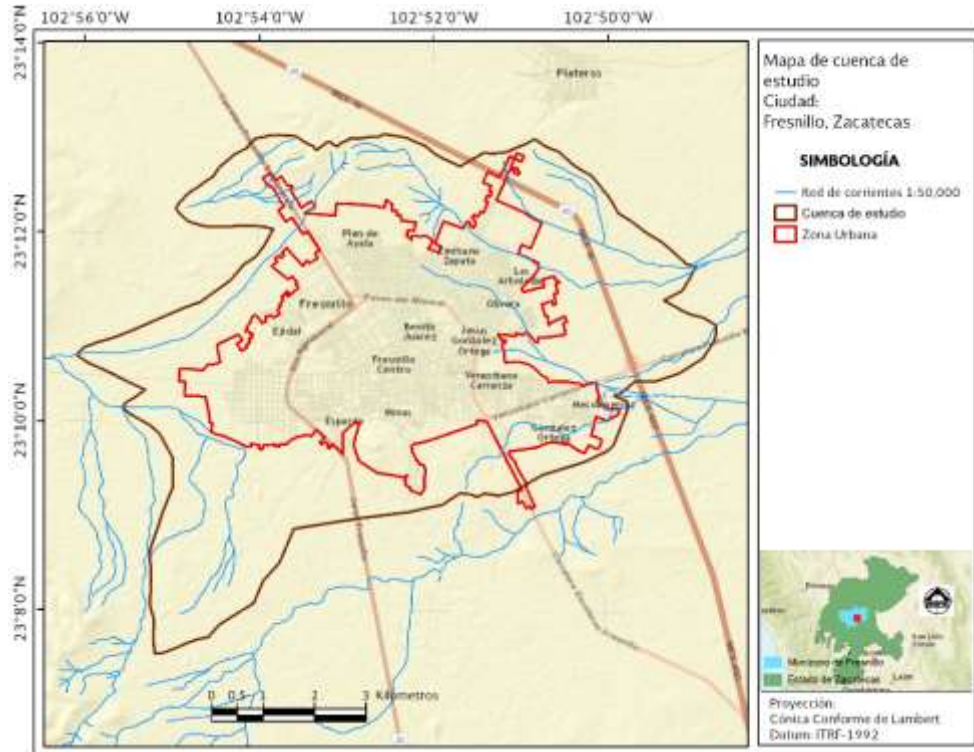


Figura 3.7 Cuenca de aportación a la zona urbana de Fresnillo

3.3.2 Relieve

La cuenca de aportación a la zona urbana de Fresnillo tiene una elevación máxima y mínima de 2,354 y 2,116 msnm respectivamente. La elevación media de la cuenca resultó de 2,199 msnm y la elevación de la localidad de Fresnillo es 2,197 msnm.

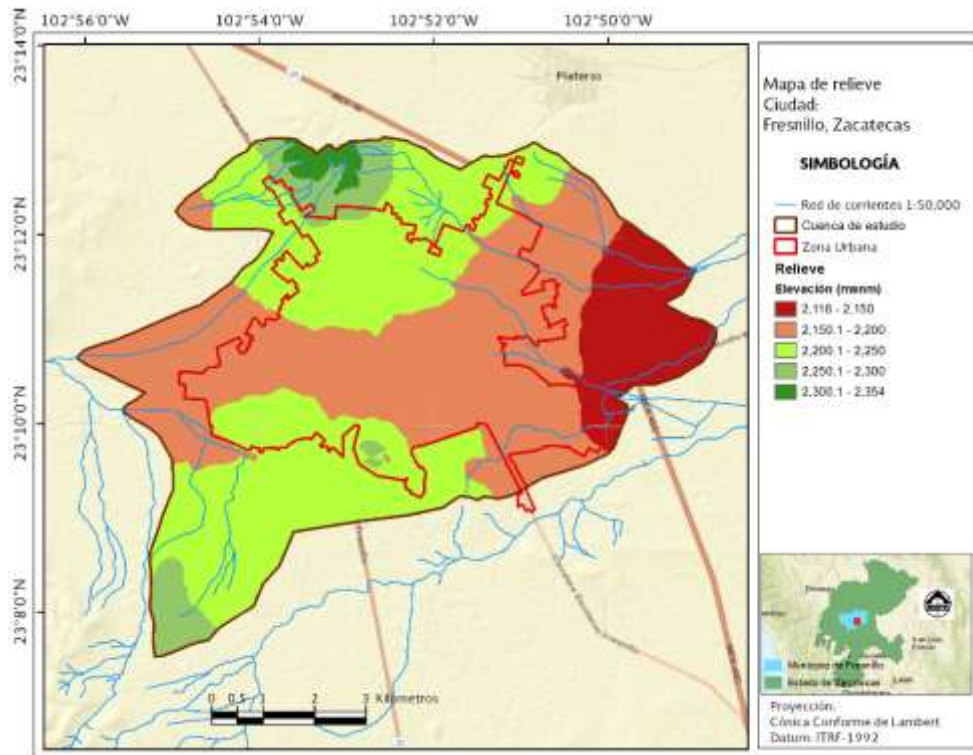


Figura 3.8 Relieve de la cuenca de aportación

3.3.3 Uso de suelo

La cobertura vegetal o uso del suelo que predomina en la cuenca de aportación es la agricultura de riego con un 43.59%. La vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural y la zona urbana ocupan el 21.51 y 20.23% respectivamente de la cuenca.

Tabla 3.3 Uso de suelo

Cobertura vegetal y uso del suelo	Área (km ²)	%
Agricultura de riego	29.67	43.59
Agricultura de temporal	0.52	0.77
Asentamientos humanos	6.23	9.15
Cuerpo de agua	0.22	0.33
Pastizal natural	3.01	4.42
Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural	14.64	21.51
Zona urbana	13.77	20.23
Total	68.06	100

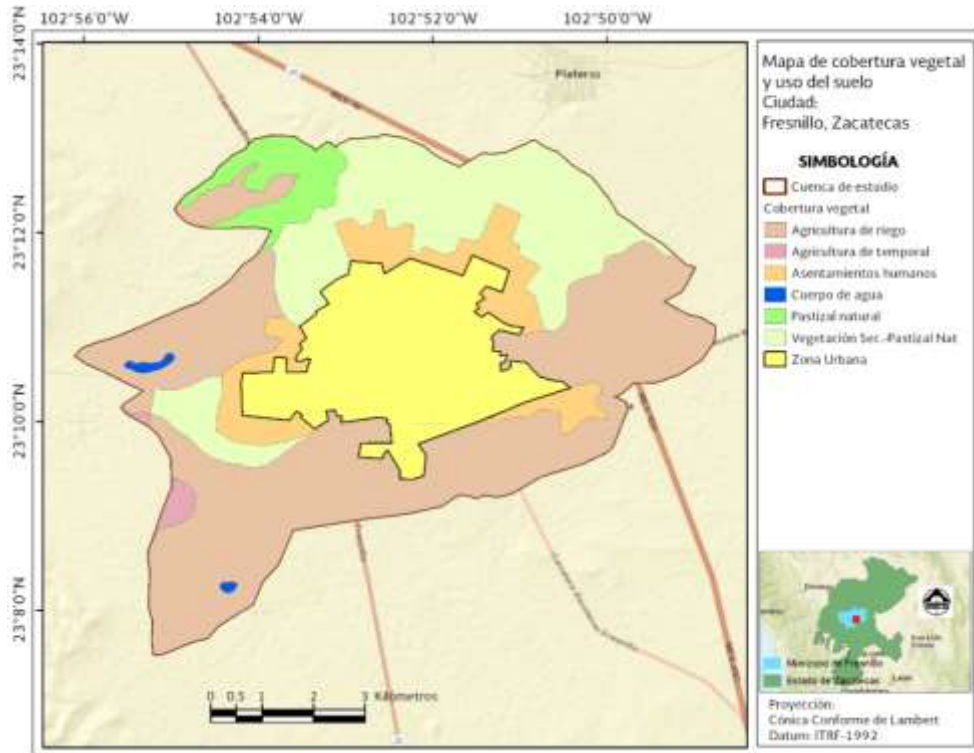


Figura 3.9 Cobertura vegetal y uso del suelo de la cuenca de aportación

3.3.4 Edafología

De acuerdo con las áreas de suelo primario la cuenca de aportación está conformada en su mayor parte por Kastañozem con un 24.53%, le sigue la zona urbana con el 20.24% y el Phaeozem con el 20.19%.

Tabla 3.4 Edafología

Tipo de suelo	Área (km ²)	%
Calcisol	5.92	8.69
Cuerpo de agua	0.22	0.32
Kastañozem	16.70	24.53
Leptosol	8.62	12.67
Luvisol	9.09	13.35
Phaeozem	13.74	20.19
Zona Urbana	13.77	20.24
Total	68.06	100.00

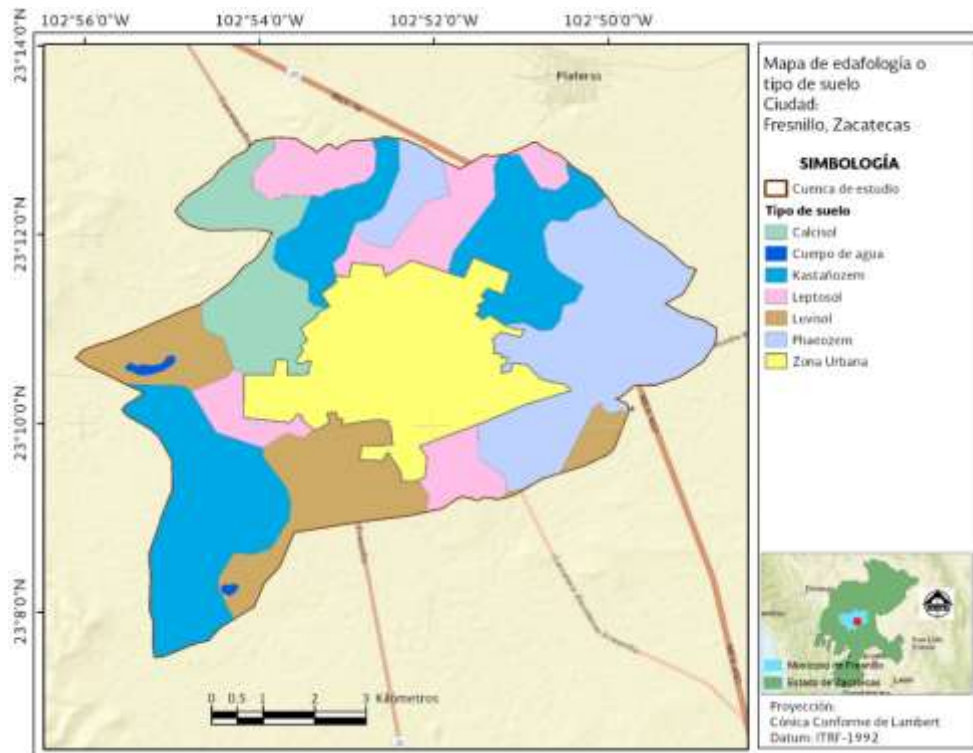


Figura 3.10 Edafología o tipo de suelo (primario) de la cuenca de aportación

A continuación, se presenta una breve descripción de los tipos de suelo que se encuentran en la cuenca de aportación.

CALCISOL.- Suelo generalmente de color claro, que presenta una acumulación secundaria de carbonatos de calcio (CaCO_3) y/o una capa cementada con (CaCO_3) mayor de 10 cm de espesor, dentro de los primeros 100 cm de profundidad del suelo.

KASTAÑOZEM.- Suelo que presenta una capa superficial de color muy oscuro (horizonte Mólico) y concentraciones de carbonatos secundarios de CaCO_3 , dentro de los primeros 100 cm de profundidad del suelo.

LEPTOSOL.- Suelo limitado en profundidad por roca dura continua dentro de los primeros 25 cm desde la superficie hasta límite con el estrato rocoso.

LUVISOL.- Suelo que tiene un incremento de acumulación de arcilla en el subsuelo (horizonte Árgico) y una capacidad de intercambio catiónico mayor de 24 cmol/kg de arcilla en todo su espesor.

PHAEOZEM.- Suelo que presenta una capa superficial de color oscuro (horizonte Mólico) y una saturación con bases del 50% o mayor y una matriz libre de carbonato de calcio por lo menos hasta una profundidad de 100 cm o hasta el límite con una capa contrastante (roca, cementación).

3.3.5 Subcuencas y características fisiográficas

Con la finalidad de determinar los escurrimientos en la cuenca de estudio de una manera más precisa es necesario considerar la variación espacial de la cobertura vegetal, del uso del suelo y del tipo de suelo. Por lo que la cuenca se dividió en subcuencas, y así poder considerar los tiempos de traslado de los hidrogramas de una subcuenca a otra, lo cual permite calcular los escurrimientos de una manera más precisa.

Para la división de subcuencas se tomaron como criterios la red de ríos existentes, ya que fuera de la zona urbana existen varias corrientes que confluyen a una corriente, pero aguas debajo de la cuenca de estudio, razón por la cual se optó en dividir en subcuencas. De acuerdo con lo mencionado, la cuenca de estudio se dividió en 10 subcuencas,

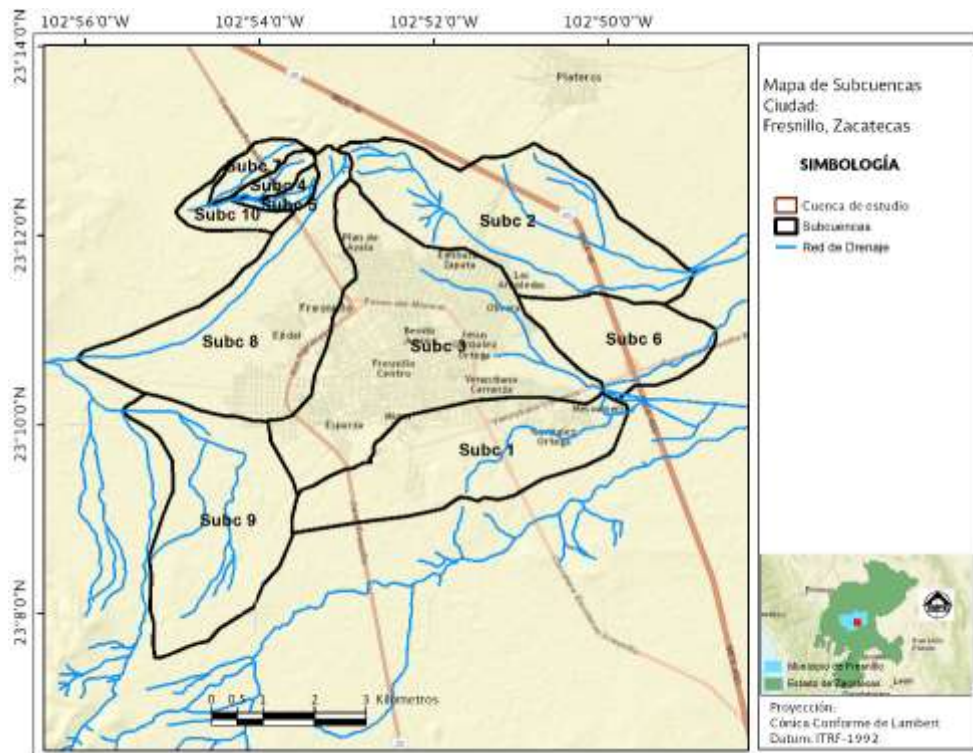


Figura 3.11. Subcuencas en las que se dividió la cuenca correspondiente a la ciudad de Fresnillo

Tabla 3.5 Relación de las subcuencas en que se dividió la cuenca

No	Nombre de la Subcuenca	A(km ²)
1	RH37-1	9.611
2	RH37-2	12.043
3	RH37-3	16.285
4	RH36-4	0.626
5	RH36-5	0.558
6	RH37-6	4.731
7	RH36-7	0.959
8	RH36-8	11.701
9	RH36-9	10.372
10	RH36-10	1.173

Una vez que se definió la cuenca de aportación y las subcuencas; es necesario calcular las características fisiográficas que se requieren obtener las avenidas de diseño mediante la aplicación de un modelo lluvia - escurrimiento. Las características se utilizarán en el software HEC-HMS (capítulo 5) con el cual se realizará la modelación hidrológica.

Las características necesarias para la modelación del proceso lluvia-escurrimiento son:

- Área de las subcuencas
- Tiempo de retraso de las subcuencas
- Números de escurrimiento

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda el agua en llegar a la salida de la cuenca desde el punto más alejado de la cuenca, además cuando la tormenta tiene una duración mayor o igual al tiempo de concentración de la cuenca se presenta el gasto máximo para dicha tormenta

El tiempo de concentración de la cuenca de aportación se determinó con la formulación de Kirpich, cuya ecuación es la siguiente ⁷

$$T_c = 0.0003245 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

donde

T_c= Tiempo de concentración en hr

L = Longitud del cauce principal en m

S = Pendiente media del cauce principal (relación directa)

En la tabla 3.8 se presenta para cada subcuenca los valores de la longitud y pendiente del cauce principal, y por lo tanto el tiempo de concentración.

