



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
TEQUISQUIAPAN, QUERÉTARO.
REGIÓN HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA IX,
GOLFO NORTE**

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Programa Contra Contingencias Hidráulicas para
la Zona Urbana de Tequisquiapan, Querétaro

Región Hidrológico-Administrativa IX, Golfo
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 crecidas	11
2.5.1 Atribuciones de las instituciones involucradas con la atención a fenómenos hidrometeorológicos.....	14
3. Caracterización de la cuenca y de las zonas inundables	19
3.1. Identificación de zonas potencialmente inundables	21
3.2. Caracterización Socioeconómica	22
3.3. Fisiográfica, meteorológica e hidrológica	22
3.3.1. Cuenca de aportación	23
3.3.2. Relieve	26
3.3.3. Uso de suelo y vegetación.....	27
3.3.4. Edafología.....	27
3.3.5. Subcuencas y características fisiográficas.....	30
3.3.6. Precipitación	36
3.3.7. Escurrimientos	44
3.4. Descripción de inundaciones históricas relevantes	46
3.5. Obras de protección contra inundaciones y acciones no estructurales existentes	47
3.6. Identificación de actividades actuales en las planicies de inundación.....	51
4. Diagnóstico de las zonas inundables	52
4.1. Monitoreo y vigilancia de variables hidrometeorológicas	52

4.2.	Pronóstico de avenidas y sistemas de alerta temprana	52
4.3.	Funcionalidad de las acciones estructurales y no estructurales existentes.....	53
4.4.	Identificación de los actores sociales involucrados en la gestión de crecidas.....	55
4.5.	Identificación de la vulnerabilidad a las inundaciones	56
4.6.	Identificación y análisis de la coordinación entre instituciones involucradas en la gestión de crecidas.....	59
5.	Evaluación de riesgos de inundación	61
5.1.	Estimación de caudales y tormentas de entrada al sistema.....	61
5.1.1.	Cálculo de precipitación media de diseño.....	61
5.1.2.	Construcción de tormentas de diseño.....	65
5.1.3.	Modelo lluvia-escurrimiento	68
5.1.4.	Calibración.....	73
5.1.5.	Simulación y resultados	75
5.2.	Modelo hidráulico.....	77
5.2.1.	Procesamiento del modelo digital de elevaciones	78
5.2.2.	Infraestructura	79
5.3.	Simulación en las condiciones actuales.....	80
5.4.	Resultados.....	86
5.5.	Análisis de los resultados	92
5.6.	Elaboración del mapa de severidad.....	96
	GLOSARIO	102
	REFERENCIAS.....	108

Lista de figuras

Figura 2.1 Gestión integrada de crecidas.....	3
Figura 3.1 Ubicación de la zona urbana de Tequisquiapan respecto al estado de Querétaro	19
Figura 3.2 Ubicación de la localidad de Tequisquiapan respecto a la región hidrológica “Pánuco”	26
Figura 3.3 Ubicación respecto a las cuencas del DOF	20
Figura 3.4 Ubicación respecto a la RHA IX Golfo Norte	21
Figura 3.5 Zonas potencialmente inundables.....	22
Figura 3.6 Zona Urbana de Tequisquiapan.....	23
Figura 3.7 Cuenca de aportación a la zona urbana de Tequisquiapan.....	24
Figura 3.8 Estados que conforman la cuenca de aportación.....	25
Figura 3.9 Relieve de la cuenca de aportación	26
Figura 3.10 Cobertura vegetal y uso del suelo de la cuenca de aportación.....	29
Figura 3.11 Edafología o tipo de suelo (primario) de la cuenca de aportación.....	29
Figura 3.12 Subcuencas en las que se dividió la cuenca correspondiente a la ciudad de Tequisquiapan	30
Figura 3.13 Clasificación del suelo en los cuatro grupos.....	33
Figura 3.14. Variación del número de escurrimiento N en la cuenca de la ciudad de Tequisquiapan.....	35
Figura 3.15 Estaciones climatológicas dentro y fuera de la cuenca de aportación.....	37
Figura 3.16 Estaciones Meteorológicas Automáticas dentro y cerca de la cuenca de aportación.....	41
Figura 3.17 Precipitación media mensual y anual en la localidad de Tequisquiapan.....	43
Figura 3.18 Variación de la precipitación media anual (mm) en la cuenca de aportación	43
Figura 3.19 Variación de la precipitación máxima registrada en 24 horas	44
Figura 3.20 Estaciones hidrométricas y presas dentro de la cuenca de aportación	48
Figura 3.21 Presas y estaciones hidrométricas dentro y cerca de la localidad de Tequisquiapan	48

Figura 4.1 Marginación en la zona urbana de Tequisquiapan, Querétaro.....	58
Figura 5.1 Pantalla del VELL para el cálculo de la precipitación.....	63
Figura 5.2. Patrón de distribución temporal de la lluvia en la EMA Atlacomulco.....	66
Figura 5.3. Patrón de distribución temporal de la lluvia en la EMA Huichapan.....	67
Figura 5.4. Patrón de distribución temporal de la lluvia en la EMA Huimilpan.....	67
Figura 5.5 Hidrograma curvilíneo adimensional del SCS.....	70
Figura 5.6 Pantalla que muestra el modelo de cuenca construido hasta la ciudad de Tequisquiapan.....	71
Figura 5.7Hidrogramas de ingreso a la presa El Centenario.....	73
Figura 5.8. Resultados del modelo hidrológico a la salida de la cuenca para el periodo de retorno de 100 años.....	76
Figura 5.9. Resultados del modelo hidrológico a la salida de la cuenca para el periodo de retorno de 50 años.....	77
Figura 5.10 MDE recortado a la zona a modelar en IBER.....	78
Figura 5.11. Dragado del río San Juan y del arroyo Organal visto con el software MeshLab.....	79
Figura 5.12 Cruce Río San Juan del Río y la avenida Francisco Martínez Elías.....	79
Figura 5.13 Cruce Río San Juan del Río y la avenida Francisco Martínez Elías.....	80
Figura 5.14. Figura que muestra los tamaños de los elementos de la Malla para el análisis hidráulico con IBER.....	81
Figura 5.15. Esquema de los gastos máximos de entrada al modelo del IBER (Condiciones de frontera) para el periodo de retorno de 100 años.....	82
Figura 5.16. Modelo en IBER donde se indica las condiciones de frontera (entradas).....	82
Figura 5.17.Variación de la cobertura vegetal para calcular el coeficiente de rugosidad.....	85
Figura 5.18. Figura que muestra la variación de la cobertura vegetal en el modelo IBER.....	86
Figura 5.19 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años.....	87
Figura 5.20 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 2 años.....	87
Figura 5.21 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años.....	88

Figura 5.22 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años	88
Figura 5.23 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años	89
Figura 5.24 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años	89
Figura 5.25 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años	90
Figura 5.26 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años	90
Figura 5.27 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años	91
Figura 5.28 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años	91
Figura 5.29 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años. Zona Fraccionamiento Blanco y Fundadores de Hacienda Grande.....	93
Figura 5.30 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años. Margen derecha del Río San Juan en el Fraccionamiento Centro.....	94
Figura 5.31 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años a la altura de la calle Junípero por la margen derecha del río San Juan.....	94
Figura 5.32 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años en el arroyo que pasa por el club de Golf	95
Figura 5.33 Comparación de los hidrogramas resultantes a la salida de la cuenca obtenidos con la modelación hidrológica y la modelación hidráulica.	96
Figura 5.34 Diagrama de Dórrigo.....	97
Figura 5.35 Código de colores para elaborar mapas de severidades.....	97
Figura 5.36 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 2 años.....	99
Figura 5.37 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 5 años.....	99
Figura 5.38 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 10 años	100
Figura 5.39 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años	100
Figura 5.40 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años	101

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 Querétaro	10
Tabla 2.3 Ámbito de competencia de las instituciones involucradas	14
Tabla 3.1 Estados que componen la cuenca de aportación	24
Tabla 3.2 Municipios que componen la cuenca de aportación.....	25
Tabla 3.3 Porcentajes de cobertura Vegetal y uso de suelo en la cuenca de aportación .	27
Tabla 3.4 Porcentajes de tipo de suelo en la cuenca de aportación.....	27
Tabla 3.5 Características fisiográficas de las subcuencas.....	31
Tabla 3.6 Grupo edafológico y tipo de suelo	33
Tabla 3.7 Valores del número de escurrimiento.....	34
Tabla 3.8 Características fisiográficas de las subcuencas.....	35
Tabla 3.9 Resumen de las estaciones climatológicas localizadas dentro y fuera de la cuenca.....	36
Tabla 3.10 Estaciones Climatológicas dentro de la zona de estudio.....	37
Tabla 3.11 Estaciones Meteorológicas Automáticas dentro y cerca de la cuenca de aportación.....	41
Tabla 3.12 Precipitación media mensual y anual en la localidad de Tequisquiapan	42
Tabla 3.13 Estaciones hidrométricas dentro de la cuenca.....	45
Tabla 3.14 Escurrimiento medio mensual y gasto máximo instantáneo en la estación hidrométrica 26022	46
Tabla 3.15. Ciclones que han impactado al estado de Querétaro.....	46
Tabla 3.16 Presas de almacenamiento y derivación.....	49
Tabla 4.1 Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie, en km ² por estación).....	52
Tabla 4.2 Dimensiones e indicadores del índice de marginación urbana por AGEB, 2010	57
Tabla 4.3 Complemento del IMU	57
Tabla 4.4 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Tequisquiapan, Querétaro	58

Tabla 5.1. Distribución de estaciones pluviométricas, con más de 20 años completos, en la república mexicana	62
Tabla 5.2. Lluvia máxima considerando toda la cuenca para 24 y 48 horas para diferentes periodos de retorno.....	64
Tabla 5.3. Precipitación máxima (mm) en 24 y 48 horas en cada una de las subcuencas	64
Tabla 5.4. Resumen de las EMAs analizadas.....	66
Tabla 5.5. Subcuencas que conforman el modelo lluvia-escorrentamiento	68
Tabla 5.6. Gastos máximos horarios anuales en la estación hidrométrica Tequisquiapan	71
Tabla 5.7. Gastos máximos en la E.H Tequisquiapan.....	72
Tabla 5.8. Comparación de los gastos en la EH Tequisquiapan y la presa El Centenario.	72
Tabla 5.9. Gastos máximos de entrada a la Presa El Centenario para diferentes periodos de retorno.....	73
Tabla 5.10. Gastos máximos registrados en la estación hidrométrica Paso de Tablas ...	74
Tabla 5.11. Gastos máximos para los periodos de retorno en la estación hidrométrica Paso de Tablas.....	74
Tabla 5.12. Gastos máximos (m^3/s) para diferentes periodos de retorno en las subcuencas y a la salida de la cuenca.....	75
Tabla 5.13. Gastos máximos (m^3/s) para diferentes periodos de retorno en cada entrada al área que se modelará en el IBER.	75
Tabla 5.14. Valores de los números de escorrentamiento calibrados.....	76
Tabla 5.15. Precipitación en la zona de modelación hidráulica (Subcuenca 16) para una duración de 48 horas.....	83
Tabla 5.16. Cobertura vegetal, uso del suelo y sus valores de rugosidad en la zona a modelar.....	85
Tabla 5.17. Tirantes máximos para los diferentes periodos de retorno.....	92
Tabla 5.18. Comparación de los gastos máximos obtenidos con la modelación hidrológica e hidráulica a la salida de la cuenca sobre el río San Juan.....	96

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 Tequisquiapan, Estado de Querétaro*, perteneciente a la Región Hidrológico-Administrativa IX, Golfo 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).