Número de escurrimiento N

Para definir las avenidas de diseño en cada una de las subcuencas, es necesario estimar la precipitación efectiva generada por la tormenta que se analiza. Existen varios métodos para realizar esto, entre los que se encuentra el conocido como *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, para suelos muy permeables, y 100, para suelos impermeables.

Para estimar el coeficiente N, el primer paso es clasificar la edafología, o tipos del suelo, que conforman la cuenca, de acuerdo con 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.

Cada grupo edafológico se le asigna un tipo de acuerdo a su calificador y textura, como ejemplo se tiene la siguiente tabla:

Tabla 3.6 Grupo edafológico y tipo de suelo

Suelo	Calificador	Textura	Tipo
ACRISOL	Húmico	Fina	C
ACRISOL	N	Media	C
ACRISOL	Ródico	Media	C
ANDOSOL	Dístrico	Gruesa	A
ANDOSOL	Dístrico	Media	B

De acuerdo con el mapa de edafología presentada en la figura 3.10, se clasificó el suelo en los cuatro grupos, para lo cual se apoyó en la tabla presentada en el manual de la CNA (1987). En la siguiente figura se muestra la variación de los cuatro grupos, donde se observa que predomina el grupo de suelo C seguido por el D.

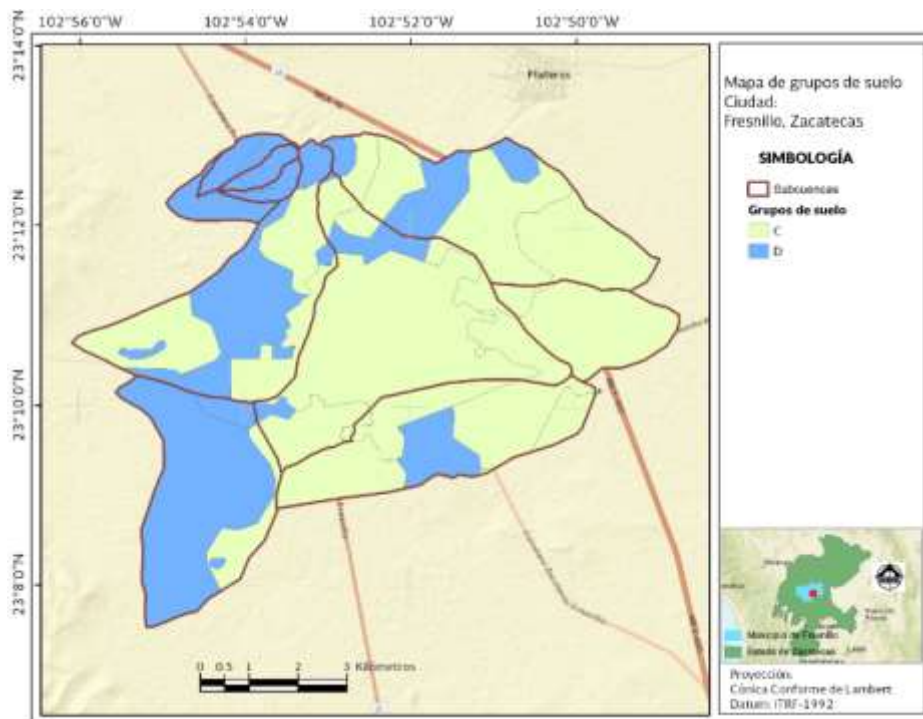


Figura 3.12 Clasificación del suelo en grupos

En segundo lugar, se deben identificar los posibles usos del suelo. Para ello se definieron los que aparecen en la columna izquierda de la siguiente tabla y, finalmente, con base en ambas variables (cobertura vegetal y uso del suelo), se definieron de acuerdo con las referencias bibliográficas (CONAGUA, 1987 y Aparicio, 1997) y la experiencia los valores para el número de escurrimiento N para cada grupo de suelo.

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 Tásate	37	60	71	78
Bosque Latifoliado	26	52	62	69
Bosque mesofilo de montaña	36	60	70	77

Cobertura vegetal o uso del suelo	Grupo de suelo			
	A	B	C	D
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 desertico microfilo	50	69	79	84
Matorral desértico rosetófilo	50	69	79	84
Matorral xerofilo	48	67	77	83
Otros tipos de vegetacion	50	69	79	84
Palmar inducido	76	85	88	90
Pastizal	48	67	77	83
Pastizal Cultivado	25	59	75	83
Pastizal Hallofilio	48	67	77	83
Pastizal inducido	25	59	75	83
Pastos Naturales	49	69	79	84
Popal	87	89	92	94
Sabana	39	61	74	80
Selva alta perennifolia	36	60	70	77
Selva alta Superennifolia	36	60	70	77
Selva baja caducifolia	39	63	74	80
Selva baja perennifolia	46	68	78	84
Selva baja subcaducifolia	39	63	74	80
Selva baja subperennifolia	36	60	70	77
Selva caducifolia	39	61	74	80
Selva mediana subcaducifolia	39	63	74	80
Selva mediana subperennifolia	39	63	74	80
Semi -Urbanizado	79	86	90	92
Sin vegetación aparente	68	79	86	89
Tular	90	90	90	90
Vegetación 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 en la cuenca de los grupos de suelo (figura 3.12), la cobertura vegetal y uso del suelo (figura 3.10) y la tabla anterior se calculó la variación espacial del número de escurrimiento en toda la cuenca, y por lo tanto los valores medios para cada una de las subcuencas (tabla 3.8).

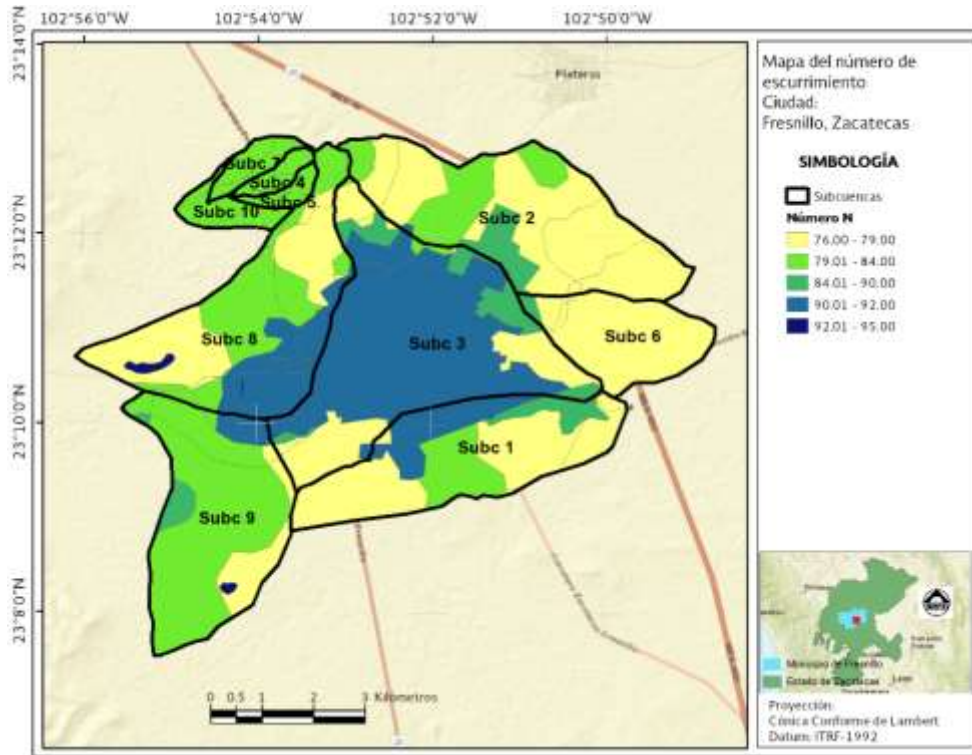


Figura 3.13 Variación del número de escurrimiento N en la cuenca de la ciudad de Fresnillo

Tabla 3.8 Características fisiográficas de las subcuencas

No	Nombre de la Subcuenca	A(km ²)	L (m)	S	Tc (hr)	Tr (hr)	N
1	RH37-1	9.611	4,311.7	0.0167	0.99	0.90	82.4
2	RH37-2	12.043	7,983.6	0.0247	1.36	1.18	78.8
3	RH37-3	16.285	4,575.5	0.0164	1.04	0.94	88.3
4	RH36-4	0.626	1,819.8	0.0517	0.33	0.36	82.9
5	RH36-5	0.558	2,019.0	0.0490	0.36	0.39	83.0
6	RH37-6	4.731	2,602.8	0.0106	0.80	0.75	79.1
7	RH36-7	0.959	2,156.8	0.0459	0.39	0.42	83.4
8	RH36-8	11.701	7,025.4	0.0191	1.37	1.18	82.8
9	RH36-9	10.372	6,500.9	0.0114	1.57	1.32	81.7
10	RH36-10	1.173	1,120.3	0.0277	0.29	0.32	82.5

3.3.6 Precipitación

Ubicación de las estaciones climatológicas convencionales

Se localizó 1 estación climatológica convencional dentro de la cuenca de aportación. La estación de nombre Fresnillo cuenta con 49 años de información. Además, se ubicaron 6 estaciones más a una distancia menor a 30 km de la cuenca.

Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS)

La distribución temporal de la precipitación es un factor determinante en la magnitud de las avenidas generadas por las precipitaciones, por lo que se ubicaron 4 estaciones (fuera de la cuenca) a una distancia menor a 20 km. Las estaciones son operadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)

Tabla 3.9 Información de las estaciones climatológicas localizadas dentro y fuera de la cuenca

Clave	Nombre	Municipio	Longitud	Latitud	Inicio	Fin	*Años
32018	El Sauz	Fresnillo	-103.108889	23.281667	06/1939	12/2012	67
32020	Fresnillo	Fresnillo	-102.890833	23.173889	09/1949	12/2012	49
32053	Santa Rosa	Fresnillo	-103.112778	22.925833	09/1941	12/2012	66
32137	Chichimequillas	Fresnillo	-102.574722	23.241389	01/1981	12/2012	30
32172	Rancho Grande	Fresnillo	-102.959722	23.449722	09/1998	12/2012	13
32173	El Peñasco	General Enrique Estrada	-102.837222	22.992778	01/2001	12/2012	12
32174	Llano Blanco	Panuco	-102.660556	22.996944	02/2001	12/2012	10

Notas: Todas las estaciones están operando

**Se refiere al promedio de años con información en los meses de junio a septiembre, meses con la mayor precipitación
Todas las estaciones climatológicas están fuera de la cuenca excepto la 32020 que está dentro.

Tabla 3.10 Estaciones Meteorológicas Automáticas cerca de la cuenca de aportación

Nombre	Datos	Dependencia	Ubicación
Col. Emancipación	2002-04-25 00:00:00	INIFAP	Fuera de la Cuenca
El Pardillo 3	2002-04-25 00:00:00	NIFAP	Fuera de la Cuenca
Mesa De Fuentes	2005-04-06 00:00:00	NIFAP	Fuera de la Cuenca
Rancho Grande	2003-03-27 00:00:00	NIFAP	Fuera de la Cuenca

Precipitación media mensual, anual y máxima en 24 horas en la cuenca y en la localidad de Fresnillo

De las estaciones climatológicas mostradas en la figura 3.14 se observa que solo la estación 32020 "Fresnillo", la cual cuenta con 49 años de registro, está dentro de la cuenca, y debido a que la cuenca es pequeña, se considera que los valores de la precipitación en la estación son representativos de la cuenca.

La precipitación media anual en la cuenca (igual que la estación) es de 407.6 mm, y la precipitación máxima registrada en 24 horas es de 86.2 mm, siendo los meses de junio a septiembre con mayor precipitación.

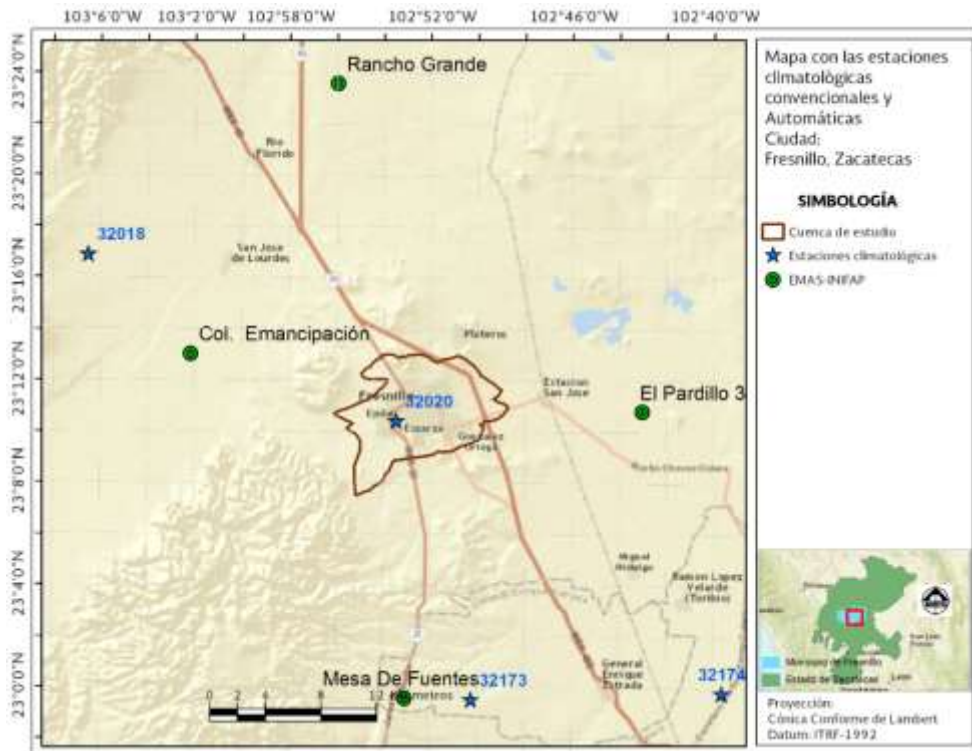


Figura 3.14 Estaciones climatológicas dentro y fuera de la cuenca de aportación

Tabla 3.11 Precipitación media mensual y anual en la localidad de Fresnillo

Mes	Precipitación (mm)	% respecto a la anual
Enero	11.8	2.9
Febrero	8.4	2.1
Marzo	3.8	0.9
Abril	6.4	1.6
Mayo	13.7	3.4
Junio	64.5	15.8
Julio	78.7	19.3
Agosto	91.9	22.5
Septiembre	69.9	17.2
Octubre	36.1	8.8
Noviembre	10.7	2.6
Diciembre	11.7	2.9
Anual	407.6	100.0

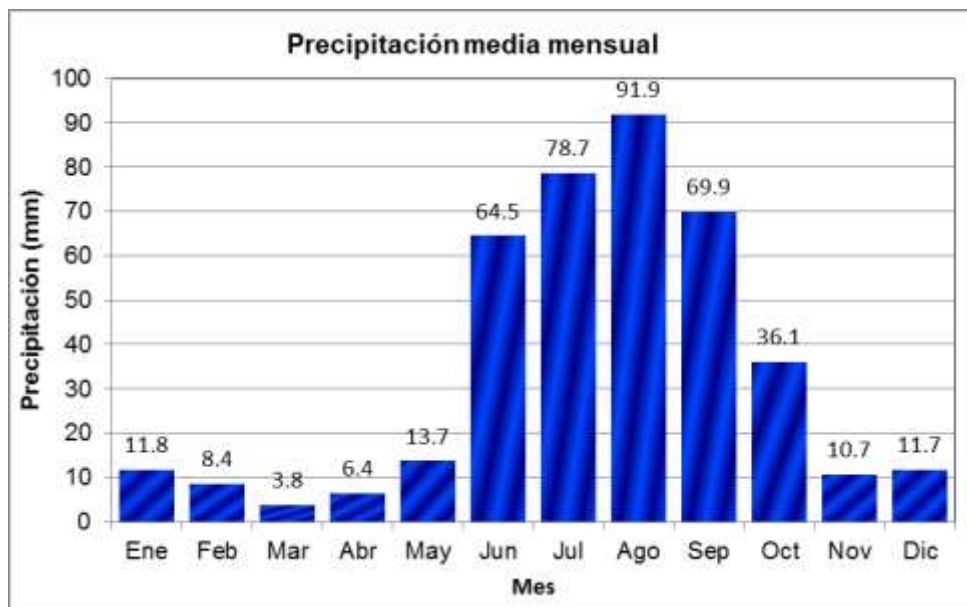


Figura 3.15 Precipitación media mensual y anual en la cuenca y en la localidad de Fresnillo

3.3.7 Escurrimientos

La cuenca de aportación es muy pequeña y nace en los límites de las RH-36 y Rh-37 por lo cual no tiene una red de ríos definida.