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.

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

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

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 Querétaro fue publicada en el periódico oficial del gobierno del estado el 3 de diciembre de 1992 y fue reformada el 1 de enero del 2004. Tiene como punto de partida la facultad del gobernador de preservar el orden, la tranquilidad y la seguridad social de los habitantes de la entidad. Por ello, la administración pública asume como uno de sus deberes fundamentales establecer medidas de protección civil, que respondan con eficacia a las expectativas de la población, se eleven los niveles de seguridad y garanticen las condiciones de vida, indispensables para el desarrollo económico, político y cultural de la sociedad. Señala que el cuidado de la vida de la población exige una vigilancia generalizada y organizada por parte del gobierno y los ciudadanos. Se busca aprovechar las características geográficas, los signos de urbanización y desarrollo, que exponen permanentemente a la población, para que dejen de ser riesgos que se conviertan tragedias (Tabla 2.2).

Se admite que los fenómenos naturales y otros acontecimientos, producto de la acción humana, obligan a hacer una rigurosa revisión de aspectos como el de considerar que en los conglomerados urbanos -por sus propias características- los riesgos de catástrofe son cada vez más inmediatos y permanentes; y que esta situación se ve agravada por la falta de aplicación de mecanismos de vigilancia y seguridad de actividades humanas, tecnológicas o fenómenos naturales y una injustificable incapacidad para reconocer situaciones de riesgo y actuar en consecuencia. En este sentido, la ley constituye un marco normativo integral dirigido a prevenir, normar y resolver la participación de las autoridades y la sociedad ante este tipo de sucesos.

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

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

Lo que incluye	Lo que omite
	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 crecidas

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

Otras de las principales dependencias involucradas son: Secretaría de la Defensa Nacional, Secretaría de Marina, Secretaría de Seguridad Pública, Secretaría de Desarrollo Social,

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Secretaría de Salud, Secretaría de Educación, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, Comisión Federal de Electricidad, Secretaría de Turismo, Cruz Roja, entre otros.

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

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

Internacionales

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

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

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

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

mayo y junio de 2012, México). La iniciativa internacional, comprende la gestión de riesgos y de emergencias, análisis de riesgos múltiples; bases de datos para evaluar el riesgo; modelación hidrológica, hidráulica y económica; cartografía de riesgos por inundaciones; medidas estructurales y no estructurales; la gobernabilidad y participación, reformas institucionales, pronósticos y alerta anticipada y sistemas de alerta, comunicación efectiva, vigilancia y respuesta a las alertas.

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

Federales

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

Estatales

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

Municipales

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

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

En la tabla 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 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.

Instituciones	Artículos	Atribuciones
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 históricos y de las zonas de monumentos.

Instituciones	Artículos	Atribuciones
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, adicionados

Instituciones	Artículos	Atribuciones
		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 bajo su inmediata directa responsabilidad los asuntos urgentes del instituto, a reserva de informar a la Junta sobre las acciones y los resultados obtenidos.
Distribuidora de Conasupo (DICONSA)	2.1	Reglas de Operación, el de contribuir a mejorar la nutrición como una capacidad básica de la población que habita en localidades rurales. 2.2. Abastecer localidades rurales de alta y muy alta marginación con productos, en forma eficaz y oportuna.
Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)	109FI	El de investigar los peligros, riesgos y daños producidos por agentes perturbadores que puedan dar lugar a desastres integrando y ampliando los conocimientos de tales acontecimientos, en coordinación con las dependencias y entidades responsables.
Petróleos Mexicanos (PEMEX)	4FII	Estatuto Orgánico de Petróleos Mexicanos, el de emitir a propuesta del Comité correspondiente las políticas y lineamientos en materia de, inciso f).- Programar y proyectos, contratación de terceros experto independiente, prelación entre los proyectos de gran magnitud alta prioridad y otros proyectos relevantes, así como los criterios para definir los casos y la etapa de la fase de los proyectos y programas de inversión de los organismos subsidiarios que deberán ser aprobados por el Consejo de Administración, previo acuerdo del Consejo de Administración del Organismo Subsidiario correspondiente.
Desarrollo Integral de la Familia (DIF)	4FXXV	Estatuto Orgánico: Promover la atención y coordinación de las acciones de los distintos sectores sociales que actúen en beneficio de aquellos, en el ámbito de su competencia, en casos de desastres como inundaciones, terremotos, derrumbes, explosiones, incendios, y otros de naturaleza similar por los que se causen daños a la población, el organismo, sin perjuicio de las atribuciones que en auxilio de los damnificados lleve a cabo otras dependencias y entidades.
Universidad Autónoma de México (UNAM)	1	La Universidad Nacional Autónoma es una corporación pública-organismo descentralizado del estado - dotada de plena capacidad jurídica y que tiene por fines impartir educación superior para formar profesionales, investigadores, profesores universitarios y técnicos útiles a la sociedad; organizar y realizar investigaciones principalmente acerca de las condiciones y problemas nacionales, y extender con la mayor amplitud posible, los beneficios de la cultura.

Instituciones	Artículos	Atribuciones
Cruz Roja Mexicana	2. 8	Decreto presidencial del 21 de febrero de 1910, en su estatuto, artículo 2 inciso 8) el de proponer a mejorar la salud, prevenir las enfermedades y aliviar los sufrimientos espirituales y corporales, desarrollando al efecto toda acción humanitaria tendiente a estos fines, de acuerdo con sus posibilidades, las leyes y demás disposiciones legales vigentes en el país. La Cruz Roja debe considerarse 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 Estatales 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 Tequisquiapan, cuya área aproximada es de 11.297 km², se localiza en el municipio del mismo nombre correspondiente al estado de Querétaro. Se ubica al Sur Este del estado y al Este del municipio entre las coordenadas Geográficas 99° 53' 37" de Longitud Oeste y 20° 31' 39.6" de Latitud Norte.

Los municipios con los que colinda el municipio Tequisquiapan son: al norte colinda con los municipios Ezequiel Montes y Colón; al Sur con el municipio de San Juan del Río, al Este con el estado de Hidalgo (municipio de Tecozautla) y al Oeste con los municipios de Pedro Escobedo y Colón.

Para los estudios de hidrológicos de la determinación de la disponibilidad de agua y de inundaciones, el país está dividido en 37 Regiones Hidrológicas (RH), siendo la RH 26 "Pánuco" donde se localiza la localidad de Tequisquiapan, en el municipio del mismo nombre y el estado de Querétaro. Además de acuerdo con la división de las cuencas del Diario Oficial de la Federación (DOF) la localidad y el municipio están dentro de la cuenca "Río San Juan I".

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

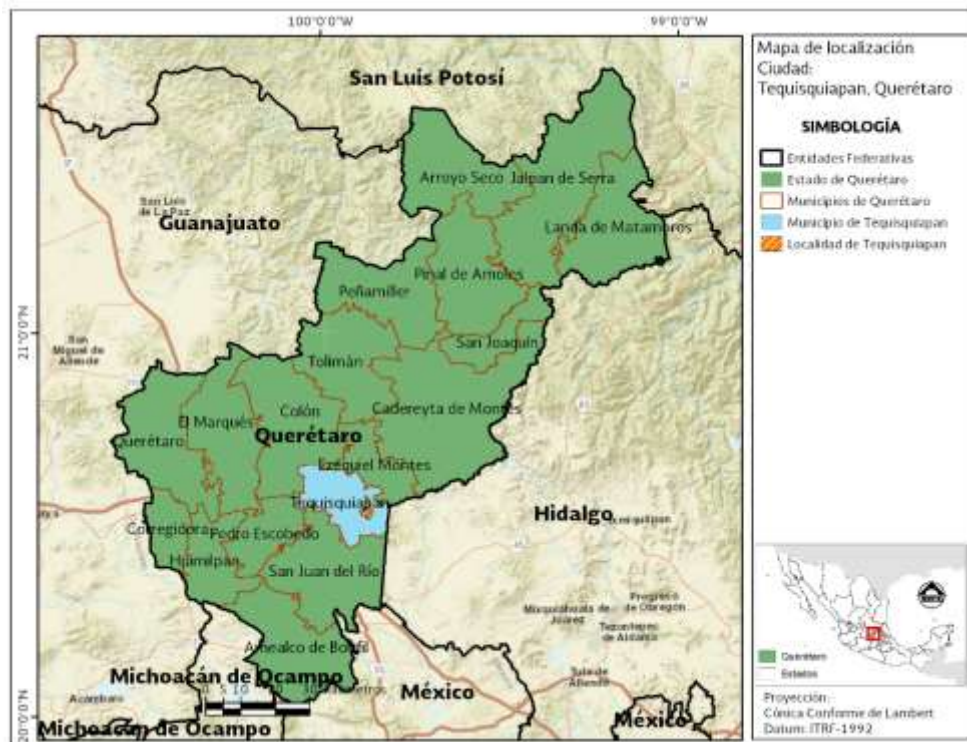


Figura 3.1 Ubicación de la zona urbana de Tequisquiapan respecto al estado de Querétaro