Estaciones hidrométricas y presas de almacenamiento

Dentro y cerca de la cuenca de aportación a la localidad de Fresnillo no se cuenta con estaciones hidrométricas ni con presas de almacenamiento o derivación que permita cuantificar de una manera precisa el escurrimiento en la cuenca.

3.4 Descripción de inundaciones históricas relevantes

En los años recientes los fenómenos hidrometeorológicos que han provocado las mayores afectaciones en infraestructura carretera, agrícola y de agua potable, así como en instalaciones de salud y educación del Estado de Zacatecas son:

Tabla 3.12 Lluvias extraordinarias en la localidad de Fresnillo para los años 2008, 2012 y 2013

Año	Tipo de evento
2008	Lluvias extraordinarias
2012	Lluvias extraordinarias
2013	Lluvias extraordinarias

Una parte del estado de Zacatecas se encuentra vulnerable ante inundaciones; los niveles de peligro que resaltan son medio (sin decesos y daños moderado), y solo en tres ocasiones ha sido nivel alto (decesos, daños extraordinarios y afectaciones en

asentamientos irregulares en cauces, planicies de inundación o aguas abajo de presas o bordos).

Los municipios de Fresnillo, Calera, Panuco, Noria de Ángeles, Pinos, General Pánfilo Natera, Loreto, son los que de manera recurrente sufren inundaciones.

En la zona urbana de Fresnillo, ha registrado inundaciones en los tres últimos años (2013, 2014 y 2015), afectando colonias como El Mineral, los fraccionamientos Abel Dávila García, Muralistas, Impresionistas y Providencia, de acuerdo a diversas fuentes hemerográficas, siendo la intensidad de las lluvias, la falta de limpieza en las calles y la mala planeación urbana, las causas más recurrentes en este tipo de problemas.

De acuerdo al Atlas de riesgos y peligros del municipio de Fresnillo, Zacatecas (actualización a 2014), las principales causas del peligro de inundaciones en el municipio la precipitación en exceso aunado a un lapso corto de tiempo y cuando el terreno presenta pendientes considerables o zonas planas donde se anegan grandes cantidades de agua, la falta de filtración del agua en el terreno, causado por el tipo de roca o suelo evitando su almacenamiento subterráneo, lo cual provoca un volumen mayor de escurrimiento superficial y en consecuencia un aumento en el nivel de los ríos; o bien cuando una presa llega a su máxima capacidad y el exceso de agua provoca el rompimiento de la cortina o simplemente el agua es liberada bruscamente; en zonas urbanas la insuficiente capacidad y taponamiento en las redes de drenaje, superficies asfaltadas, urbanización en los cauces naturales de los ríos y arroyos, la pérdida de la cobertura forestal (tala de árboles) es otro factor que puede contribuir a que se presenten las inundaciones, ya que con dicha actividad se debilita el suelo provocando desgajamientos y arrastre de sólidos que azolvan los cuerpos superficiales de agua.

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.

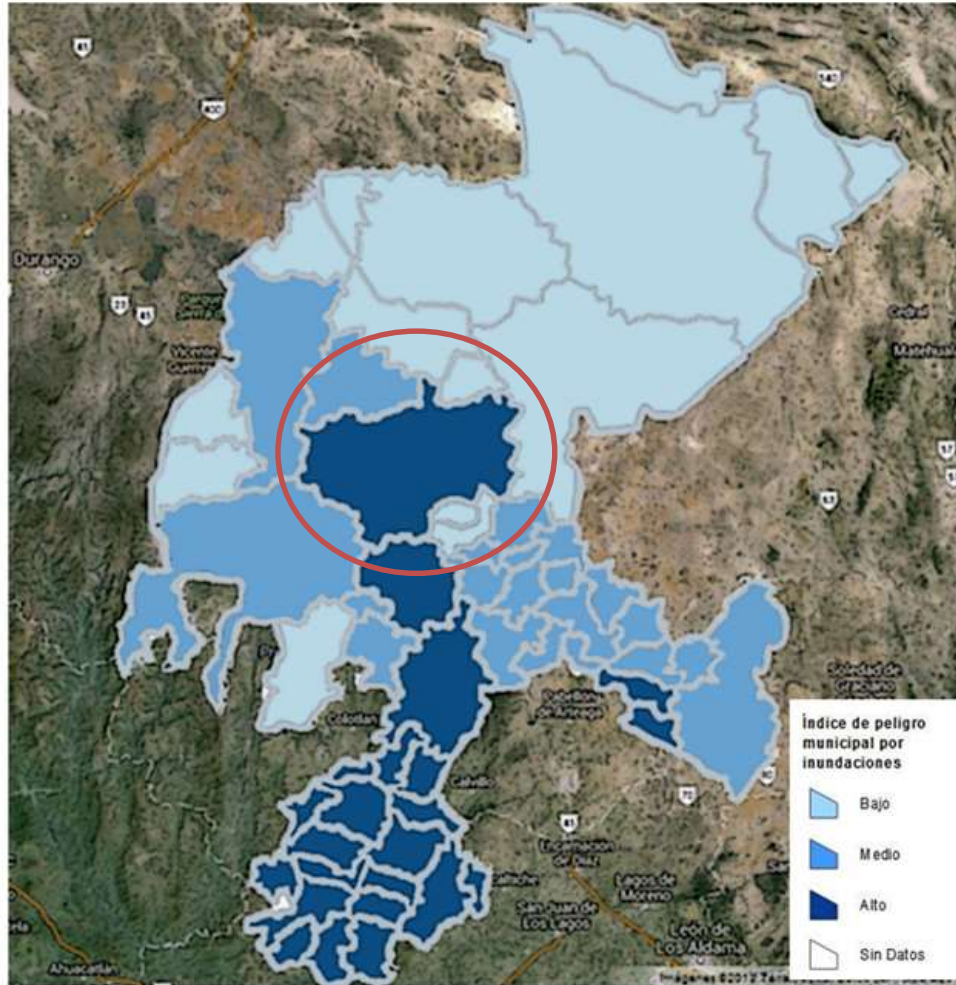


Figura 3.16. Zonas bajas susceptibles a inundaciones en Zacatecas

La información de este rubro se obtuvo principalmente de fuentes bibliográficas digitales, de donde se encontraron actividades de corte no estructural relacionadas a la prevención de inundaciones como conferencias impartidas a estudiantes universitarios sobre condiciones de prevención en los sectores comercial, empresarial, escolar y al interior del hogar con campañas de concientización para evitar incendios domiciliarios y prevención de accidentes. Ello en el marco de las actividades del XIII Aniversario de la fundación de la Universidad Politécnica de Zacatecas (UPZ).

Otra acción consistió en una campaña de reforestación en el municipio implementada por el departamento de Ecología y Desarrollo del Medio Ambiente en mayo del 2014. También está la Campaña Permanente de Reforestación, dentro del marco de la conmemoración del Día de la Tierra.

3.5 Identificación de actividades actuales en las planicies de inundación

El municipio de Fresnillo es el de mayor importancia económica del estado debido a su alta producción minera, y a su actividad comercial. La Ciudad de Fresnillo cuenta con un parque industrial en desarrollo, donde ya se han instalado maquiladoras de calzado, lencería, bombas de combustible y artículos para envases. Fuera del parque industrial existen también plantas fabricantes de arneses para automóviles, una pasteurizadora de leche, una planta vinícola, una vitivinícola, empacadora de carnes, un rastro y deshidratadoras de chile.

De acuerdo al Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas del INEGI, el 66% de las Unidades Económicas registradas están en tres actividades económicas principalmente, Comercio al por menor y al por mayor y otros servicios excepto actividades gubernamentales (Actualización 2013).

En 2010, el 98.6% de la población económicamente activa del municipio se encontraba ocupada, principalmente en actividades del sector terciario.

4. Diagnóstico de las zonas inundables

4.1. Monitoreo y vigilancia de variables hidrometeorológicas

La red mínima de estaciones permite evitar deficiencias graves en el desarrollo y gestión de los recursos hídricos, la organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011) recomienda establecer un mínimo de estaciones climatológicas bajo las siguientes consideraciones.

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 la cuenca de aportación la cual es de 68.058 km² se tiene solamente una estación climatológica convencional (tabla 3.9), por lo que, de acuerdo con la tabla anterior, el número de estaciones es suficiente.

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.

Al día de hoy, los sistemas de alerta temprana que cubren el estado de Zacatecas, y por lo tanto la zona urbana de Fresnillo, están basados en pronósticos meteorológicos, realizados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) únicamente.

Las herramientas meteorológicas de pronóstico con que se cuenta para los pronósticos son los siguientes:

- Pronóstico Meteorológico Extendido (6 días) para la ciudad de Fresnillo,
- Portal interactivo hidrometeorológico para todo el país para formación de ciclones tropicales,
- Imágenes de satélite,
- Meteorogramas con registro de varios elementos para la ciudad de Fresnillo de Hidalgo,
- Imagen interpretada del país,
- Pronóstico meteorológico general para el país,
- Pronóstico extendido a 96 horas,
- Aviso de tiempo significativo en México,
- Mapa de áreas con Potencial de Tormentas para el país,
- Aviso de Tiempo Severo. Pronóstico a muy corto plazo,
- Estimación de Lluvias con Satélite a Tiempo Real para todo el país (acumulados en 24 horas o cada 3 horas).

4.3. Funcionalidad de las acciones estructurales y no estructurales existentes

Acciones estructurales

Dentro de la cuenca de estudio no existen presas de almacenamiento o control de avenidas.

Acciones no estructurales

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

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

Dentro de la educación y la cultura ambiental y de la prevención a situaciones como las inundaciones, se encuentran actividades como la capacitación y la impartición de cursos y talleres. Sin embargo, éstos son escasos –o por lo menos no hay mucha información

sobre ellos– y en ocasiones suelen dirigirse a la población en general. Haría falta considerar aspectos como grupos de edad, sectores, ubicación, entre otros, para definir sus contenidos.

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

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

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

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

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

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

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

Posterior a las inundaciones, en lo que en la declaratoria de desastres se denomina etapa de reconstrucción, la sociedad civil intensifica su presencia en el mismo sentido que en la etapa anterior, es decir, en la denuncia y la exigencia a los actores gubernamentales, a

quienes considera son los responsables de la situación. No obstante, a otro nivel de participación comunitaria, operan otros mecanismos al margen de la acción gubernamental como las organizaciones vecinales, redes familiares, grupos solidarios y similares que posibilitan a nivel familiar y vecinal reestablecer la normalidad tras el impacto de situaciones como las inundaciones.

Para el caso particular de la zona urbana de Fresnillo, 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 4.2 Dimensiones e indicadores del índice de marginación urbana por AGEB, 2010

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

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

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

Tabla 4.3 Complemento del IMU

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

En relación al IMU 2010 por manzana, la localidad de Fresnillo muestra presenta un mosaico heterogéneo, encontrándose desde el muy balto hasta el muy bajo. En el mapa se observa un predominio de baja y muy baja marginación en la zona central de la localidad, lo que seguramente se corresponde a la zona más consolidada de la ciudad. Es a partir de este centro que se distribuyen hacia la periferia las manzanas con media, marginación, baja y muy baja; siendo éstas últimas dos manchas específicas en el norte y noreste de la zona urbana. Es en los márgenes del norte, del este y del oeste de la ciudad donde predominan condiciones medias y bajas en indicadores de distribución de la población, educación, ingresos por trabajo y vivienda, lo que supone 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. Se presume que nuevos desarrollos habitacionales en los suburbios, o suelo dedicado a otros usos están presentes en algunas zonas de la periferia, lo que explica la presencia de conjuntos de manzanas con baja y muy baja marginación.

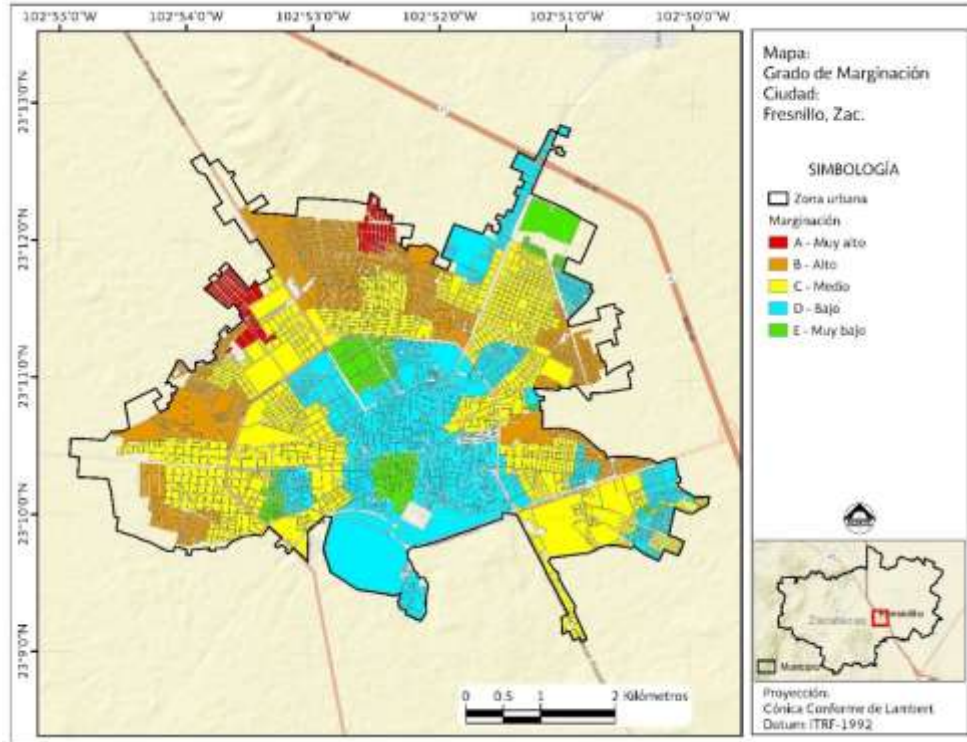


Figura 4.1 Marginalización en la zona urbana de Fresnillo, Zacatecas.

Lo que muestran los datos estadísticos complementarios es la existencia de un 21.5% 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 (14.3%), adultos mayores de 65 años (4.3%) y población con problemas en la movilidad⁵ (2.9%). En otras palabras, en cada manzana urbana hay en promedio 5.6 adultos mayores y 4.2 con limitaciones físicas, principalmente⁶. En cuanto a la desocupación laboral, el promedio es de 1.3 personas por manzana en esta situación, lo que representa el 0.7% de la población total. Es importante que este dato sea considerado como un indicador que influye en el nivel de vida material de las personas, lo que puede favorecer o inhibir su vulnerabilidad.

Tabla 4.4 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Fresnillo, Zacatecas.

	Población total	Población menor a 5 años	Población mayor a 65 años	Población con limitación en la actividad	Población desocupada
Totales	120,944	17,318	5,265	3,607	908
Promedio	81	s/d	5.6	4.2	1.3
Porcentaje	100	14.3	4.3	2.9	0.7

⁵ 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.

⁶ Los datos corresponden solamente a aquellas manzanas que tienen información.

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 daño. Por ejemplo, las profundidades y la velocidad del agua, la permanencia del agua o la carga de transporte de sólidos.

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

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

5.1. Estimación de caudales y tormentas de entrada al sistema

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

Sin embargo, cuando no se cuenta con información de escurrimientos en estaciones de aforo, en la cuenca de estudio, es necesario la aplicación de un modelo lluvia escurrimiento, que en este caso se realiza con el software HEC-HMS, para conocer los gastos en la salida de cada subcuenca o en cualquier otro sitio de la misma zona.

5.1.1. Cálculo de precipitación media de diseño

La Coordinación Nacional de Protección Civil (CNPC), a través del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2013), interesada en la buena calidad de los estudios hidrológicos para elaborar mapas de peligro y riesgo por inundaciones, consideró pertinente elaborar mapas de isoyetas de altura de precipitación, con diferentes duraciones asociados con distintos periodos de retorno, que proporcionan información importante para los Atlas de peligro o riesgo estatales y municipales, así como para el estudio de diferentes tipos de obras, que caen en el ámbito de otras dependencias del gobierno federal, organismos descentralizados y privados.

La información climatológica se obtuvo de la base de datos CLICOM, del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), dependiente de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que cuenta con alrededor de 5,338 estaciones en todo el país; sin embargo, las empleadas en este trabajo, corresponden a 2,243 estaciones pluviométricas instaladas en diferentes puntos del país. El número de estaciones

utilizadas fue definido, básicamente, revisando que el registro histórico de cada estación contara con al menos 20 años de información válida, hasta diciembre de 2010.

Este trabajo abarca la totalidad del territorio nacional y presenta la información pluviométrica mediante mapas de isoyetas para cada uno de los Organismos de Cuenca en los que la CONAGUA divide al país y, aunque fue elaborado para simular escenarios de inundación, a través de los que se definen, tanto mapas de peligro como de riesgo, es posible usarlo en proyectos de obras de infraestructura hidráulica (puentes, obras de protección, etc.).

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

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

La tabla 5.1, muestra el número de estaciones climatológicas utilizadas y también señala la cobertura media en km^2 / estación.

El cálculo de la precipitación media para una duración de 24 horas y para los diferentes periodos de retorno de la cuenca y subcuencas para la ciudad de Fresnillo con el VELL se realizó considerando los centroídes de cada una de ellas como el punto representativo de la precipitación media y seleccionando el Organismo de cuenca.

Tabla 5.1. Distribución de estaciones pluviométricas, con más de 20 años completos, en la república mexicana

No.	Estado	Área (km ²)	Estaciones pluviométricas		Cobertura Media (km ² /estac)
			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	D.F.	1,499	63	30	50
10	Durango	119,648	148	83	1,441.50
11	Guanajuato	21,461	352	108	198.7
12	Guerrero	30,589	160	129	237.1
13	Hidalgo	63,794	220	66	966.6
14	Jalisco	20,987	139	180	116.6
15	México	80,137	282	105	763.2
16	Michoacán	59,864	242	93	643.7
17	Morelos	4,941	68	44	112.3
18	Nayarit	27,621	80	25	1,104.80
19	Nuevo León	64,555	167	55	1,173.70
20	Oaxaca	95,364	359	130	733.6
21	Puebla	33,919	206	97	349.7
22	Querétaro	11,769	58	33	356.6
23	Quintana Roo	50,350	43	20	2,517.50
24	San Luis Potosí	62,848	190	102	616.2
25	Sinaloa	58,092	180	51	1,139.10
26	Sonora	184,934	275	79	2,340.90
27	Tabasco	24,661	84	42	587.2
28	Tamaulipas	76,829	198	109	704.9
29	Tlaxcala	3,914	50	20	195.7
30	Veracruz	72,815	352	185	393.6
31	Yucatán	39,340	89	30	1,311.30
32	Zacatecas	75,040	137	51	1,471.40
	TOTAL	1,964,173	5,338	2,243	1,092.90

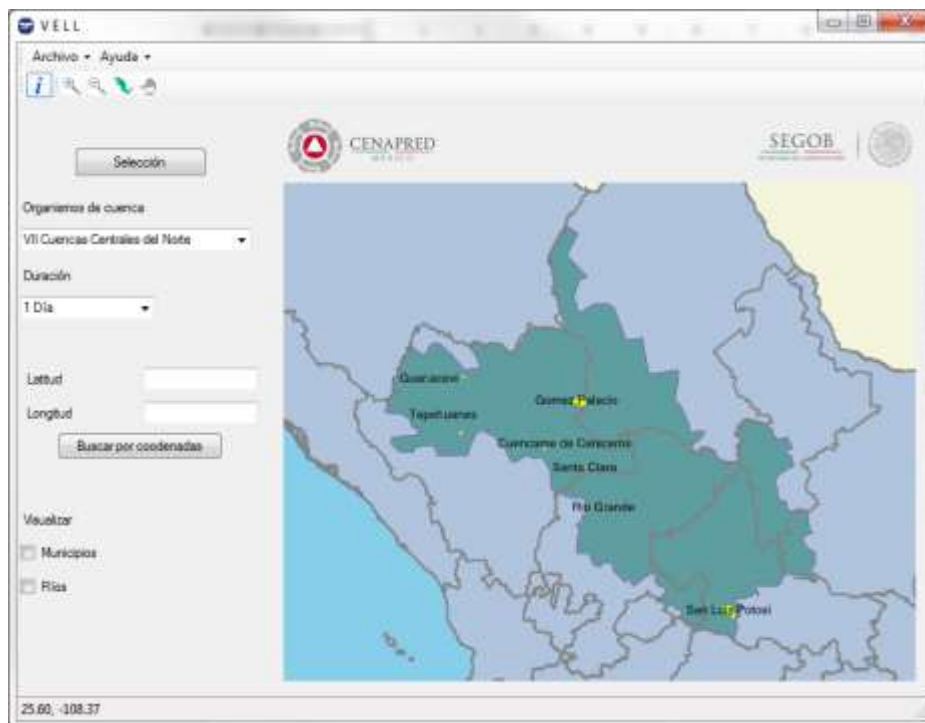


Figura 5.1 Interfaz del programa V.E.L.L. elaborado por el CENAPRED

A continuación, se presenta el cálculo de la precipitación para 24 para las subcuencas.

Tabla 5.2. Precipitación máxima (mm) en 24 horas en cada una de las subcuencas

No	Nombre de la Subcuenca	Periodo de retorno (años)				
		2	5	10	50	100
1	RH37-1	44.9	59.9	69.7	91.5	100.8
2	RH37-2	44.9	60.0	69.8	91.9	101.3
3	RH37-3	44.8	59.8	69.5	91.3	100.5
4	RH36-4	44.7	59.5	69.2	90.8	100.0
5	RH36-5	44.7	59.5	69.2	90.8	100.0
6	RH37-6	45.1	60.3	70.2	92.5	101.9
7	RH36-7	44.7	59.5	69.0	90.6	99.8
8	RH36-8	44.6	59.3	68.9	90.4	99.4
9	RH36-9	44.7	59.5	69.0	90.6	99.7
10	RH36-10	44.6	59.4	69.0	90.5	99.6
	Máxima	45.1	60.3	70.2	92.5	101.9
	Media	44.8	59.7	69.4	91.1	100.3
	Mínima	44.6	59.3	68.9	90.4	99.4

5.1.2. Construcción de tormentas de diseño

La magnitud de las avenidas calculadas a través del proceso lluvia-escurrimiento depende entre otras cosas de la distribución temporal de la lluvia y de la distribución espacial. En lo que respecta a la distribución espacial, los valores obtenidos con el software de VELL (tabla anterior) corresponde a la precipitación media en las subcuencas, es decir ya toma dicha distribución.

En lo que respecta a la distribución temporal se realizó un análisis de las de las tormentas registradas en la Estaciones Meteorológica Automática (EMA) Zacatecas (localizada en el municipio de Guadalupe, Zac). El utilizar la EMA mencionada se debe principalmente las EMAS que son administradas por el INIFAP tienen poca información y la calidad de la misma no es totalmente confiable al presentar muchos datos faltantes y valores no razonables.

Tabla 5.3. Resumen de la EMA Zacatecas

Variable	EMA Zacatecas
Periodo de registro	Mayo de 2000 a julio de 2015
Número de tormentas analizadas	28 tormentas analizadas de las cuales se descartaron 3
Precipitación máxima registrada en 24 horas	76.71 mm

De las tormentas analizadas, mostradas en la siguiente gráfica, se obtuvo, para la EMA, el promedio de las misma (línea color rojo), asumiendo dicho promedio como patrón de las tormentas, mismo que se utilizó en la modelación del proceso lluvia escurrimiento.

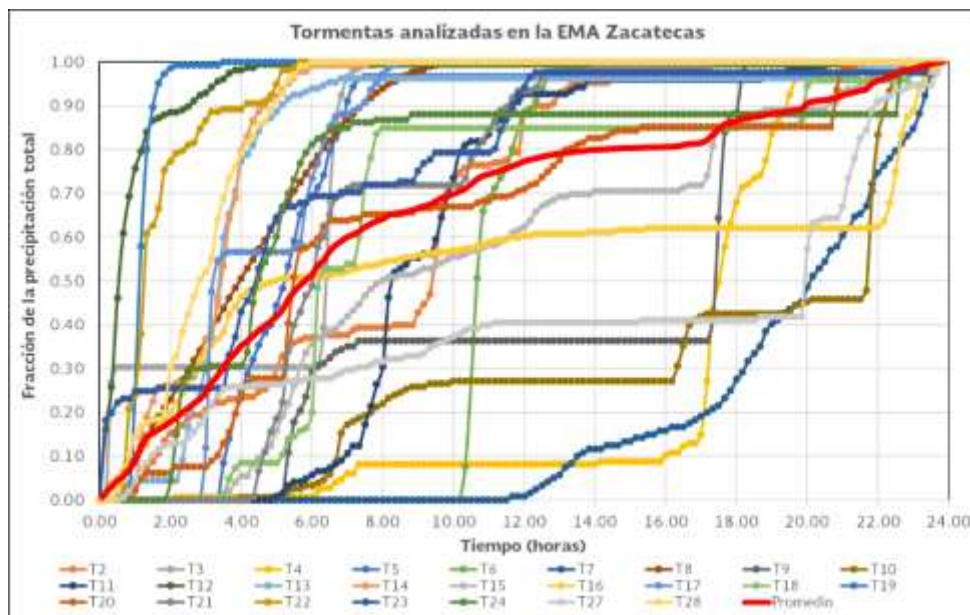


Figura 5.2. Patrón de distribución temporal de la lluvia en la EMA Zacatecas

5.1.3. Modelo lluvia-escurrimiento

Una vez que se han calculado las características fisiográficas de la cuenca y la precipitación para los diferentes periodos de retorno en cada una de las subcuencas se procede a determinar los gastos para los diferentes periodos de retorno mediante la modelación del proceso lluvia- escurrimiento, esto es necesario ya que en la cuenca de

estudio no se cuenta con información de escurrimientos que permita realizar la calibración de los métodos.

La modelación del proceso lluvia- escurrimiento se realizó mediante la aplicación del software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System), el cual es de distribución gratuita y fue desarrollado por el cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos de América.

Métodos hidrológicos utilizados en el modelo lluvia - escurrimiento

Primeramente, en el HEC-HMS se configuró el modelo de cuenca, el cual se refiere a configurar la división de las 10 subcuencas, pero en el formato del HEC-HMS,

Posteriormente fue necesario definir los métodos hidrológicos que se utilizaron en el software, los cuales corresponden a los aplicables a cuencas no aforadas, dichos métodos son:

- Precipitación efectiva (Loss Precipitation)

Para calcular la precipitación efectiva (para cada tormenta de diseño) se utilizó el método propuesto por el Soil Conservation Service (SCS), el cual es aplicable a cuencas no aforadas (números de escurrimiento N), el valor de N depende del tipo de suelo y de la cobertura vegetal que se tenga en cada subcuenca. Los valores de N fueron determinados en el capítulo 3.3.5.

La precipitación efectiva o en exceso, considerando las pérdidas iniciales igual a $I_a=0.2S$ se calcula como (Aparicio, 1997), (CNA, 1987):

$$p_e = \frac{\left[p - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{p + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

donde

P = Precipitación, en cm.

Pe = Precipitación en efectiva o en exceso, en cm

N= Número de escurrimiento

- Transformación de la precipitación a hidrograma (Transform)

Una vez que se ha calculado la precipitación efectiva es necesario calcular el hidrograma correspondiente, para esto se utilizó el hidrograma unitario del SCS, el cual se presenta en la siguiente figura.

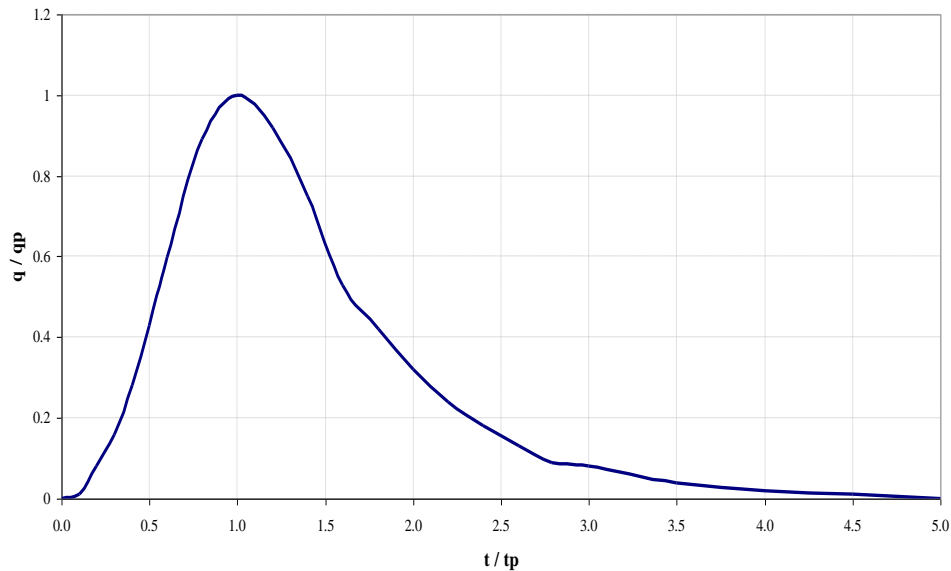


Figura 5.3. Hidrograma curvilíneo adimensional del SCS.

De la figura anterior qp es el gasto pico, q es el gasto para un tiempo t , tp es el tiempo pico de cada subcuenca.

Para aplicar el hidrograma de la figura anterior es necesario calcular el gasto máximo (qp) correspondiente a la precipitación efectiva (Pe), mediante la ecuación:

$$qp = 2.08 \frac{A_c}{t_p} p_e$$

donde

A_c =área de la cuenca o subcuenca en km^2
 t_p =tiempo pico de la cuenca

Finalmente es necesario dar la forma completa a la avenida, ya que la ecuación anterior calcula el gasto máximo de la misma. Para poder determinar el hidrograma completo, el cual se muestra en la figura 5.3, es necesario calcular el tiempo pico de la avenida para cada subcuenca.

El tiempo pico para cuencas no aforadas se puede calcular en función del tiempo de concentración el procedimiento se presenta a continuación:

- I) Se calcula el tiempo de concentración t_c , y el tiempo de retraso t_r , con las formulas vistas en el subcapítulo 3.3.5.
- II) Calculo de la duración en exceso (de)

La duración en exceso se calcula igual al tiempo de concentración debido a que cuando la precipitación tiene una duración mayor o igual al tiempo de concentración se presenta el gasto máximo

$$d_e = t_c$$

III) Cálculo del tiempo pico

El tiempo pico se puede calcular en función de la duración en exceso y del tiempo de retraso como (Aparicio, 1997)

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r$$

- Tránsito de avenidas en cauces

Para tomar en cuenta el tiempo de traslado de una subcuenca a otra es necesario transitar la avenida obtenida hasta la subcuenca aguas abajo, para realizar esto se utilizó el método de Muskingum el cual para su aplicación fue necesario calcular dos parámetros: K y x.

El parámetro K (tiempo del viaje del pico a lo largo de un tramo del río) se obtuvo mediante la aplicación de la fórmula del tiempo de concentración desde la salida de una subcuenca hasta la salida de la subcuenca aguas abajo, ya que el tiempo de concentración es el tiempo que tarda en llegar el agua de un punto a otro. El parámetro x se propuso de 0.20 ya que no se cuenta con la información suficiente para calibrar este parámetro (Aparicio, 1997). En la siguiente figura se presenta el modelo hidrológico construido el software HEC-HMS.

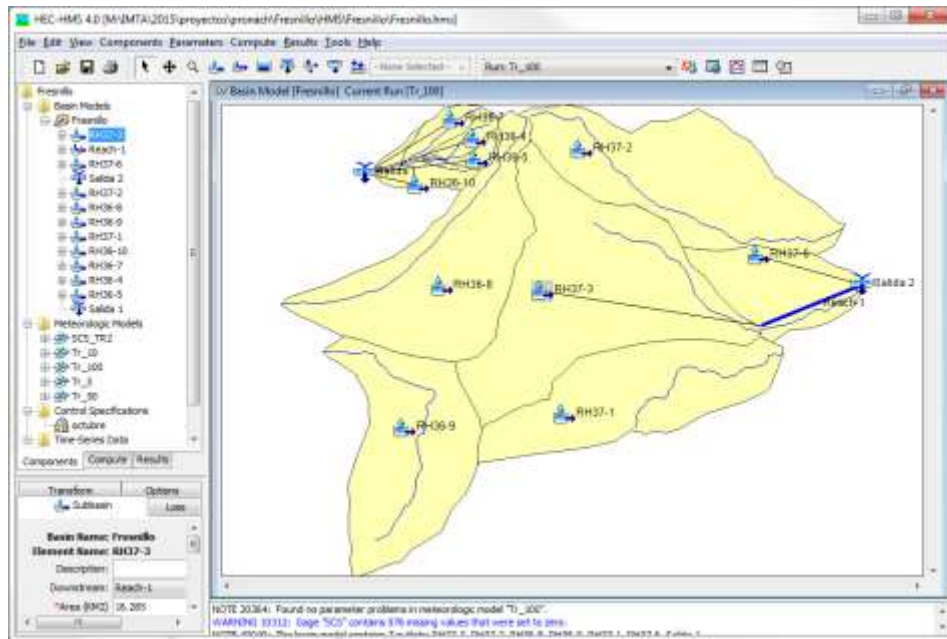


Figura 5.4. Pantalla que muestra el modelo de cuenca construido hasta la ciudad de Fresno

5.1.4. Simulación y resultados

Una vez que está construido el modelo de cuenca se procedió a realizar la simulación para lo cual se realizó un ajuste a los valores iniciales del número de escurrimiento (N) (calculados en el subcapítulo 3.3.5). El ajuste consistió en considerar que todas las subcuencas (excepto la RH37-3, por ser la zona urbana) al momento que se presentan las tormentas tiene condiciones seca-húmedas, es decir los valores de N mostrados en la tabla 3.8 se redujeron.