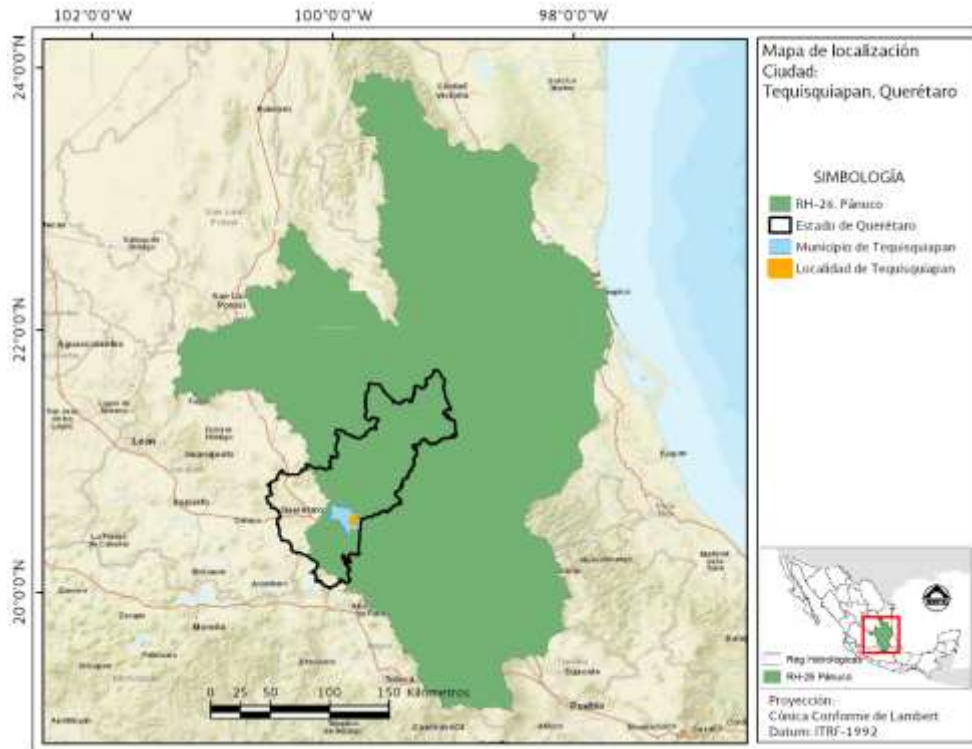


Figura 3.2 Ubicación de la localidad de Tequisquiapan respecto a la región hidrológica 26 “Pánuco”

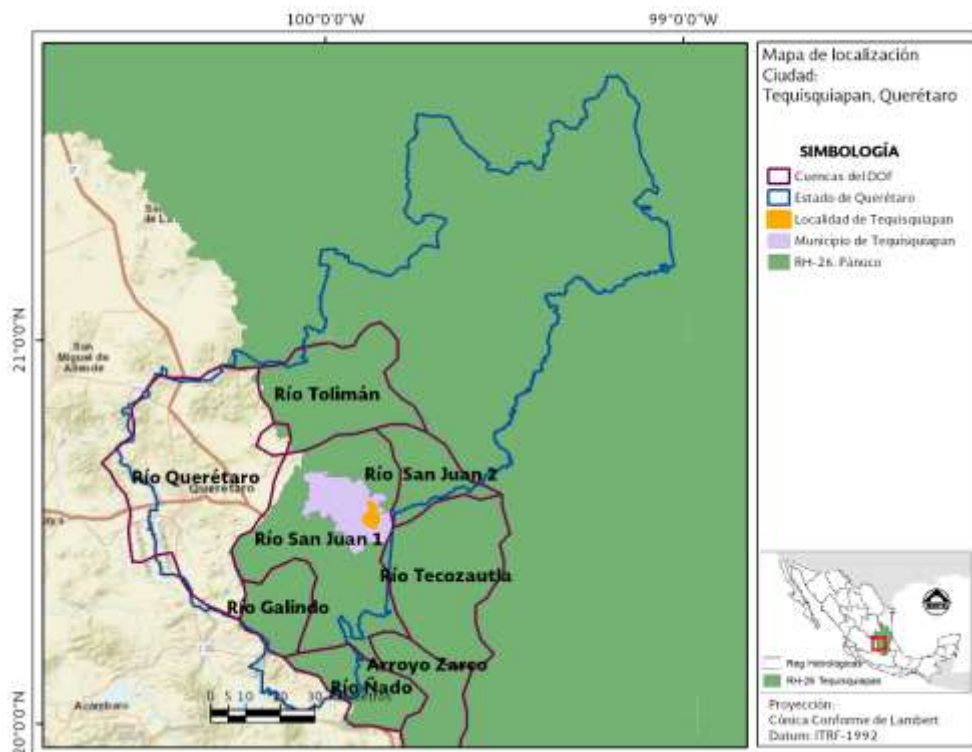


Figura 3.3 Ubicación respecto a las cuencas del DOF

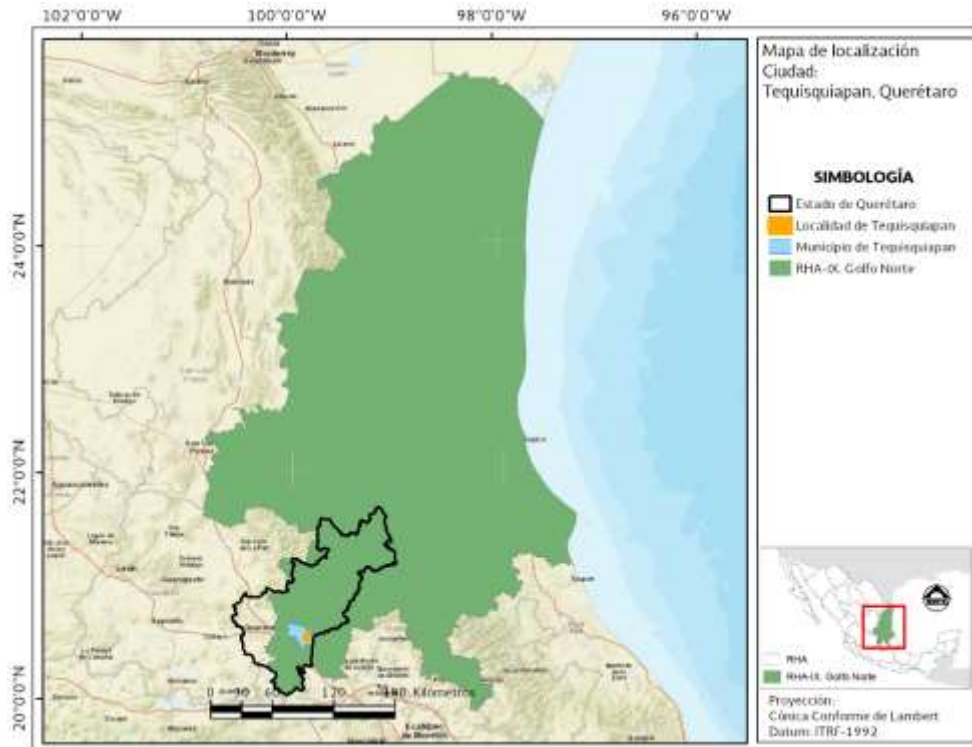


Figura 3.4 Ubicación respecto a la RHA IX Golfo Norte

3.1. Identificación de zonas potencialmente inundables

De acuerdo al Mapa Nacional de Índice de Inundación (Uribe et al, 2010) en la zona urbana de Tequisquiapan, en el centro de la ciudad se tienen zonas potencialmente inundables (figura 3.5), las cuales se deben quizá al desbordamiento del río San Juan.

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.

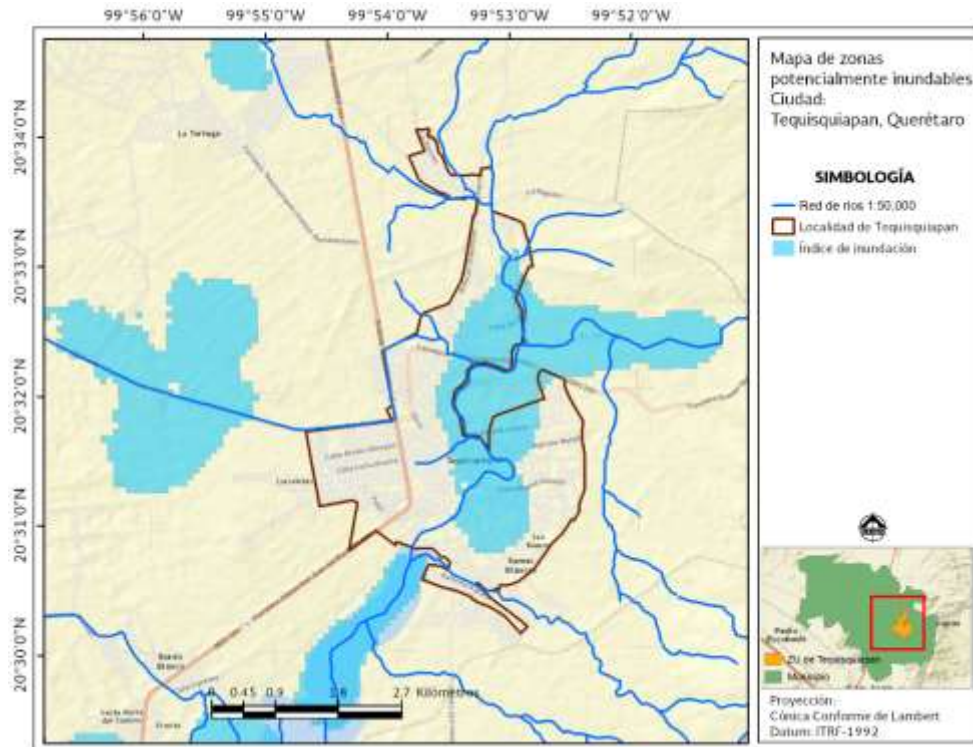


Figura 3.5 Zonas potencialmente inundables

3.2. Caracterización Socioeconómica

Tequisquiapan es una pequeña ciudad situada en el Estado de Querétaro y cabecera del municipio homónimo. Forma parte de la Zona Metropolitana de San Juan del Río y está a 60 km al oriente de la ciudad de Santiago de Querétaro, capital del Estado. Es parte de la región del Bajío. De acuerdo a los datos del Censo de Población y Vivienda 2010, la ciudad cuenta con una población de 29,799 habitantes, de los cuales 3053 son menores de 5 años y 2,991 mayores de 60. Se contabilizan 1,250 personas con capacidades limitadas. En relación a la escolaridad, el grado promedio es de 8.96 años. La población económicamente activa asciende a 13,097 habitantes, y en materia de salud 11,441 no tienen derecho a servicios de salud. Del total de viviendas –10,032– 264 tienen piso de tierra y 7,058 cuentan con servicios.

3.3. Fisiográfica, meteorológica e hidrológica

El área de estudio corresponde a la zona conurbada de Tequisquiapan tiene una extensión de 11.297 km² y su longitud o perímetro es de 27.992km. Aproximadamente su elevación en la zona más alta es 1,923 m.s.n.m y en su parte más baja de 1,862 m.s.n.m. La elevación media es de 1,883 msnm.