En la siguiente tabla se presentan los valores de los gastos máximos en cada una de las subcuencas

Tabla 5.4. Gastos máximos (m³/s) para diferentes periodos de retorno en las subcuencas

Subcuenca	N inicial	N ajustada	Periodo de retorno (años)				
			2	5	10	50	100
RH37-1	82.4	74.0	6.6	13.4	18.5	30.6	36.2
RH37-2	78.8	70.0	4.4	10.4	15.2	27.2	32.7
RH37-3	88.3	88.3	19.7	33.3	42.7	64.5	73.9
RH36-4	82.9	76.0	0.7	1.5	2.0	3.3	3.9
RH36-5	83.0	76.0	0.6	1.3	1.7	2.8	3.3
RH37-6	79.1	71.5	2.3	5.5	8.0	14.3	17.1
RH36-7	83.4	76.1	1.1	2.2	3.0	4.8	5.7
RH36-8	82.8	75.9	7.1	14.1	19.3	31.8	37.4
RH36-9	81.7	74.0	5.2	10.7	14.8	24.9	29.5
RH36-10	82.5	75	1.4	2.8	3.8	6.3	7.5

La información resultante del modelo lluvia-escurrimiento que se requiere en la modelación hidráulica es la variación de la precipitación efectiva en cada una de las subcuencas. En el siguiente cuadro se presenta la precipitación total efectiva en cada una de las subcuencas.

Tabla 5.5. Precipitación efectiva (mm) para diferentes periodos de retorno en las subcuencas

Subcuenca	Periodo de retorno (años)				
	2	5	10	50	100
RH37-01	6.3	13.5	19.1	33.4	40.0
RH37-02	4.0	9.9	14.7	27.5	33.6
RH37-03	20.2	32.5	40.9	60.4	69.0
RH36-04	4.8	15.2	21.2	36.1	43.0
RH36-05	7.6	15.2	21.2	36.1	43.0
RH37-06	4.8	11.4	16.5	30.1	36.4
RH36-07	7.7	15.4	21.2	36.1	43.0
RH36-08	7.5	15.1	20.9	35.7	42.3
RH36-09	6.2	13.3	18.6	32.8	39.2
RH36-10	6.7	14.2	19.9	34.2	41.0

5.2 Modelo hidráulico

El objetivo general de la presente evaluación es el de obtener los mapas de peligro para un periodo de retorno de 2, 5, 10, 50 y 100 años por inundaciones fluviales y pluviales de tipo lento (zonas con pendiente pequeña) aplicando técnicas de modelación matemática hidráulica de los flujos de agua somera en dos dimensiones horizontales, utilizando el software IBER 2.3.2⁷.

5.2.1 Procesamiento del modelo digital de elevaciones

Para la construcción del modelo hidráulico, se definió primeramente la zona a simular, la cual para este caso es toda la cuenca de estudio, que tiene un área de 68.058 km², localizándose de manera íntegra la zona urbana de Fresnillo.

Una vez que se definió la zona se procedió a recopilar la información topográfica de la misma, la cual consiste en modelos digitales de elevación (MDE) con tamaños de celdas de 15 metros (El Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0). Posteriormente se recortó el modelo digital de elevación a la zona a simular.

En la siguiente figura se muestra el modelo recortado, el cual se deberá exportar a un MDE, pero en formato ASCII para que pueda ser leído en el software de IBER.

5.2.2 Infraestructura

Dentro de la zona que se modelará en IBER se localiza un canal fluvial que esta trazado sobre la Calle Paseo del Fresno, iniciando en la calle 2^a de Duranguillo y termina en la carretera Fresnillo – Enrique estrada y desemboca en un arroyo. Las dimensiones aproximadas del canal es un ancho de 10 metros, una profundidad de 0.50 a 1.0 m y una longitud de 850 metros.

⁷Bladé, 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

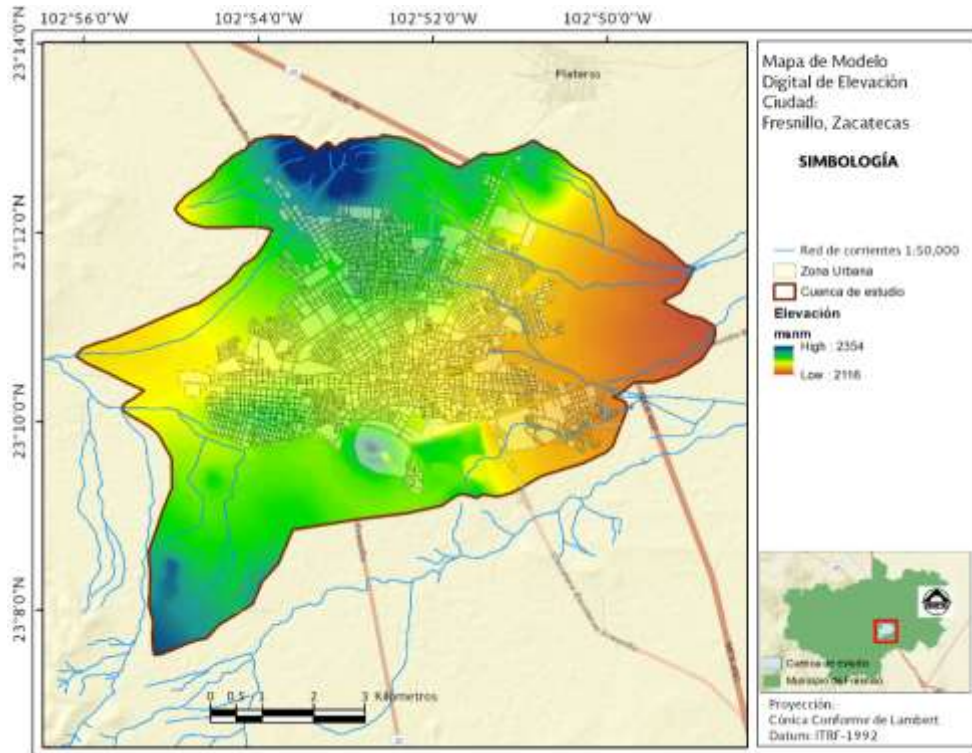


Figura 5.5 MDE recortado a la zona a modelar en IBER



Figura 5.6. Canal fluvial sobre la calle Pasea El Fresno desde la Calle Duranguillo hasta la carretera Fresnillo Enrique Estrada (Fuente Google Earth)



Figura 5.7. Vista del canal desde la calle González Echeverría en dirección a la carretera Fresnillo- Enrique Estrada (Fuente Google Earth).



Figura 5.8. Vista del canal visto desde la Carretera Fresnillo – Enrique Estrada. (Fuente Google Earth)

5.3 Simulación en las condiciones actuales

El objetivo general de la presente evaluación es el de obtener los mapas de peligro para un periodo de retorno de 2, 5, 10, 50 y 100 años por inundaciones fluviales y pluviales de tipo lento (zonas con pendiente pequeña) aplicando técnicas de modelación matemática hidráulica de los flujos de agua somera en dos dimensiones horizontales, utilizando el software IBER 2.3.2 (Bladé, et al, 2014).

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

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

- Utilización de modelos con mallas no estructuradas de triángulos, con longitudes de arista de 15 m en la zona urbana y 30 m en la zona no urbana.
- Tiempo máximo de simulación: 172,800 segundos,
- Intervalo de resultados: 3,600 segundos,
- Esquema numérico: Primer orden,
- Número de Courant-Friedrichs-Lewy: 0.45,
- Límite Seco-Mojado: 0.001 m.,
- Método de secado: Hidrológico

Condiciones de frontera (o de borde) de entrada

Precipitación

La condición de frontera de entrada corresponde a la precipitación para los diferentes periodos de retorno que se presenta directamente en la zona a modelar.

Se ingresó la precipitación efectiva (tabla 5.5) en la malla de cálculo del modelo hidráulico, para obtener mejores resultados. El patrón de lluvia que se usó fue el correspondiente de la precipitación efectiva obtenido con el software HEC-HMS. Al Considerar el patrón de la lluvia se simulará entonces un flujo no permanente. El valor del patrón mencionado se localiza en un archivo digital de Excel de los anexos (Carpeta: Capítulo 5 → Carpeta: Hidrología → Hietogramas de entrada condiciones actuales).

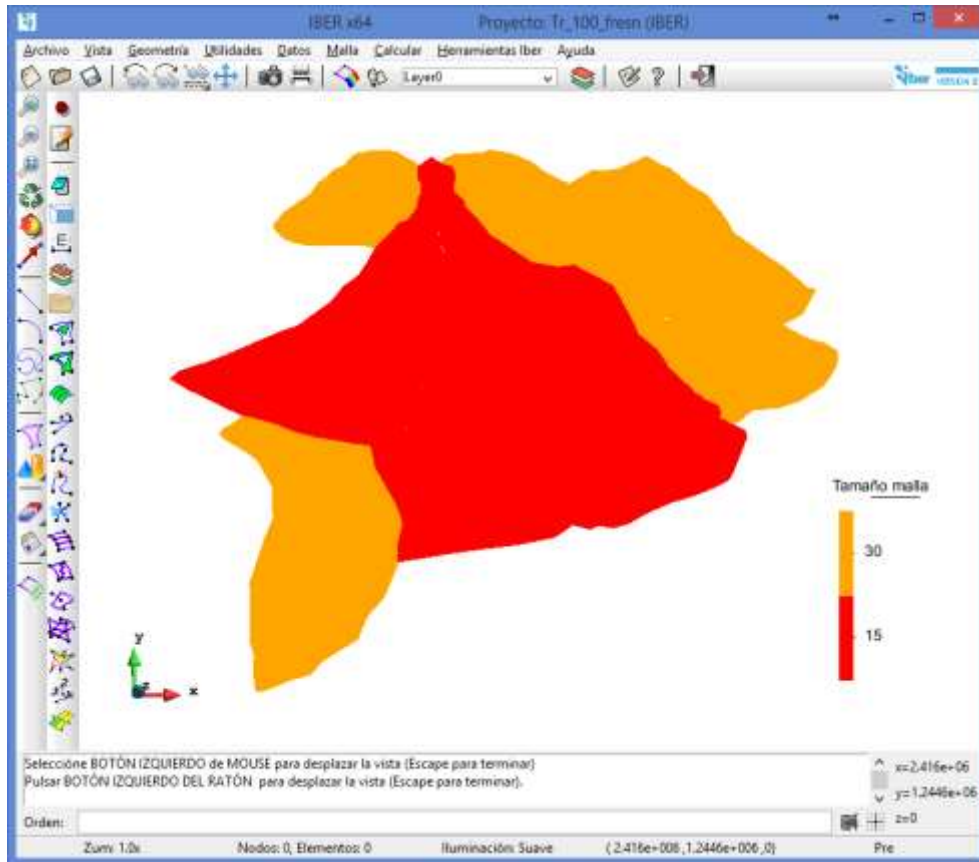


Figura 5.9. Figura que muestra los tamaños de los elementos de la Malla para el análisis hidráulico con IBER

Condiciones de frontera (o de borde) de salida

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

Existen tres variantes para el perfil tipo M:

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

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

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

Dadas las características topográficas de la ciudad, y que no se consideró en la simulación estructuras de cruce como son puentes y alcantarillas, este último tipo de perfil queda descartado como posible condición de frontera. Por lo anterior, la selección de la condición de frontera para el análisis de inundaciones en cada una de las ciudades analizadas, queda acotada a un perfil tipo *M1*, o bien, *M2*.

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

De acuerdo con lo anterior, el perfil seleccionado para ser usado como condición de frontera general en los casos estudiados es el denominado *M2*, el cual parte del tirante crítico y se desarrolla hasta alcanzar el tirante normal. Se seleccionó este perfil debido a que es un perfil corto y tiende rápidamente a las condiciones de flujo establecido, a diferencia del *M1*, el cual puede necesitar varios km para su desarrollo.

Condiciones iniciales

La condición inicial que se definió el modelo fue un tirante igual a cero en toda la zona a modelar, es decir condiciones de flujo seco.

Coeficiente de rugosidad

Un factor que impacta en la hidrodinámica o en los resultados de la modelación es la precisión de la topografía y el coeficiente de rugosidad de Manning, Este coeficiente se emplea en la zona de estudio, para estimar la resistencia al flujo que se simula dentro de la misma.

Para definir los distintos valores de coeficientes de Manning en toda el área a modelar, se utilizó la información vectorial de la capa de manzanas de INEGI (Figura 5.10) y la información de la cobertura vegetal y uso del suelo de INEGI (escala 1:250,000) para la zona no urbana. A cada polígono definidos con la información mencionada y con apoyo de la imagen de satélite se le asignó un uso de suelo.

Para la ciudad de Fresnillo, para modelar el flujo fue necesario definir el coeficiente de rugosidad en toda la cuenca. Luego de procesar la información antes mencionada, para asignarle valores se emplearon los sugeridos por Ven Te Chow (Chow, 2004), en combinación con los valores definidos por defecto en el programa IBER (Tabla 5.6).

Tabla 5.6. Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning “n” de acuerdo con el uso del suelo

Cobertura vegetal o uso del suelo	Coeficiente de rugosidad de Manning
Agricultura	0.050
Cuerpo de agua	0.005
Vialidades (Calles)	0.020

Zona Urbana (Manzanas)	0.020
Pastizal	0.030
Pasto	0.027

En las figuras 5.10 y 5.11 se presenta la variación espacial del uso del suelo para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning en el software ArcGIS e IBER respectivamente.

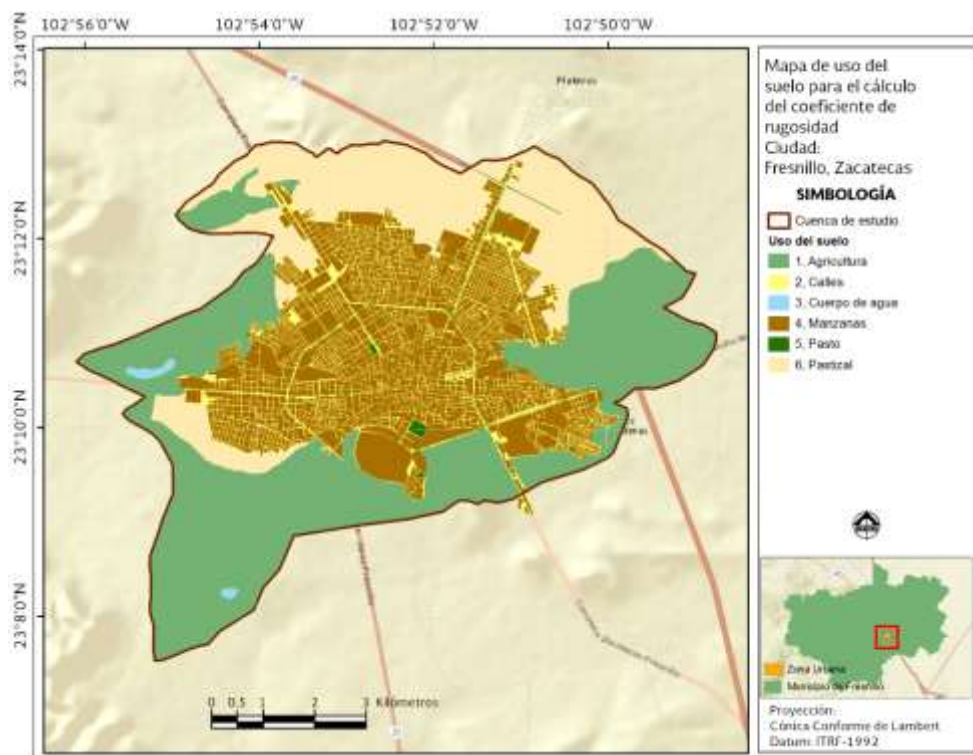


Figura 5.10. Figura que muestra la variación de la cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca

Finalmente, con la información de la figura y tabla anterior, se estima la variación espacial del coeficiente de rugosidad de Manning en la zona que se analiza.