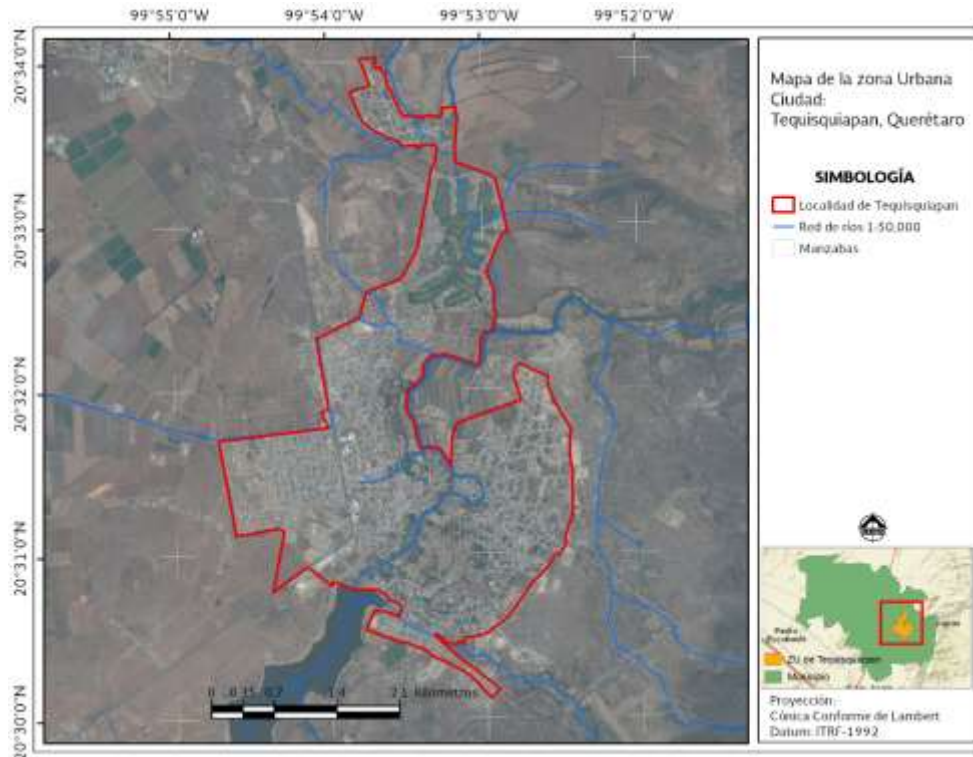


Figura 3.6 Zona Urbana de Tequisquiapan

3.3.1. Cuenca de aportación

Con el fin de estimar el riesgo por inundación en la zona urbana de Tequisquiapan se determinó la cuenca de aportación a la localidad. La cuenca corresponde a todo el escurrimiento por el río San Juan el cual atraviesa la localidad, además de los arroyos Los desmontes y la Cantera, los cuales son tributarios del Río San Juan.

Por lo tanto, ante las intensas precipitaciones que se presentan puede verse rebasada la capacidad del río y los arroyos, y ocasionar daños por inundación.

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 3,404.078 km². Para la determinación de las avenidas para los diferentes periodos de retorno la cuenca se dividirá en subcuencas considerando como puntos las estaciones hidrométricas, las presas de almacenamiento, derivación o control de avenidas.

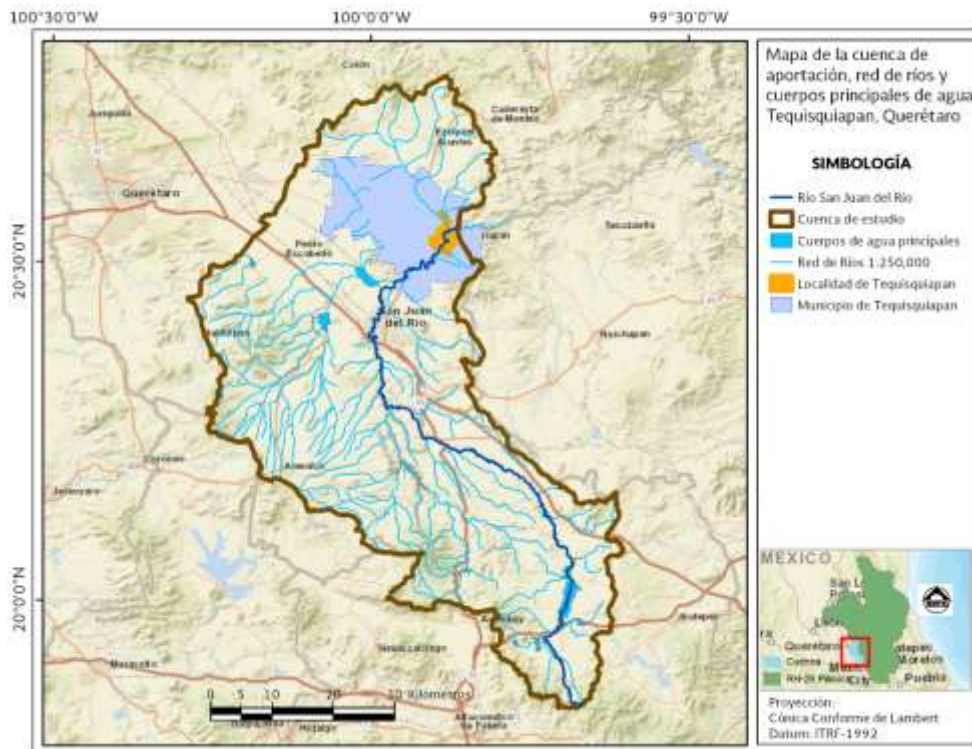


Figura 3.7 Cuenca de aportación a la zona urbana de Tequisquiapan

Si bien la localidad de Tequisquiapan se localiza en el estado de Querétaro, la cuenca de aportación está conformada en un 67.83% por el estado de Querétaro, un 31.72% por el estado de México, y solamente el 0.24 y 0.21% para los estados de Hidalgo y Michoacán respectivamente.

Tabla 3.1 Estados que componen la cuenca de aportación.

Estado	Área (km ²) del estado dentro de la cuenca	% de la cuenca
Hidalgo	8.05	0.24
México	1,079.74	31.72
Michoacán de Ocampo	7.18	0.21
Querétaro	2,309.12	67.83
Total	3,404.08	100.00

Por otra parte, la cuenca comprende de manera total o parcial 21 municipios: 11 del estado Querétaro (todos parciales), 7 del estado de México (1 completo), 3 del estado de Hidalgo (un muy pequeño porcentaje) y 1 municipio (parcialmente) del estado de Michoacán.

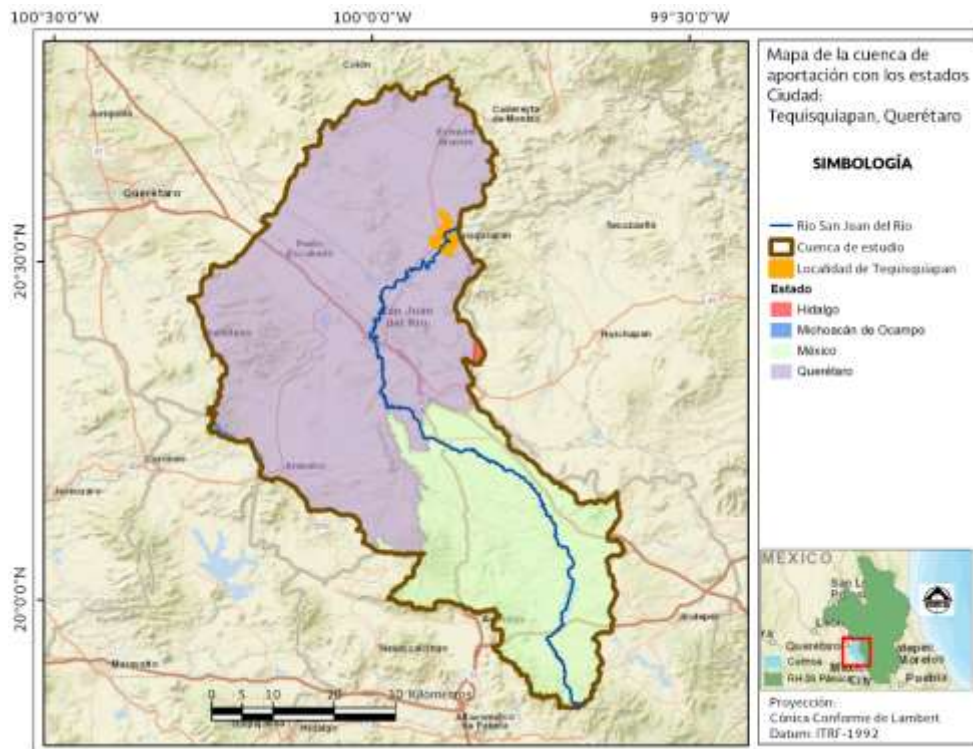


Figura 3.8 Estados que conforman la cuenca de aportación

Tabla 3.2 Municipios que componen la cuenca de aportación.

Municipio	Área (km ²) del municipio dentro de la cuenca	Área (km ²) total del municipio	% del municipio dentro de la cuenca
Estado de Hidalgo			
Aguascalientes	107.54	1,166.36	9.22
Asientos	466.19	543.37	85.80
Calvillo	1.99	923.36	0.22
El Llano	70.19	504.05	13.92
San Francisco de los Romo	132.97	137.77	96.52
Huichapan	7.670	641.280	1.20
Nopala de Villagrán	0.050	339.090	0.01
Tecoautla	0.329	532.130	0.06
Estado de México			
Acambay	218.080	462.630	47.14
Aculco	449.835	449.840	100.00
Chapa de Mota	1.105	290.300	0.38
Jilotepec	151.991	579.380	26.23
Morelos	3.150	235.000	1.34
Polotitlán	115.146	126.500	91.02
Timilpan	140.431	171.590	81.84
Estado de Michoacán de Ocampo			
Epitacio Huerta	7.176	421.210	1.70
Estado de Querétaro			
Amealco de Bonfil	487.721	705.460	69.14
Cadereyta de Montes	14.702	1338.110	1.10

3.3.3. Uso de suelo y vegetación

La cobertura vegetal o uso del suelo que predomina en la cuenca de aportación es la agricultura de temporal y de riego con un 45.84 y 18.69% respectivamente. El pastizal ocupa el 12.43% de la cuenca.