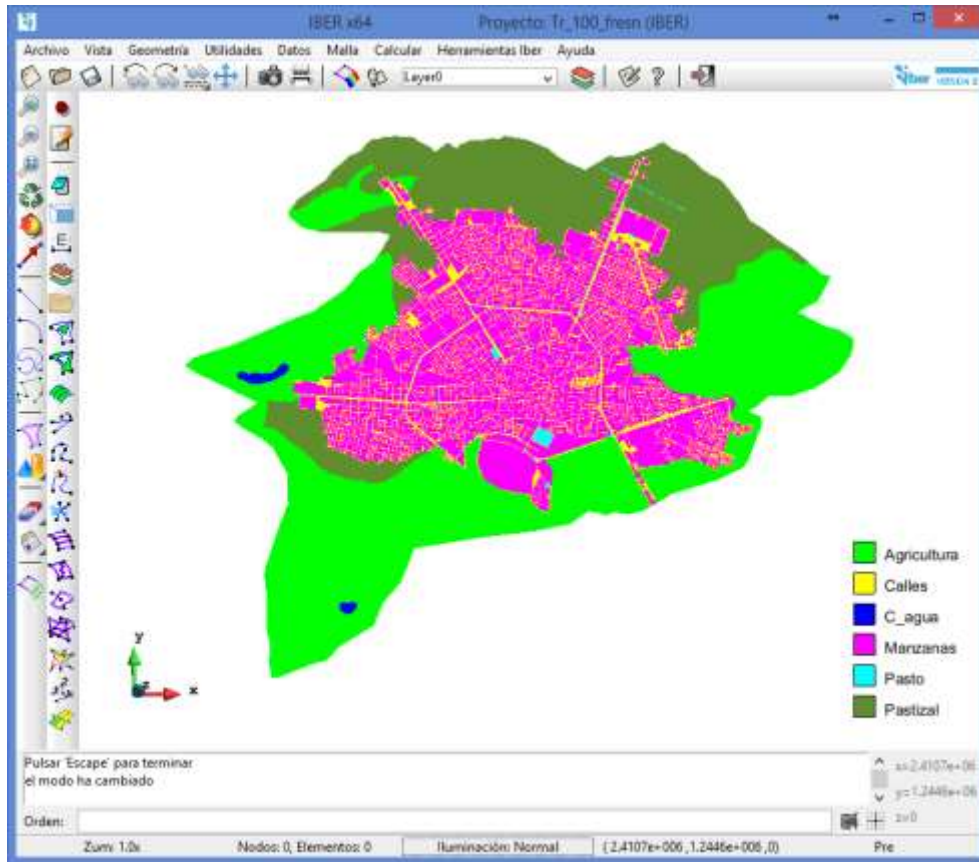


Figura 5.11. Figura que muestra la variación de la cobertura vegetal en la cuenca en el modelo IBER

Los resultados de este estudio, son los niveles de inundación y las velocidades de inundación, y con estos resultados se evaluó el riesgo de inundación con base en el estudio que el gobierno de New South Wales (Australia) solicitó se hiciera al río Bielsdown, el cual atraviesa la localidad llamada Dorrigo, con el fin de determinar una adecuada gestión de riesgos en las llanuras de inundación. A continuación, se presentan los resultados de los niveles y velocidades de inundación.