Tabla 3.3 Porcentajes de cobertura Vegetal y uso de suelo en la cuenca de aportación

Cobertura vegetal o uso del suelo	Área (km ²)	%
Agricultura de riego	636.22	18.69
Agricultura de temporal	1,560.34	45.84
Asentamientos humanos	15.98	0.47
Bosque de encino	170.41	5.01
Bosque de pino-encino	1.74	0.05
Cuerpo de agua	59.26	1.74
Matorral crasicaule	54.78	1.61
Pastizal inducido	423.14	12.43
Zona urbana	45.12	1.33
Bosque de pino	3.85	0.11
Bosque de encino-pino	30.12	0.88
Selva baja caducifolia	26.53	0.78
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	5.11	0.15
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	176.15	5.17
Vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule	128.42	3.77
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de mezquite	1.00	0.03
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	16.90	0.50
Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia	49.01	1.44
Total	3,404.08	100.00

3.3.4. Edafología

De acuerdo con las áreas de suelo primario la cuenca de aportación está conformada en su mayor parte por Phaeozems y vertisoles con 40.92 y 23.33% respectivamente; le sigue el Planosol con un 19.90%.

Tabla 3.4 Porcentajes de tipo de suelo en la cuenca de aportación

Tipo de suelo	Área (km ²)	%
Calcisol	75.45	2.22
Cambisol	4.76	0.14
Cuerpo de agua	57.75	1.70
Leptosol	136.94	4.02
Luvisol	255.23	7.50
Phaeozem	1,393.11	40.92
Planosol	336.99	9.90
Regosol	2.91	0.09
Zona urbana	40.45	1.19
Vertisol	1,100.48	32.33
Total	3,404.07	100.00

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.

CAMBISOL.-Suelo que tiene un horizonte subsuperficial (Cámbico) que muestra evidencias de alteración y remoción, no tiene consistencia quebradiza y un espesor de por lo menos 15 cm.

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).

PLANOSOL.- Suelo que presenta dentro de los primeros 100 cm de espesor, un cambio textural abrupto, asociado a condiciones de saturación con agua superficial por períodos largos que permiten la ocurrencia de condiciones reductoras (Propiedades Stágnicas)

REGOSOL.- Suelo muy poco desarrollado, muy parecido al material de origen.

VERTISOL.- Suelo que tiene más de 30% de arcilla en todas sus capas dentro de los primeros 100 cm de espesor, son duros y masivos es seco y forman grietas, buen contenido de carbono orgánico en la capa arable.

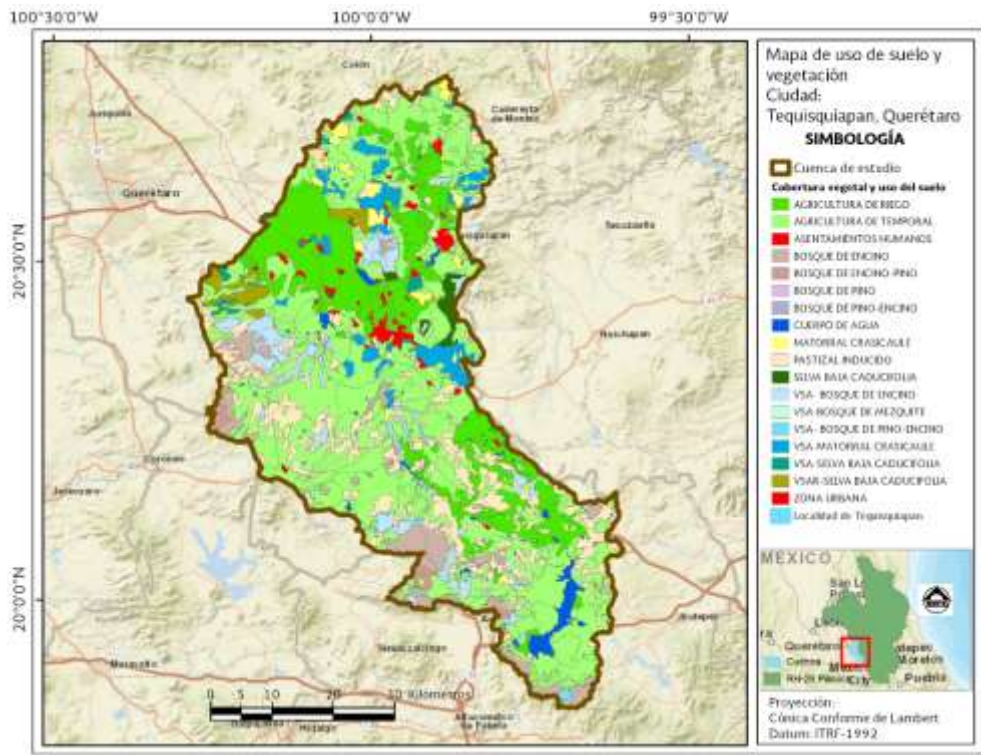


Figura 3.10 Cobertura vegetal y uso del suelo de la cuenca de aportación

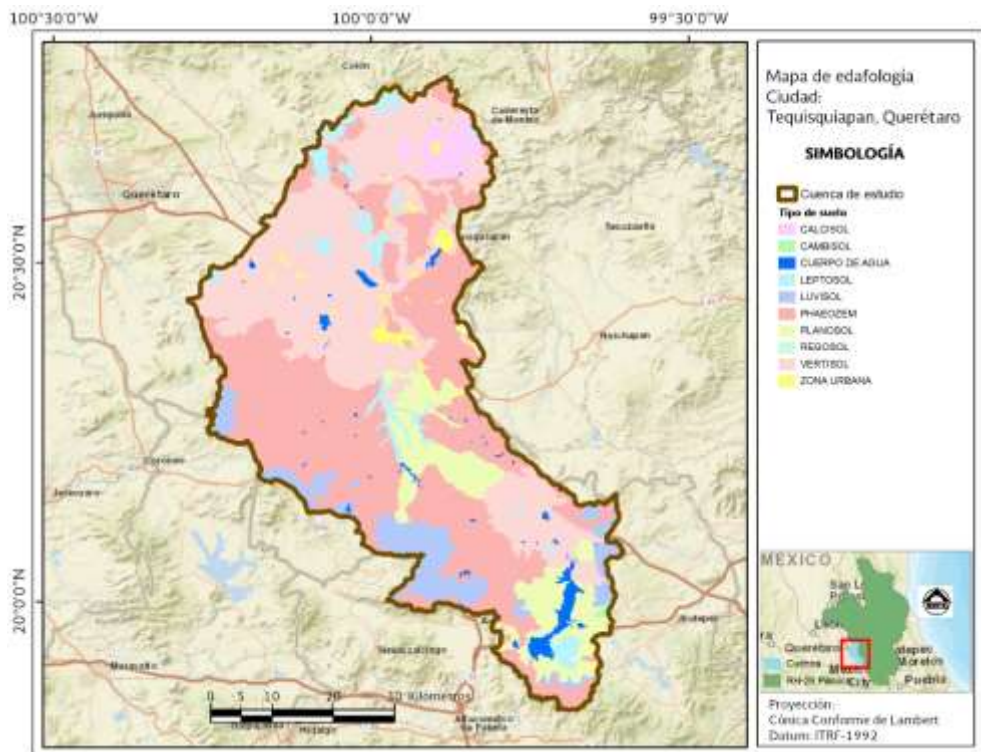


Figura 3.11 Edafología o tipo de suelo (primario) de la cuenca de aportación

3.3.5. Subcuencas y características fisiográficas

Para calcular los gastos para los diferentes periodos de retorno en cada uno de los ríos o arroyos que se localizan en la ciudad, es necesario determinar primeramente la cuenca de aportación, la cual en este caso resultó de 3,404.078 km² (ver capítulo 3.3.1).

El río San Juan atraviesa la zona urbana de ña la ciudad, por lo que el desbordamiento del cauce provoca daños por inundación. Además, en la zona sur de la zona urbana se localiza el arroyo Cantera.

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

Para la división en subcuencas se tomaron criterios para la subdivisión como la localización de estaciones hidrométricas o de presas (ya sean de almacenamiento, derivación o control de inundaciones) con lo cual se puede realizar una calibración de los modelos hidrológicos.

De acuerdo con lo anterior, la cuenca de aportación se dividió en 30 subcuencas, en las cuales en 15 existe en la salida una presa, en 5 hay estaciones hidrométricas y 10 subcuencas a la salida no tienen presa o estación hidrométrica. La ciudad de Tequisquiapan se localiza en la subcuenca 16, a la cual se le denominó “Localidad Tequisquiapan”

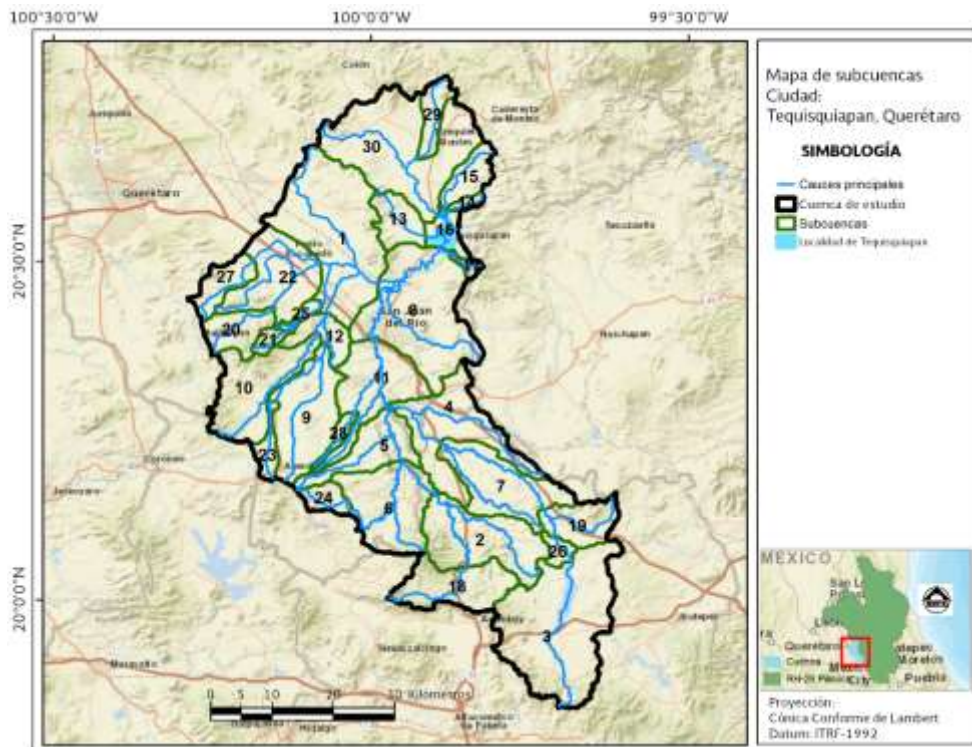


Figura 3.12 Subcuencas en las que se dividió la cuenca correspondiente a la ciudad de Tequisquiapan