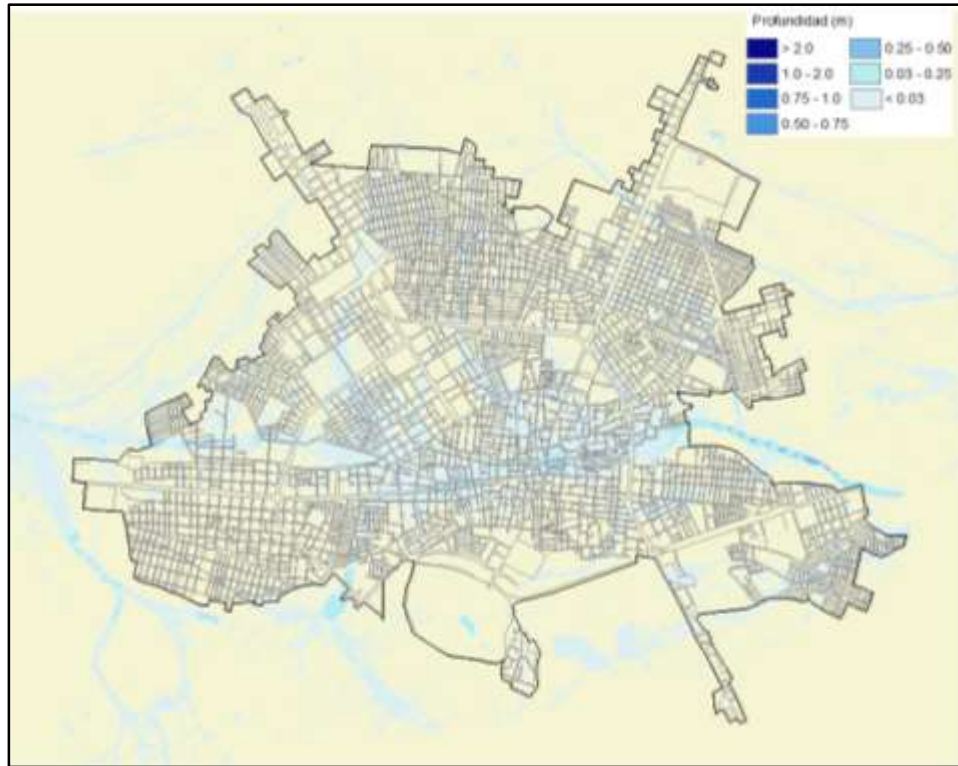


Figura 5.12 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años

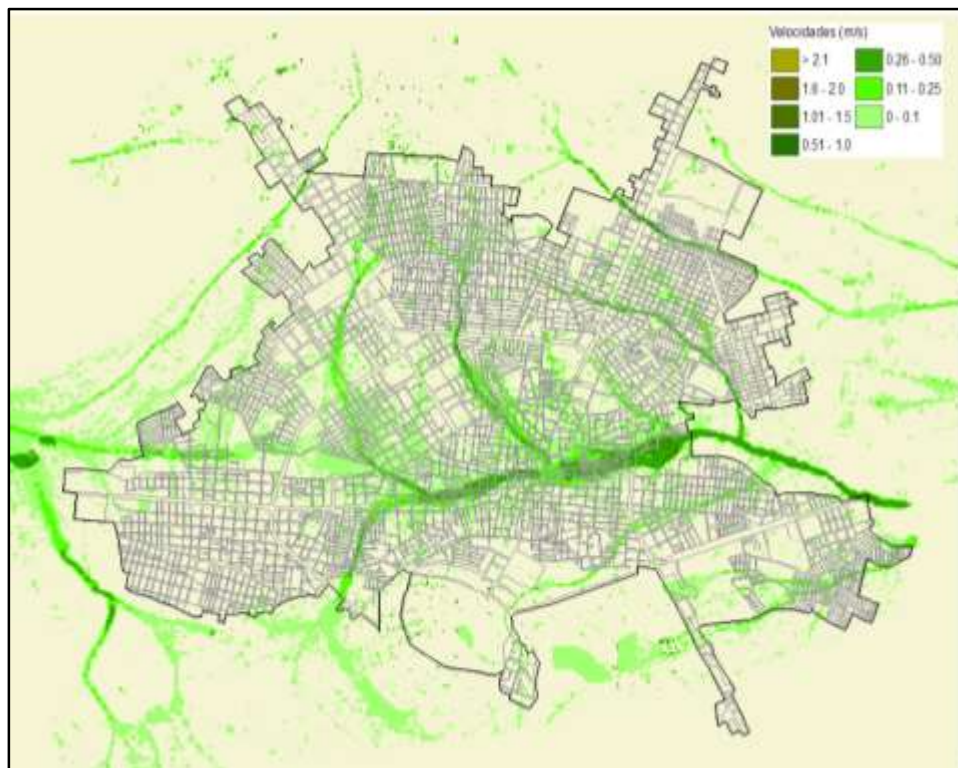


Figura 5.13 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 2 años

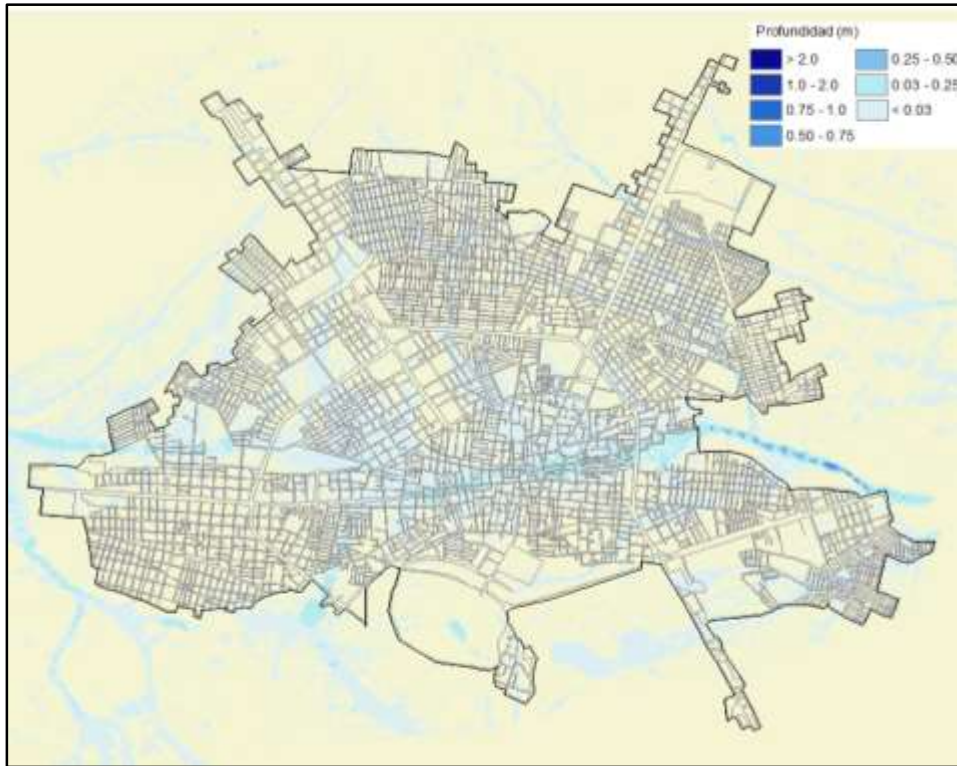


Figura 5.14 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años

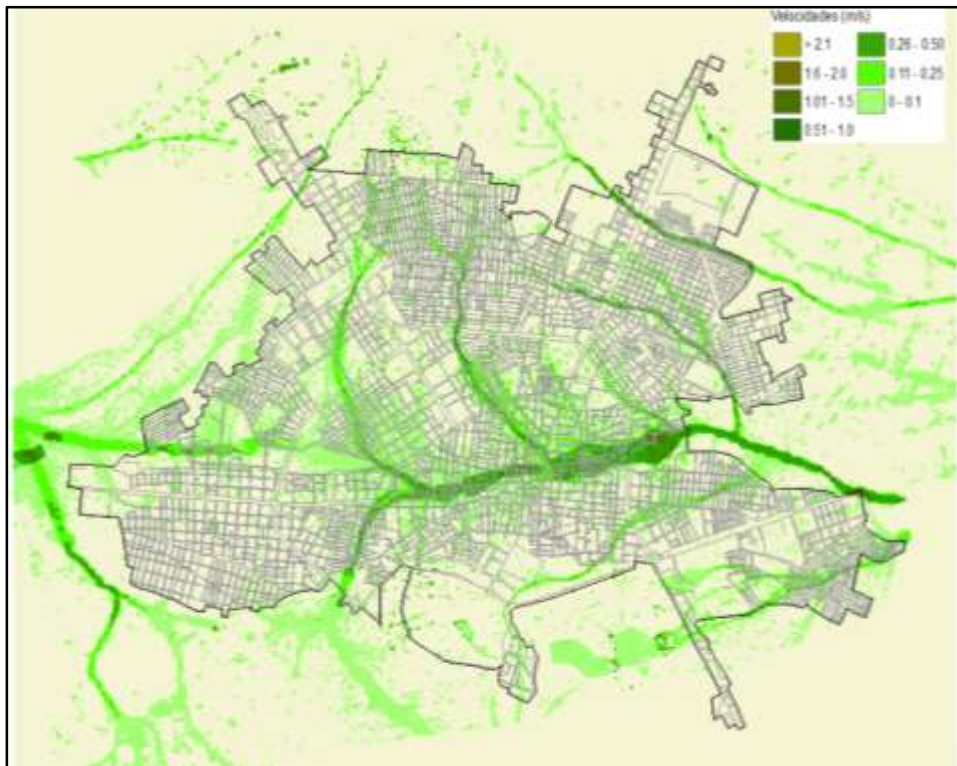


Figura 5.15 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años

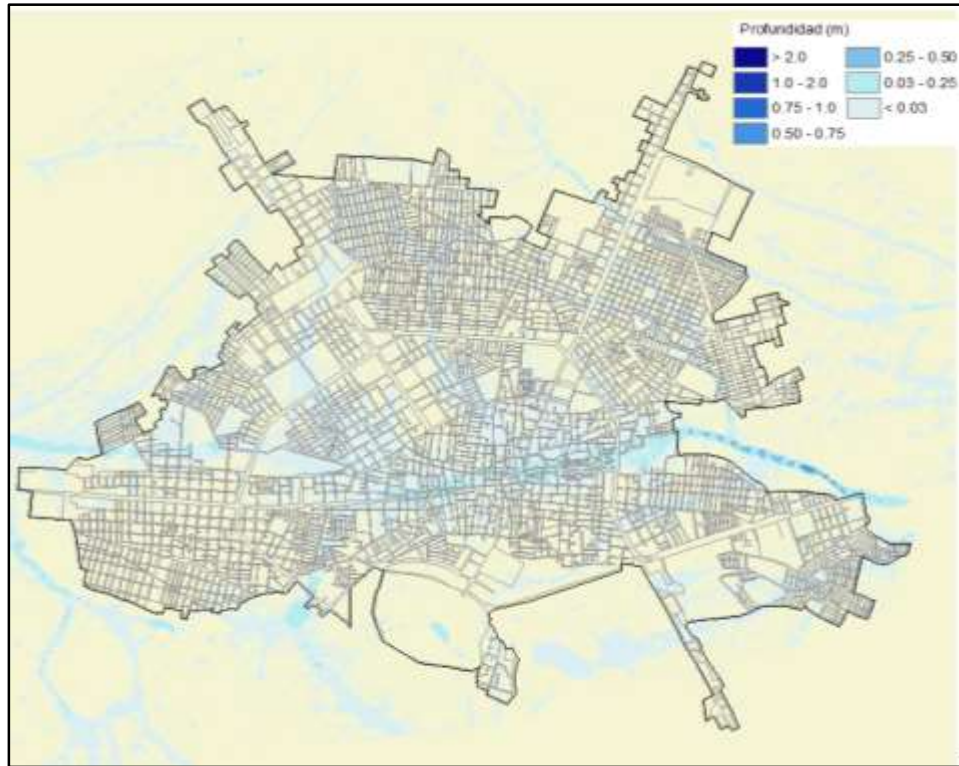


Figura 5.16 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años

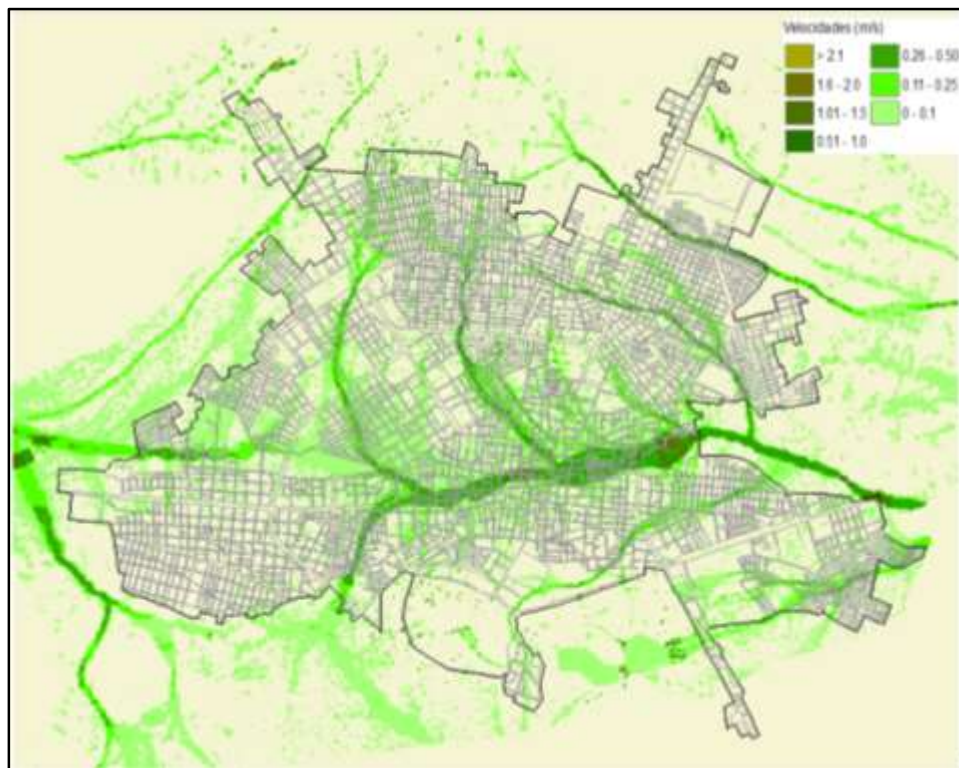


Figura 5.17 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años

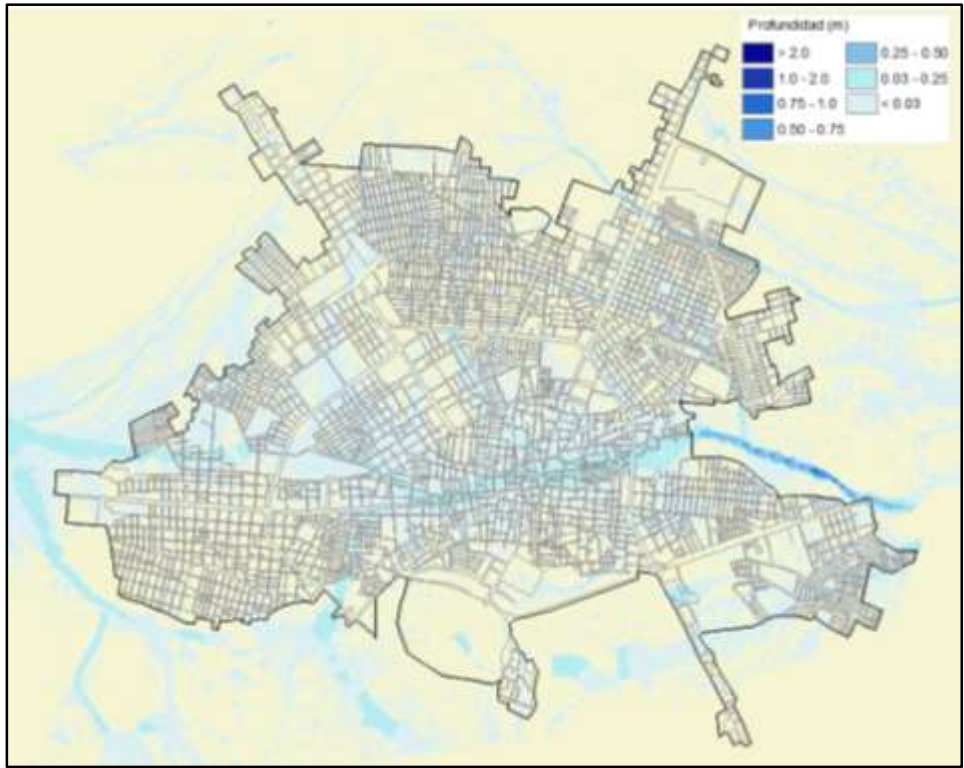


Figura 5.18 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años

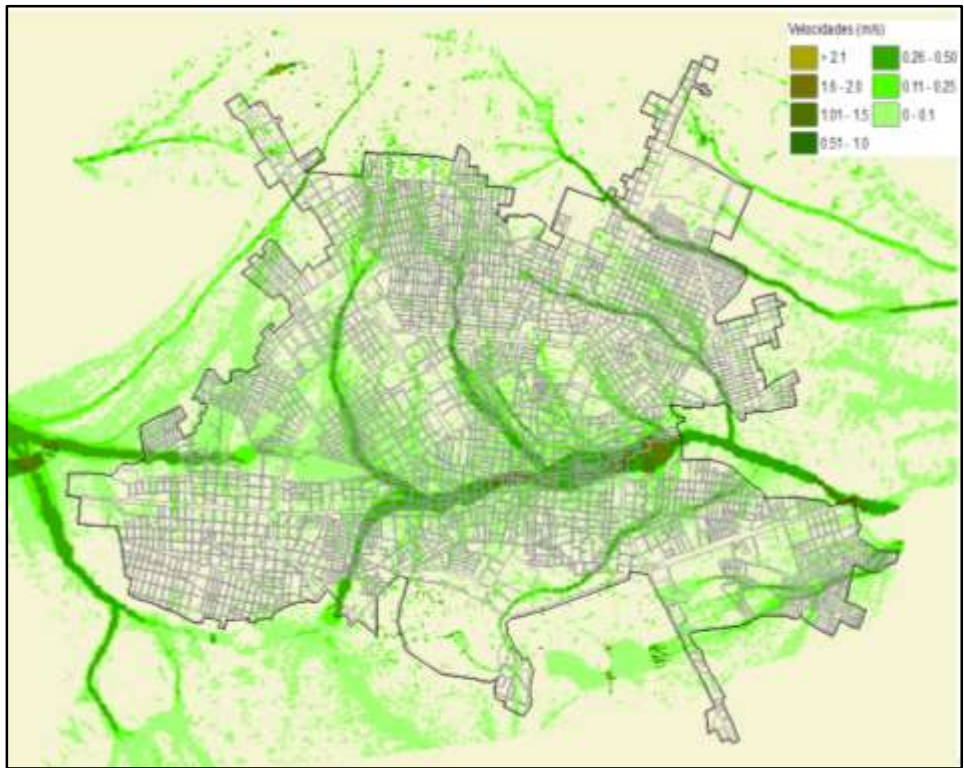


Figura 5.19 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años

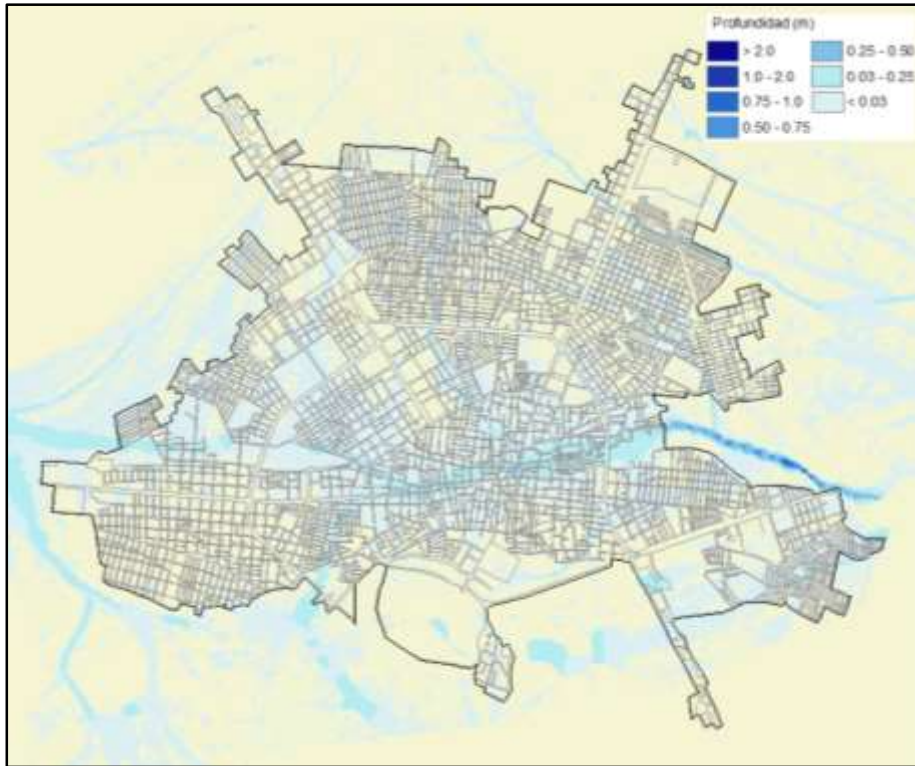


Figura 5.20 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años

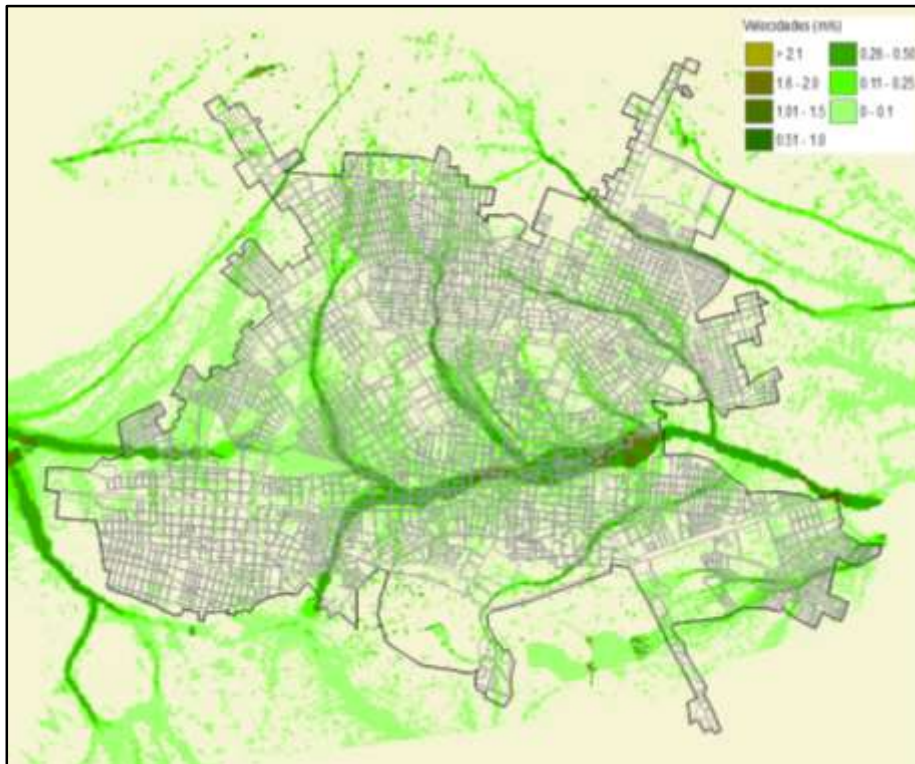


Figura 5.21 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años

5.4 Análisis de los resultados

Como ya se mencionó la cuenca de estudio tiene varias salidas, se realizó una comparación entre los resultados del escurrimiento obtenidos en el análisis hidráulico y el análisis hidrológico. En la siguiente figura se muestra dicha comparación donde se puede concluir que los resultados son muy similares tanto en magnitud como en la variación en el tiempo. Cabe mencionar que en HECHMS solamente se simuló un día ya que es tiempo suficiente para obtener la precipitación efectiva la cual fue entrada al software IBER.

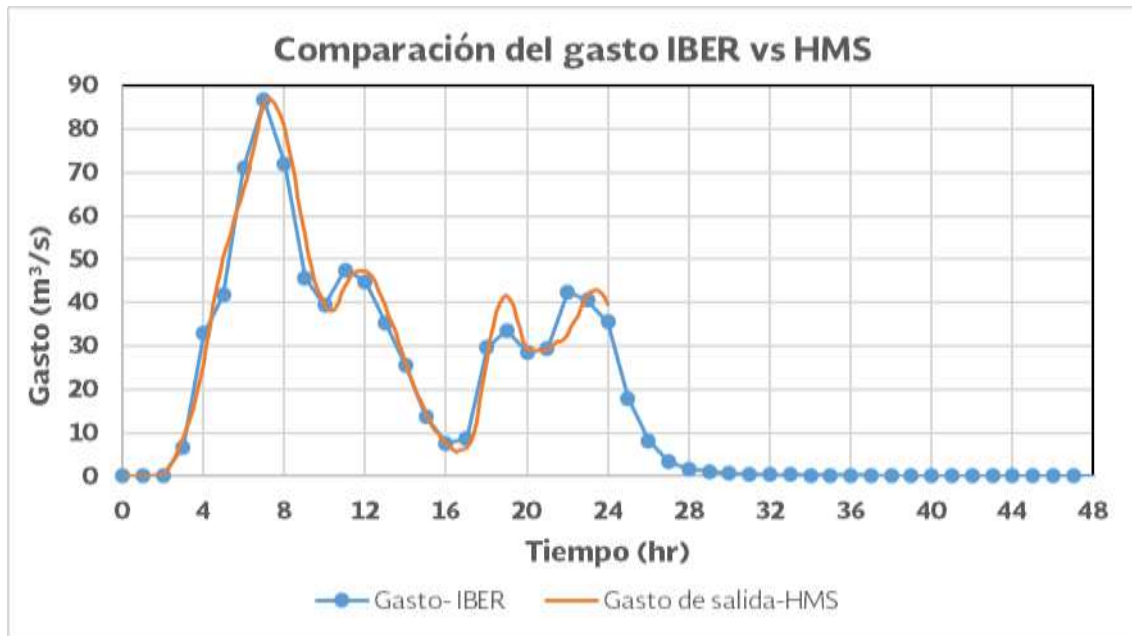


Figura 5.22 Comparación del hidrograma de salida con el software IBER y con el software HEC-HMS

Resultados Generales

De acuerdo con los resultados obtenidos se tiene que el tirante máximo en la zona simulada varía 0.59 m a 1.03 m, los cuales corresponden a los periodos de retorno de 2 y 100 años respectivamente. Los tirantes mayores se localizan fuera de la zona urbana de Fresnillo.

Resultados en zonas dentro de la mancha urbana

De acuerdo con lo mostrado en las figuras de tirantes máximos se tiene que para el periodo de retorno de dos años *dentro de la zona urbana de Fresnillo* se alcanzan tirantes del orden de los 20 centímetros, predominando tirantes menores a los 10 centímetros. Por otra parte, la velocidad máxima alcanzada es de 1.5 m/s, sin embargo, las velocidades predominantes son del orden de 0.50 m/s.

Para el periodo de retorno de 100 años *dentro de la zona urbana de Fresnillo* se alcanzan tirantes del orden de los 30 centímetros, predominando tirantes de 40

centímetros. Por otra parte, la velocidad máxima alcanzada es de 2.0 m/s, sin embargo, las velocidades predominantes son menores a 1 m/s.

De acuerdo con la siguiente figura se puede observar que el escurrimiento en la parte este de la zona urbana escurre precisamente al canal fluvial.

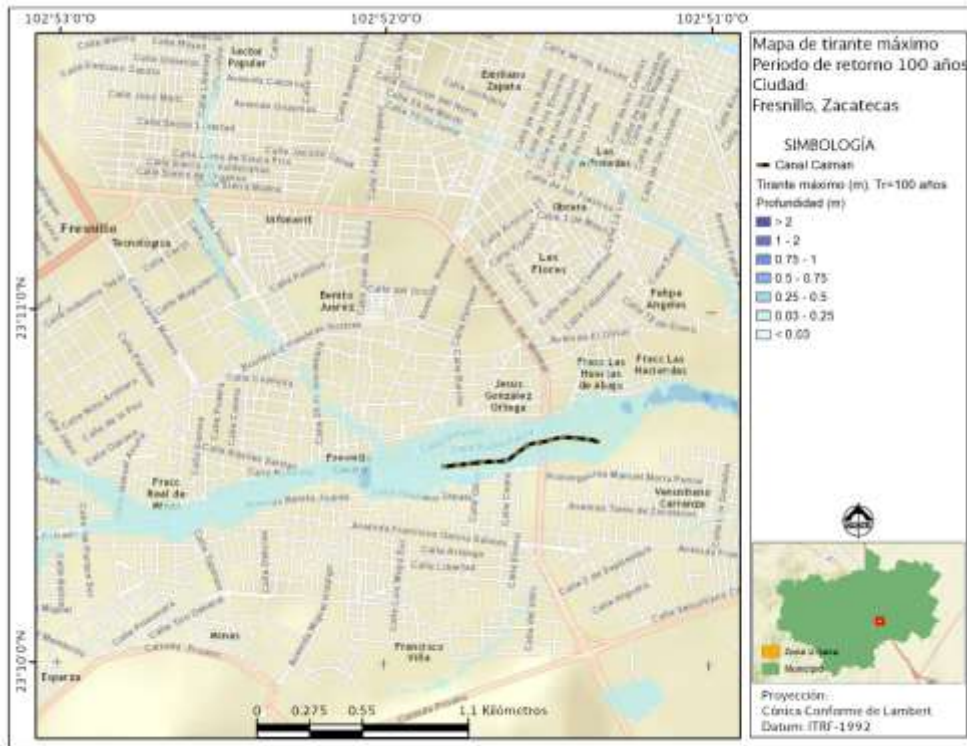


Figura 5.23 Mapa de tirantes máximos alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años dentro de la zona urbana y donde se localiza el canal fluvial

5.5 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, Peterson, 2007). El cual, en función de la velocidad del flujo y del tirante alcanzado por la inundación, permite identificar posibles efectos en cualquier punto de la zona inundada.

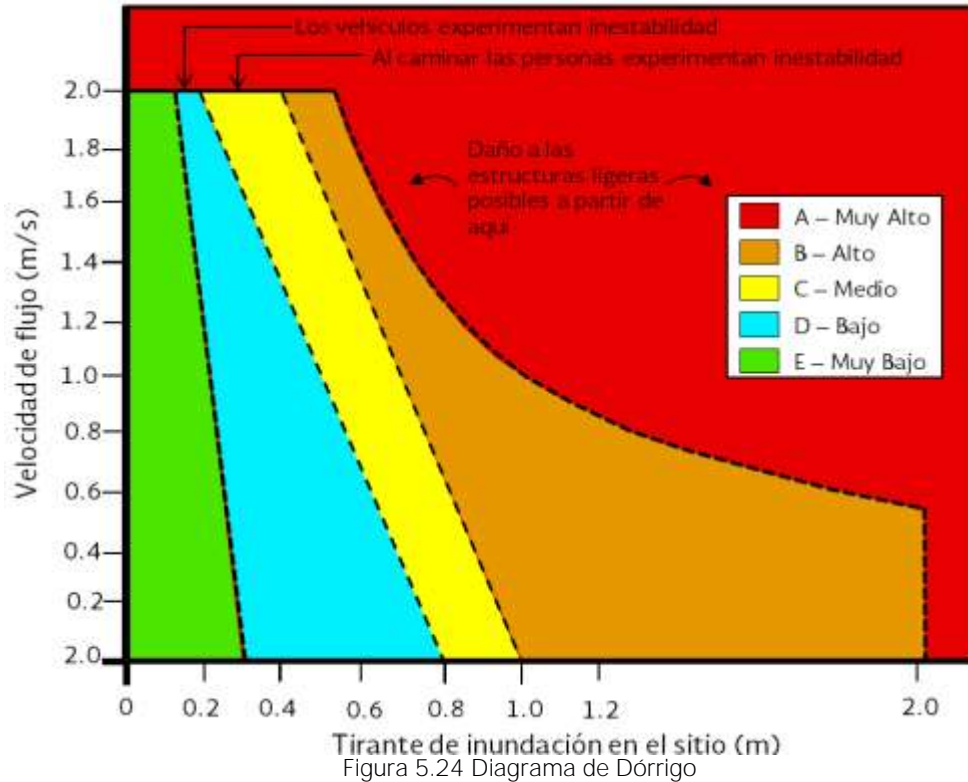


Figura 5.24 Diagrama de Dórrigo

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

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

En la Figura 5.25 se observa el criterio adoptado para clasificar la severidad ante una inundación.

Índices de severidad		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 pasos 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 y la envolvente de velocidades máximas (Figuras 5.12 a 5.21 del subcapítulo 5.5).
- 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. Este 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.

A continuación, se muestran mapas con los niveles de severidad para la ciudad de Fresnillo para los diferentes periodos de retorno.



Figura 5.26 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 2 años

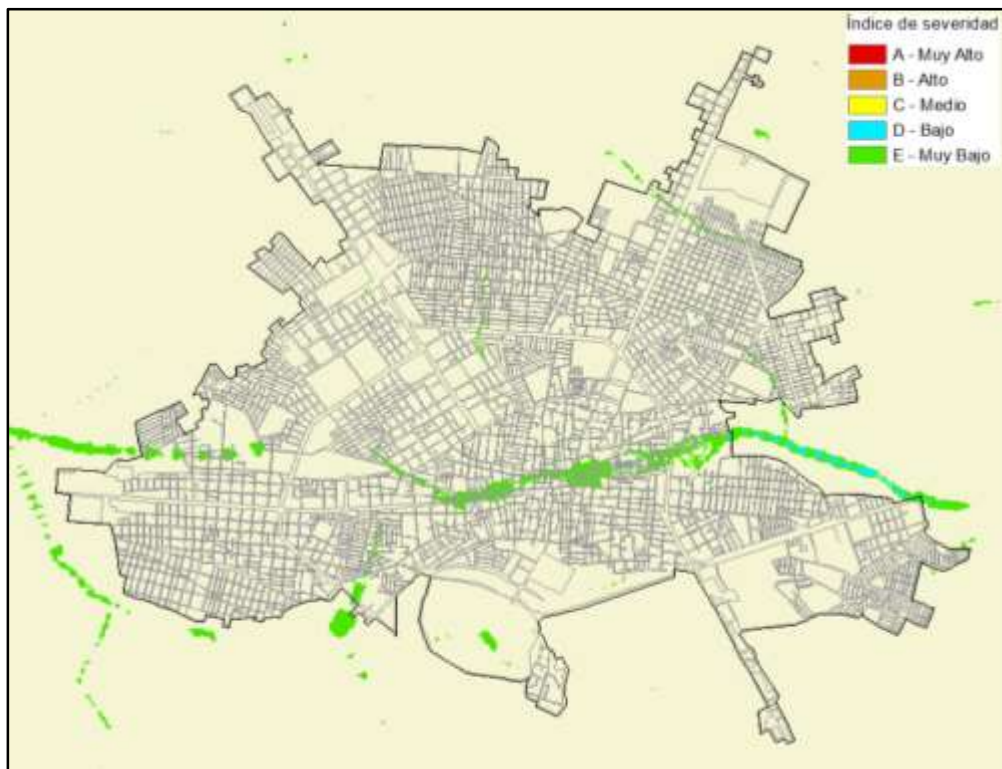


Figura 5.27 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 5 años

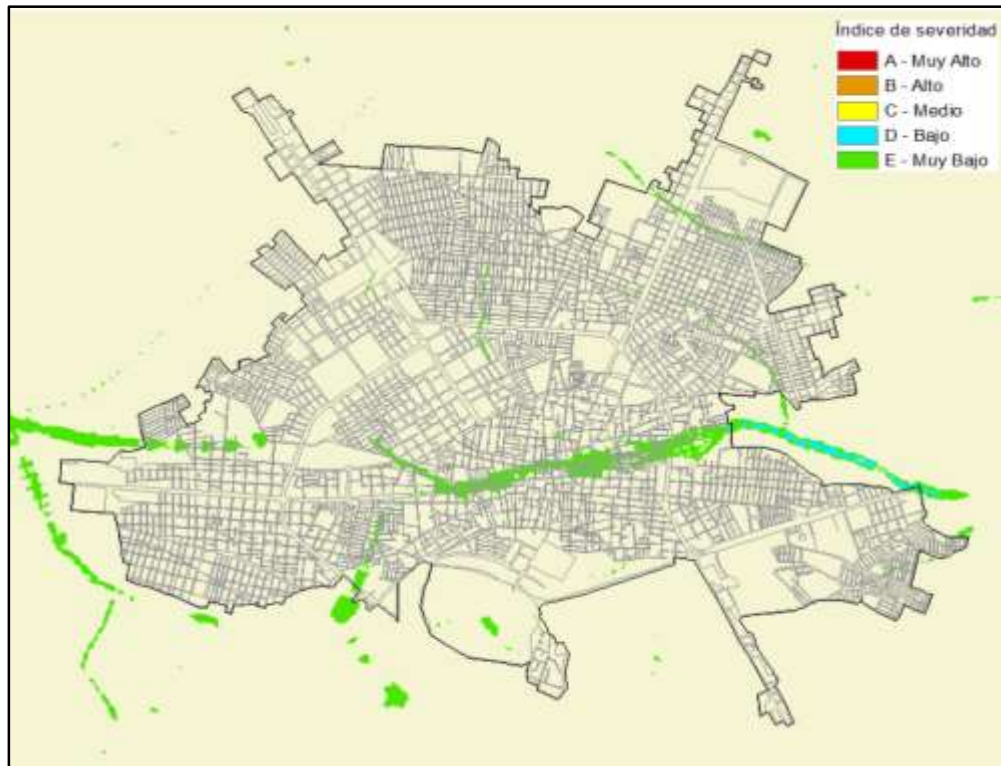


Figura 5.28 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 10 años

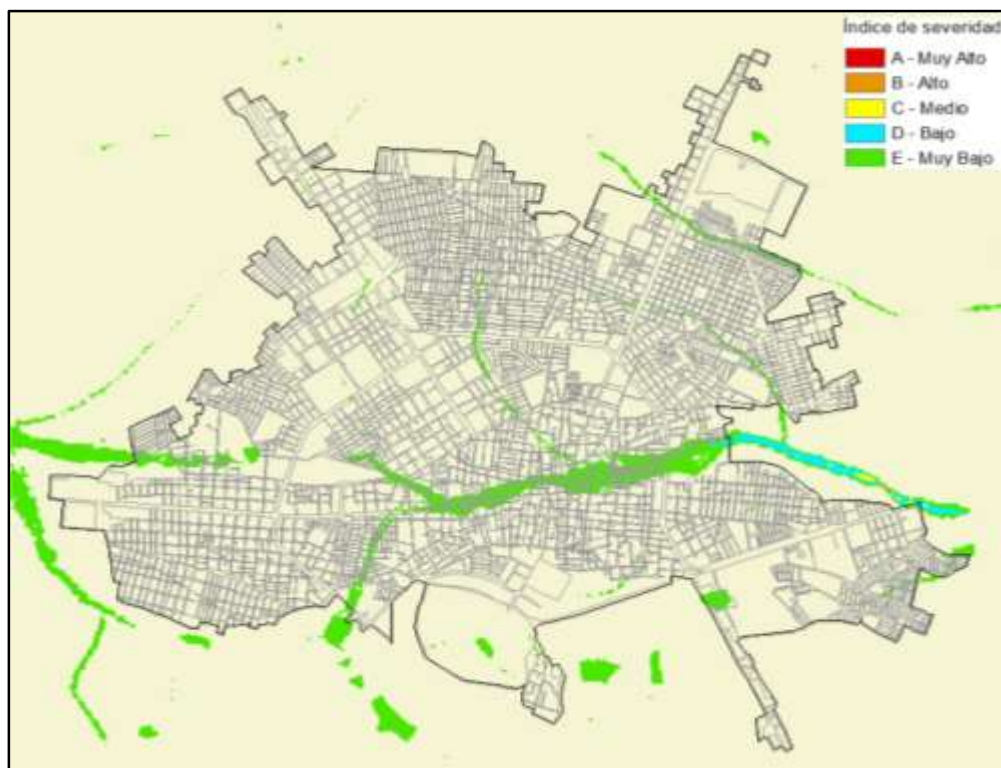


Figura 5.29 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años

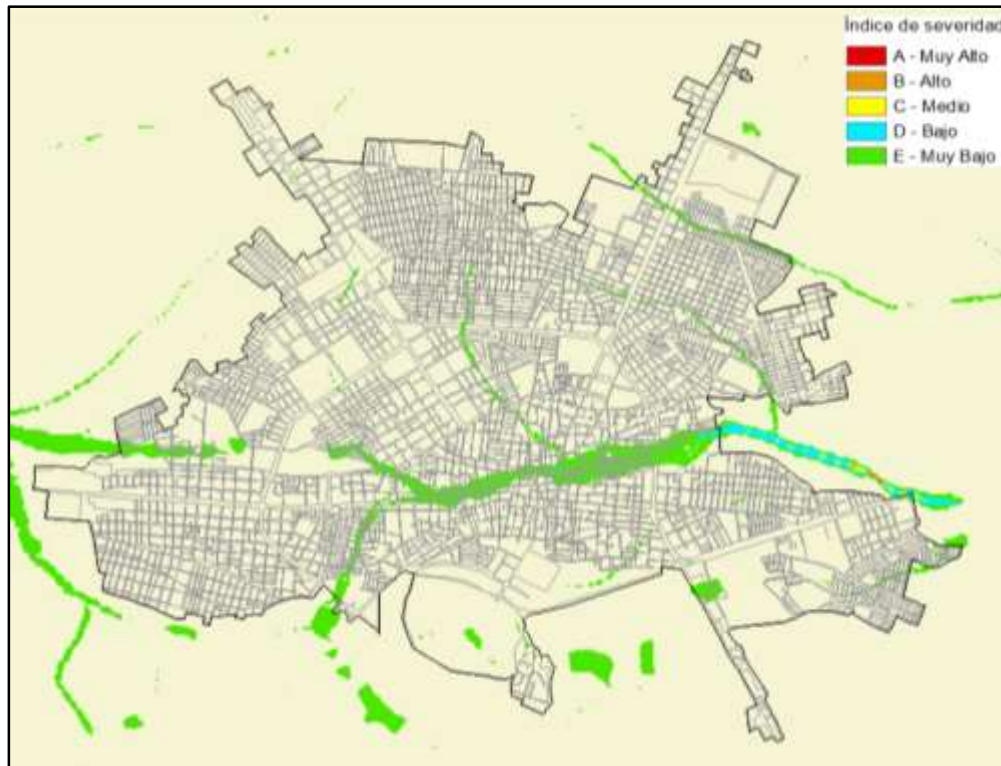


Figura 5.30 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años

Los niveles de severidad en la zona urbana de Fresnillo para los periodos de retorno de 2 a 10 años son muy bajos.

Para los periodos de retorno de 50 y 100 años existe una pequeña área con niveles bajos de severidad y el resto tiene valores muy bajos. Mientras que, en los límites, pero fuera de la zona urbana en una pequeña área se tienen valores de severidad muy alto.

GLOSARIO

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

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

Área de Aportación. Véase cuenca (4).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ANEXOS

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

a) Carpeta: Capítulo 3

Carpeta: Mpks _figuras

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

1. Ubicación de la zona urbana respecto al estado
2. Ubicación de la zona urbana respecto a la Región Hidrológica
3. Ubicación de la zona urbana respecto a las cuencas del DOF
4. Ubicación de la zona urbana respecto a la Región Hidrológica Administrativa
5. Zonas potencialmente inundables
6. Zona urbana
7. Cuenca de aportación
8. Relieve
9. Cobertura vegetal y uso de suelo
10. Edafología
11. Subcuencas y cauces principales
12. Clasificación del suelo
13. Variación del número de escurrimiento
14. Estaciones climatológicas y EMAS

Carpeta: Estaciones

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

15. Registros de estaciones climatológicas
16. Registros de estaciones meteorológicas automáticas

b) Carpeta: Capítulo 4

Carpeta: Mpks de figuras

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

17. Grados de marginación de la zona urbana

c) Carpeta: Capítulo 5

Carpeta: Mpk de figuras

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

18. Modelo Digital de elevación de la Zona a modelar en IBER
19. Uso del suelo detallado para el cálculo del coeficiente de rugosidad

Carpeta: Hidrologia

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

20. Modelo HEC- HMS condiciones actuales
21. Hietogramas de entrada condiciones actuales en Excel

Carpeta: MDE

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

22. MDE de la zona simulada
23. Raster (TXT) del uso de suelo detallado zona simulada con IBER

Carpeta: Modelos IBER

Esta carpeta contiene el modelo hidráulico en condiciones actuales construido en el software IBER para los 5 periodos de retorno.

24. Modelos simulados en condiciones actuales para cada TR

Carpeta: Resultados IBER

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

25. MPK's de resultados: profundidades, velocidades, severidad y riesgo en condiciones actuales para cada TR y riesgo con medida
26. Pérdidas económicas actuales por TR en excel

REFERENCIAS

- Aparicio, M. F. J., "Fundamentos de hidrología de superficie", Limusa, México, 1997
- 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
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Mapas de Precipitación para Diferentes Duraciones y Periodos de Retorno. Octubre 2013.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). "Lineamientos para la elaboración de mapas de peligro por inundación". 2014a.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Programa Nacional de Prevención Contra Contingencias Hidráulicas. 13 Organismos de Cuenca. Primera Versión. 2014b
- 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.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instructivo de hidrología para determinar la avenida máxima ordinaria, México, D.F. 1987.
- Chow, Ven Te. *Hidráulica de Canales Abiertos*, pág. 108, Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning "n". Mc Graw Hill. 2004.
- De la Cruz L. F. Presentación de avance de proyecto del Instituto de Ingeniería ante CONAGUA. Septiembre de 2013. Participantes Faustino De la cruz Luna, Laura Vélez Morales, Griselda.
- Diccionario de datos de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250,000. Noviembre (2009). Recuperado el 20 de noviembre de 2015 de: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/usuarios/doc/dd_usyv_v1_250k.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, ed. (2016). «Censo de población y vivienda 2010». Consultado el 11 de noviembre de 2015 de: http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=27770
- Meyer V. et all. (2012) Economic evaluation of structural and non-structural flood risk management measures: examples from the Mulde River. *Nat Hazards* (2012) 62:301-324. DOI 10.1007/s11069-011-9997-z. Received: 21 April 2011 / Accepted: 25

September 2011 / Published online: 14 October 2011_ Springer Science+Business Media B.V. 2011.

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

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

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