Tabla 3.5 Características fisiográficas de las subcuencas

No	Nombre de la Subcuenca	A(km ²)	L (m)
1	Presa La Llave	319.720	33,413
2	EH La Concepción	182.835	31,903
3	Presa Huapango	355.065	32,327
4	Río Blanco	185.338	36,939
5	Río Prieto	99.923	26,860
6	Presa San Ildefonso	173.142	22,549
7	EH Taxhie	158.240	28,768
8	Presa El Centenario	294.074	46,667
9	EH La H	169.703	27,756
10	EH Galindo	160.781	28,314
11	EH San Juan	153.465	29,809
12	Presa Constitución	49.011	11,003
13	Localidad Fuentezuelas	59.560	13,287
14	Arroyo Los Desmontes	9.826	8,014
15	Arroyo Organal	50.105	15,851
16	Localidad Tequisquiapan	35.371	6,836
17	Tequisquiapan-Presa	9.801	6,916
18	Presa Ñado	121.858	20,169
19	Presa El Molino	74.364	21,133
20	Arroyo La D	63.784	16,068
21	Presa El Coto	15.922	8,084
22	Arroyo La Culebra	151.337	30,779
23	Presa Puerta de Alegrias	27.494	15,109
24	Presa El Capulin de Amealco	31.251	13,193
25	Arroyo La Barranca	13.611	10,334
26	Presa San Antonio	18.890	5,978
27	Pesa La Venta	53.751	16,291
28	Pesa La Victoria	15.874	12,182
29	Presa San Antonio	43.680	17,336
30	Presa La Peñuela	306.300	34,166

Donde: A=Área de la subcuenca L=Longitud del cauce principal,

Una vez que se definió la cuenca de aportación y las subcuencas; es necesario calcular las características fisiográficas que se requieren para 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

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

donde

T_c = Tiempo de concentración en hr

L = Longitud del cauce principal en m

S = Pendiente media del cauce principal (relación directa)

La longitud del cauce principal para la cuenca analizada resultó de 135.920 km, y la pendiente de acuerdo con el método de Taylor – Schwarz fue de 0.001644. Por lo que el tiempo de concentración de acuerdo con la fórmula de Kirpich es de 34.33 horas.

En la tabla 3.8 se presenta 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 el subcapítulo 3.3.4, 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 tres grupos existentes en la cuenca donde se observa que predomina el grupo de suelo C (50.1%) seguido por el D (49.16%), y el resto corresponde al grupo B.

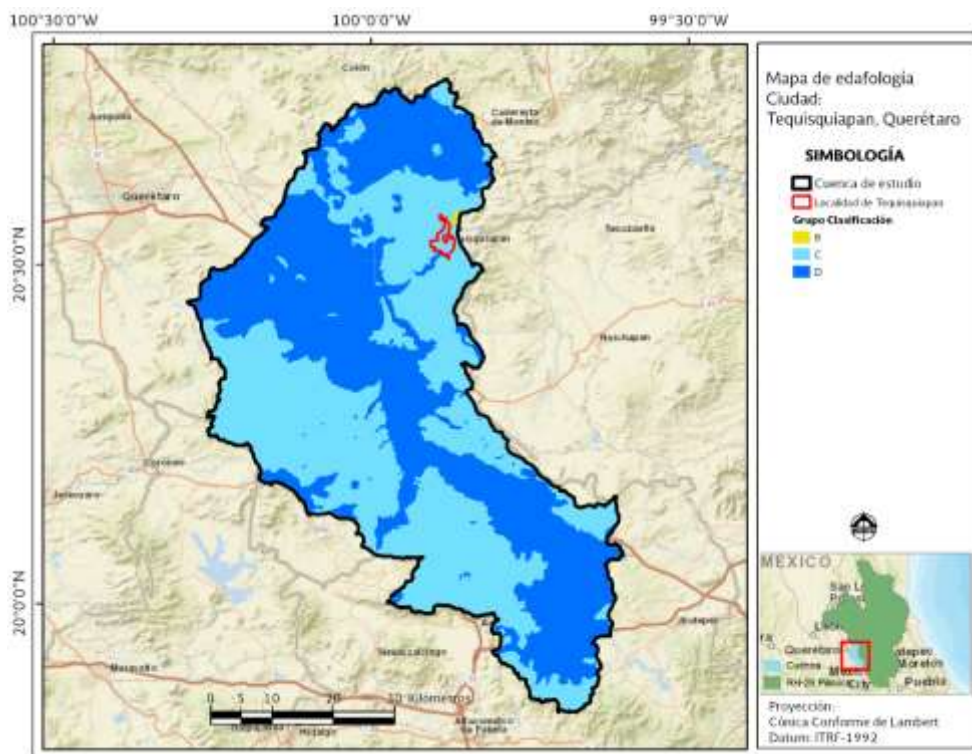


Figura 3.13 Clasificación del suelo en los cuatro grupos

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 Ayarin	40	62	76	81
Bosque de coníferas	36	55	70	77
Bosque de encino	36	60	73	79
Bosque de encino pino	36	60	73	79
Bosque de oyamel	36	55	70	77
Bosque de pino	40	62	76	81
Bosque de pino-encino	36	60	74	80
Bosque de Táscate	37	60	71	78
Bosque Latifoliado	26	52	62	69
Bosque mesofilo de montaña	36	60	70	77
Complementaria	30	58	71	78
Cuerpo de agua	95	95	95	95
Desprovisto de vegetación	77	86	90	92
Humedal con Bosque	36	60	70	77
Manglar	36	60	70	77
Matorral desértico microfilo	50	69	79	84
Matorral desértico rosetófilo	50	69	79	84
Matorral xerófilo	48	67	77	83
Otros tipos de vegetación	50	69	79	84
Palmar inducido	76	85	88	90
Pastizal	48	67	77	83
Pastizal Cultivado	25	59	75	83
Pastizal Halófilo	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 de la tabla anterior y la información de los grupos de suelo y de cobertura vegetal y uso del suelo (subcapítulo 3.3.3 figura 3.10) se calculó la variación espacial del número de escurrimiento en toda la cuenca (figura 3.14), y por lo tanto los valores medios para cada una de las subcuencas (tabla 3.8).

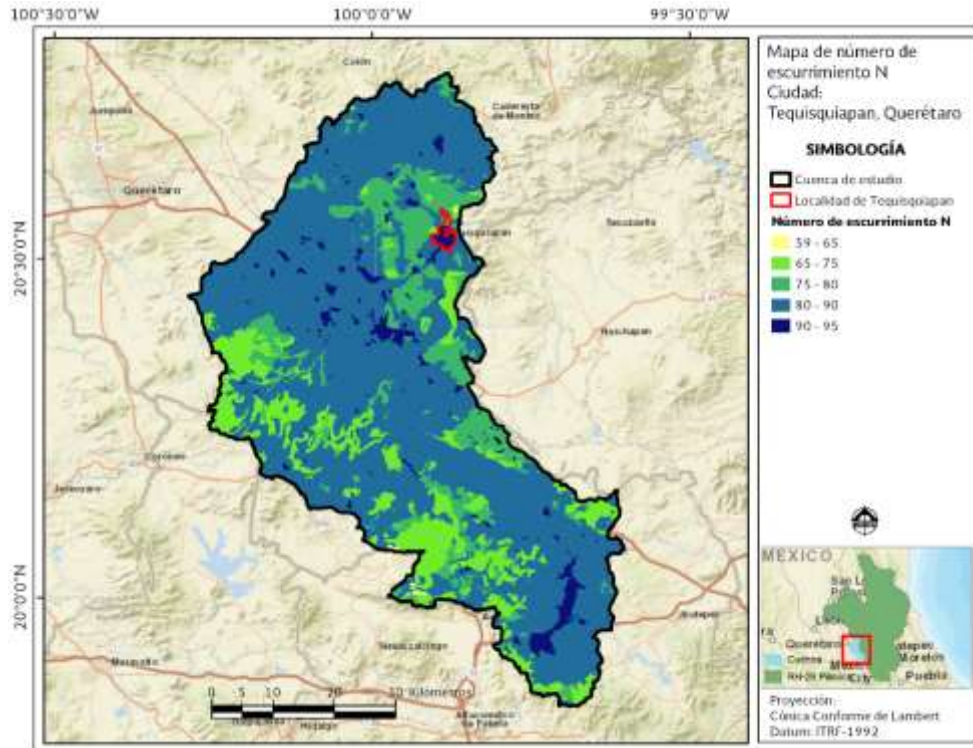


Figura 3.14. Variación del número de escurrimiento N en la cuenca de la ciudad de Tequisquiapan

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	Presa La Llave	319.720	33,413	0.00116	13.32	7.82	82.51
2	EH La Concepción	182.835	31,903	0.00185	10.75	6.55	79.54
3	Presa Huapango	355.065	32,327	0.00131	12.39	7.37	85.99
4	Río Blanco	185.338	36,939	0.00183	12.08	7.21	82.98
5	Río Prieto	99.923	26,860	0.00373	7.19	4.69	83.45
6	Presa San Ildefonso	173.142	22,549	0.00364	6.34	4.22	81.85
7	EH Taxhie	158.240	28,768	0.00280	8.46	5.37	81.85
8	Presa El Centenario	294.074	46,667	0.00135	16.28	9.24	82.05
9	EH La H	169.703	27,756	0.00262	8.45	5.36	82.27
10	EH Galindo	160.781	28,314	0.00459	6.91	4.53	79.06
11	EH San Juan	153.465	29,809	0.00515	6.88	4.52	85.53
12	Presa Constitución	49.011	11,003	0.00406	3.50	2.57	87.35
13	Localidad Fuentezuelas	59.560	13,287	0.00150	5.94	4.00	79.39
14	Arroyo Los Desmontes	9.826	8,014	0.01622	1.61	1.35	76.37
15	Arroyo Organal	50.105	15,851	0.00238	5.69	3.86	83.94
16	Localidad Tequisquiapan	35.371	6,836	0.00012	9.29	5.80	83.05
17	Tequisquiapan-Presa	9.801	6,916	0.00699	1.99	1.61	82.01
18	Presa Ñado	121.858	20,169	0.00308	6.20	4.14	79.16

No	Nombre de la Subcuenca	A(km ²)	L (m)	S	Tc (hr)	Tr (hr)	N
19	Presa El Molino	74.364	21,133	0.00191	7.74	4.98	80.38
20	Arroyo La D	63.784	16,068	0.00397	4.72	3.31	79.61
21	Presa El Coto	15.922	8,084	0.00548	2.46	1.92	76.53
22	Arroyo La Culebra	151.337	30,779	0.00165	10.93	6.64	84.09
23	Presa Puerta de Alegrias	27.494	15,109	0.00479	4.19	2.99	83.09
24	Presa El Capulín de Amealco	31.251	13,193	0.00228	5.02	3.48	86.01
25	Arroyo La Barranca	13.611	10,334	0.00303	3.73	2.72	87.93
26	Presa San Antonio	18.890	5,978	0.00035	5.59	3.80	86.48
27	Pesa La Venta	53.751	16,291	0.00293	5.36	3.67	84.42
28	Pesa La Victoria	15.874	12,182	0.00619	3.22	2.40	82.87
29	Presa San Antonio	43.680	17,336	0.00203	6.48	4.30	85.81
30	Presa La Peñuela	306.300	34,166	0.00127	13.11	7.72	84.74

Donde: A=Área de la subcuenca L=Longitud del cauce principal, S=Pendiente del cauce principal Tc= Tiempo de concentración Tr= Tiempo de retraso N= Número de escurrimiento

3.3.6. Precipitación

Ubicación de las estaciones climatológicas convencionales

Se localizaron 34 estaciones climatológicas convencionales dentro de la cuenca de aportación, de las cuales 22 están en operación y el resto ya están suspendidas.

En la mayoría de las estaciones se tienen datos faltantes, o pocos años con información, y además con fines de poder caracterizar mejor la cuenca, se ubicaron 72 estaciones climatológicas adicionales fuera de la cuenca y a una distancia menor a 20 km. Las estaciones cuentan desde 1 hasta 100 años con información.

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

Localización de la estación	Situación	Número de estaciones
Dentro de la Cuenca	Operando	22
	Suspendida	12
Total		34
Menos de 10 km	Operando	8
	Suspendida	6
Total		14
Menos de 20 km	Operando	27
	Suspendida	17
Total		44
Menos de 5 km	Operando	10
	Suspendida	4
Total		14

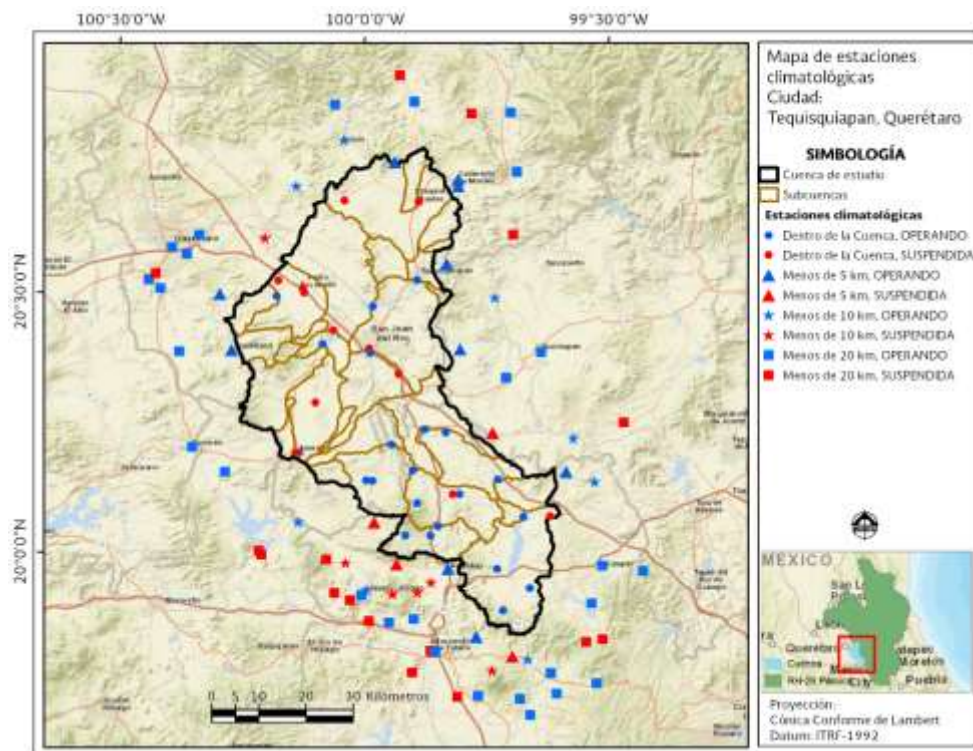


Figura 3.15 Estaciones climatológicas dentro y fuera de la cuenca de aportación

Tabla 3.10 Estaciones Climatológicas dentro de la zona de estudio

Clave	Nombre	Inicio	Fin	Situación	Ubicación	Años
GUANAJUATO						
11012	CORONEO	01/04/1962	31/12/2014	OPERANDO	Menos de 20 km	50
HIDALGO						
13012	HUICHAPAN	01/04/1903	30/09/2013	OPERANDO	Menos de 20 km	100
13072	E.T.A. 027 NOPALA	01/09/1973	31/08/1980	SUSPENDIDA	Menos de 5 km	7
13083	PRESA MADERO	01/09/1939	30/09/2013	OPERANDO	Menos de 20 km	61
13101	SAN BARTOLO	01/01/1974	31/12/1978	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	4
13149	EL BANCO	01/01/1986	30/09/2013	OPERANDO	Menos de 20 km	28
13152	EL POTRERO	01/03/1986	30/09/2013	OPERANDO	Menos de 10 km	28
13155	MARAVILLAS	01/02/1986	31/12/2011	OPERANDO	Menos de 10 km	21
13156	TLAXCALILLA	01/02/1986	30/09/2013	OPERANDO	Menos de 5 km	26
MEXICO						
15001	ACAMBAY	01/05/1957	31/12/2006	OPERANDO	Menos de 5 km	36
15002	ACULCO (SMN)	01/01/1961	31/05/2012	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	44
15009	ATLACOMULCO (SMN)	01/01/1961	30/06/1976	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	15
15024	PRESA DANXHO	01/01/1951	31/07/2012	OPERANDO	Menos de 20 km	63
15029	EL TEJOCOTE	01/01/1969	31/01/2013	OPERANDO	Menos de 20 km	43
15031	HACIENDA SOLIS	01/01/1961	31/07/1989	SUSPENDIDA	Menos de 10 km	28
15064	OXTHOC	01/01/1961	31/03/2012	OPERANDO	Menos de 10 km	47
15069	POLOTITLAN	01/01/1961	31/12/2013	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	49
15071	PRESA EL TIGRE	01/01/1961	31/12/2012	OPERANDO	Menos de 10 km	52
15078	PRESA FRANCISCO TRINIDAD FABELA	01/01/1961	31/12/2013	OPERANDO	Menos de 5 km	48

Clave	Nombre	Inicio	Fin	Situación	Ubicación	Años
15079	PUENTE ANDARO	01/04/1968	31/10/2006	OPERANDO	Menos de 20 km	31
15084	SAN ANDRES TIMILPAN	01/10/1964	31/03/2012	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	45
15104	SAN PEDRO POTLA	01/01/1969	31/12/2012	OPERANDO	Menos de 20 km	43
15110	ACULCO (DGE)	01/03/1970	30/09/1989	SUSPENDIDA	Dentro de la Cuenca	19
15112	SANTIAGO YECHE	01/06/1964	31/03/2012	OPERANDO	Menos de 20 km	42
15117	TEMASCALCINGO	01/07/1962	31/07/2012	OPERANDO	Menos de 10 km	41
15139	ATLACOMULCO I (DGE)	01/01/1961	31/10/1992	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	32
15142	SAN MARCOS TLAZALPAN	01/07/1965	31/01/2001	SUSPENDIDA	Menos de 5 km	35
15146	PUEBLO NUEVO	01/01/1961	31/01/1987	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	23
15185	PRESA EL MOLINO	01/02/1973	30/06/2012	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	36
15187	PRESA HUAPANGO	01/02/1973	30/06/2012	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	41
15189	LA CONCEPCION	01/02/1973	30/06/2012	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	38
15190	PRESA SAN ILDEFONSO	01/01/1951	31/07/2012	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	61
15192	TAXHIE	01/02/1973	31/01/2012	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	31
15194	AGOSTADERO	01/07/1974	31/01/1987	SUSPENDIDA	Menos de 5 km	12
15196	CHAPA DE MOTA	01/08/1974	30/09/1993	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	13
15208	POZO CUATRO	01/02/1976	28/02/1987	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	11
15217	SAN JUAN ACAZUCHITLAN	01/09/1975	31/07/2012	OPERANDO	Menos de 5 km	34
15225	JILOTEPEC	01/08/1976	31/03/2012	OPERANDO	Menos de 20 km	33
15239	SAN ANTONIO TROJES	01/12/1976	29/02/2012	OPERANDO	Menos de 20 km	27
15243	PRESA JUANACATLAN	01/09/1978	31/12/2000	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	20
15244	MUYTEJE	01/01/1978	31/12/2013	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	34
15251	ATLACOMULCO II (DGE)	01/01/1978	31/05/2013	OPERANDO	Menos de 20 km	34
15260	SAN LUCAS TOTOLMALOYA	01/01/1979	30/06/2012	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	32
15261	EL JAZMIN	01/09/1978	31/03/2012	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	31
15273	PRESA DADO	01/01/1981	30/06/2012	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	25
15277	SAN MIGUEL TENOCHTITLAN	01/01/1981	31/12/1983	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	3
15278	SANTIAGO ACUTZILAPAN	01/03/1980	31/01/1987	SUSPENDIDA	Menos de 10 km	6
15279	SANTIAGO COACHOCHITLAN	01/02/1981	30/11/1993	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	10
15310	SAN PEDRO EL ALTO	01/02/1982	30/11/1989	SUSPENDIDA	Menos de 10 km	7
15311	CALPULALPAN	01/02/1979	31/03/1989	SUSPENDIDA	Dentro de la Cuenca	7
15314	LA ALMENDRA	01/10/1981	31/08/1994	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	9
15317	SAN JOSE EPIFANIA	01/10/1981	31/07/2012	OPERANDO	Menos de 20 km	28

Clave	Nombre	Inicio	Fin	Situación	Ubicación	Años
15333	EL PALMITO	01/10/1981	31/03/2012	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	32
15341	SAN ANTONIO NIXINI	01/01/1982	31/12/2010	OPERANDO	Menos de 20 km	29
15344	SAN MATEO EL VIEJO	01/03/1982	31/12/1987	SUSPENDIDA	Menos de 10 km	6
15355	DOSHTAJE	01/10/1982	30/11/1987	SUSPENDIDA	Menos de 5 km	5
15360	POZO SIETE	01/10/1981	31/01/1985	SUSPENDIDA	Menos de 10 km	3
15361	POZO OCHO	01/02/1982	31/03/2012	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	23
15376	SAN JOSE IXTAPA	01/06/1984	31/12/1994	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	11
15390	E. T. A. 013 JOCOTITLAN	01/01/1986	31/03/2012	OPERANDO	Menos de 20 km	27
15394	MONTE DE PEÑA	01/11/1983	30/06/2013	OPERANDO	Menos de 20 km	22
MICHOACAN DE OCAMPO						
16124	TEMASCALES	01/06/1943	30/06/2013	OPERANDO	Menos de 10 km	69
16129	TEPUXTEPEC	01/02/1947	31/08/2001	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	49
16175	TEPUXTEPEC (CFE)	01/02/1969	31/10/2002	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	31
16233	EPITACIO HUERTA	01/07/1982	31/07/2014	OPERANDO	Menos de 20 km	26
QUERETARO						
22001	AMEALCO	01/03/1944	31/10/2011	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	55
22003	CAMPO EXPERIMENTAL CADEREYTA	01/01/1961	30/09/2012	OPERANDO	Menos de 5 km	33
22004	EL BATAN	01/06/1965	31/03/2012	OPERANDO	Menos de 20 km	45
22006	EL PUEBLITO	01/01/1961	30/06/2011	OPERANDO	Menos de 20 km	43
22009	LA PALMA	01/03/1949	31/12/1993	SUSPENDIDA	Dentro de la Cuenca	40
22011	PEDRO ESCOBEDO	01/08/1942	31/08/1975	SUSPENDIDA	Dentro de la Cuenca	33
22013	QUERETARO (OBS)	01/01/1981	31/12/2010	OPERANDO	Menos de 20 km	0
22015	SAN JUAN DEL RIO (SMN)	01/01/1922	31/12/1980	SUSPENDIDA	Dentro de la Cuenca	33
22017	TOLIMAN	01/06/1925	31/01/2007	OPERANDO	Menos de 20 km	67
22018	VILLA CORREGIDORA	01/03/1944	31/10/1969	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	21
22021	CADEREYTA DE MONTES	01/08/1963	30/09/2005	OPERANDO	Menos de 5 km	22
22022	SAN JUAN DEL RIO (DGE)	01/02/1973	31/10/2013	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	36
22025	PRESA CENTENARIO	01/01/1951	30/11/2006	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	55
22026	COLON	01/01/1973	31/12/2006	OPERANDO	Menos de 10 km	29
22028	GALINDO	01/02/1973	31/05/2012	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	23
22029	HUIMILPAN	01/01/1973	31/01/2010	OPERANDO	Menos de 5 km	36
22030	PALMILLAS	01/02/1973	31/10/1991	SUSPENDIDA	Dentro de la Cuenca	18
22031	PRESA PASO DE TABLAS	01/01/1973	31/12/2006	OPERANDO	Menos de 5 km	34
22032	PRESA CONSTITUCION	01/02/1973	29/02/1992	SUSPENDIDA	Dentro de la Cuenca	18
22033	SAN PABLO	01/01/1973	31/08/2006	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	33
22034	VILLA BERNAL	01/01/1973	31/12/2006	OPERANDO	Menos de 5 km	28

Clave	Nombre	Inicio	Fin	Situación	Ubicación	Años
22035	VIZARRON	01/01/1973	31/05/2007	OPERANDO	Menos de 20 km	34
22037	EL RINCON	01/11/1974	31/03/1978	SUSPENDIDA	Dentro de la Cuenca	1
22038	E.T.A. 317 TOLIMAN	01/06/1974	31/12/1983	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	9
22040	E.T.A. 210 PEDRO ESCOBEDO	01/04/1975	31/10/1977	SUSPENDIDA	Dentro de la Cuenca	3
22042	LA LLAVE	01/08/1977	31/12/2006	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	28
22043	COYOTILLOS	01/07/1980	31/07/2003	SUSPENDIDA	Menos de 10 km	15
22044	GALINDILLO	01/07/1980	28/02/1987	SUSPENDIDA	Dentro de la Cuenca	6
22046	NOGALES	01/02/1980	31/12/2005	OPERANDO	Menos de 10 km	22
22047	PRESA EL CAPULIN	01/07/1980	31/07/2011	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	29
22050	CEJA DE BRAVO	01/09/1981	31/08/2011	OPERANDO	Menos de 20 km	23
22052	EZEQUIEL MONTES	01/05/1981	30/04/1986	SUSPENDIDA	Dentro de la Cuenca	3
22053	EL GALLO	01/08/1981	30/11/1985	SUSPENDIDA	Dentro de la Cuenca	3
22054	EL SALITRE	01/09/1981	30/09/2012	OPERANDO	Menos de 20 km	27
22058	SANTA TERESA	01/01/1982	31/12/2006	OPERANDO	Menos de 5 km	25
22059	SAN JUAN (CFE)	01/01/1983	31/10/1993	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	9
22063	QUERETARO (DGE)	01/06/1982	29/02/2012	OPERANDO	Menos de 20 km	16
22067	LA VENTA	01/06/1984	28/02/2007	OPERANDO	Dentro de la Cuenca	18
22068	LA SOLEDAD	01/06/1989	30/04/2007	OPERANDO	Menos de 20 km	16
22069	PATHE (CFE)	01/01/1961	31/10/1970	SUSPENDIDA	Menos de 20 km	10
22070	PLANTEL 7	01/04/1996	30/09/2011	OPERANDO	Menos de 20 km	14

**Se refiere al promedio de años con información en los meses de junio a septiembre, meses con la mayor precipitación.

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 17 estaciones, las cuales todas están fuera de la cuenca a una distancia menor a 20 km.

De las 17 EMAs, 5 son operadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 4 por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y 8 por la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR) de la Conagua.

La información que contienen las EMAs operadas por el INIFAP no es suficiente para caracterizar las tormentas, por lo cual solo se utilizaron EMAs operadas por el SMN.

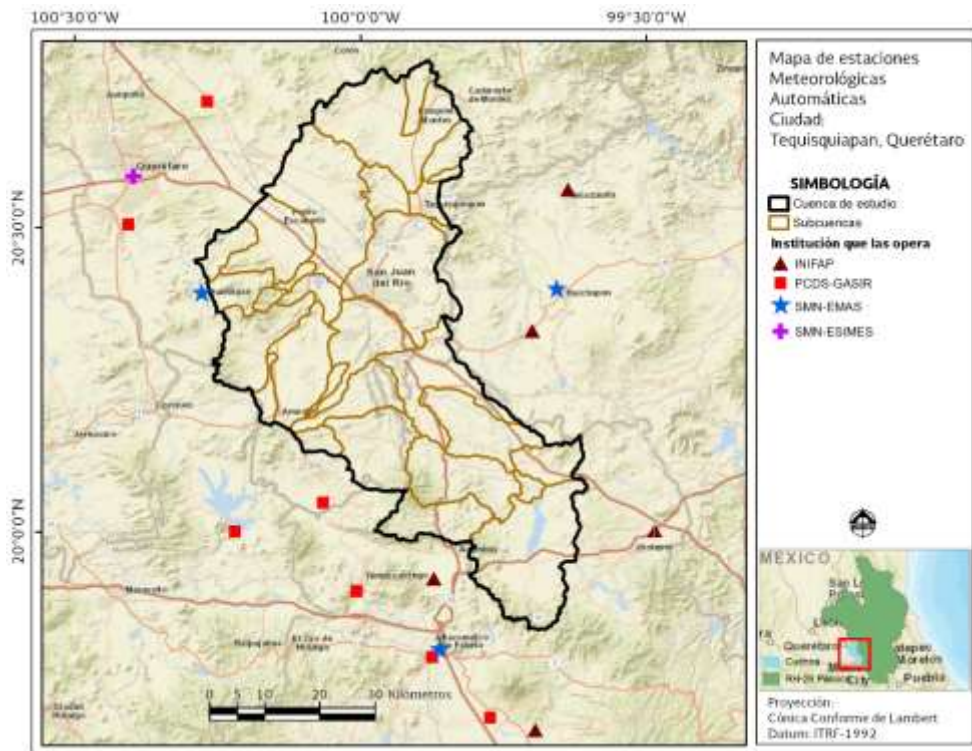


Figura 3.16 Estaciones Meteorológicas Automáticas dentro y cerca de la cuenca de aportación

Tabla 3.11 Estaciones Meteorológicas Automáticas dentro y cerca de la cuenca de aportación

Nombre	Datos	Dependencia
Atlacomulco	01/03/2000	SMN-EMAS
S/N	2006	PCDS-GASIR
José Fabela	2004	PCDS-GASIR
La Laguna	2008-05-09 00:00:00	INIFAP
San Antonio	2050-01-01 00:00:00	INIFAP
Temazcalcingo	2006	PCDS-GASIR
Tiacaque	2007-09-19 00:00:00	INIFAP
Huichapan	2006-08-03 00:00:00	INIFAP
Tecoautla	2006-02-09 00:00:00	INIFAP
Huichiapan	30/12/2003	SMN-EMAS
Temascales	2004	PCDS-GASIR
Tepuxtepec	2004	PCDS-GASIR
Amazcala	2006	PCDS-GASIR
Huimilpan	29/02/2000	SMN-EMAS
Mezquititlán	2004	PCDS-GASIR
El Batán	2004	PCDS-GASIR
Querétaro		SMN-ESIMES

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

De las estaciones climatológicas mostradas en la tabla 3.10 se seleccionaron 63 estaciones las cuales tienen al menos 20 años de información y actualmente están operando. De las 63 estaciones seleccionadas 21 están dentro de la cuenca, 10 a menos de 5 km de distancia de la cuenca, 8 estaciones entre 5 y 10 km y 24 estaciones entre 10 y 20 km.

Con las estaciones seleccionadas se determinó un GRID (con celdas de 50m) para mostrar la variación de la precipitación media anual y máxima registrada en 24 horas.

La precipitación media anual en la cuenca varía entre los 396 y los 956 mm, siendo la precipitación promedio en la cuenca de 642.35 mm. La precipitación media anual en la cuenca es mayor en la parte centro de la misma, mientras que decrece en dirección norte y sur.

La precipitación máxima registrada en 24 horas oscila entre los 80 y 276 mm. La precipitación máxima en 24 horas va creciendo en el sentido de Norte a Sur.

En la localidad de Tequisquiapan la precipitación media anual (de acuerdo con la estación climatológica 22022) es de 501.8 mm, siendo de junio a septiembre los meses con mayor precipitación.

Tabla 3.12 Precipitación media mensual y anual en la localidad de Tequisquiapan

Mes	Precipitación (mm)	% respecto a la anual
Enero	10.8	2.2
Febrero	12.5	2.5
Marzo	7.6	1.5
Abril	17.0	3.4
Mayo	35.4	7.1
Junio	82.0	16.3
Julio	106.3	21.2
Agosto	90.7	18.1
Septiembre	82.8	16.5
Octubre	43.4	8.6
Noviembre	8.1	1.6
Diciembre	5.0	1.0
Anual	501.8	100.0

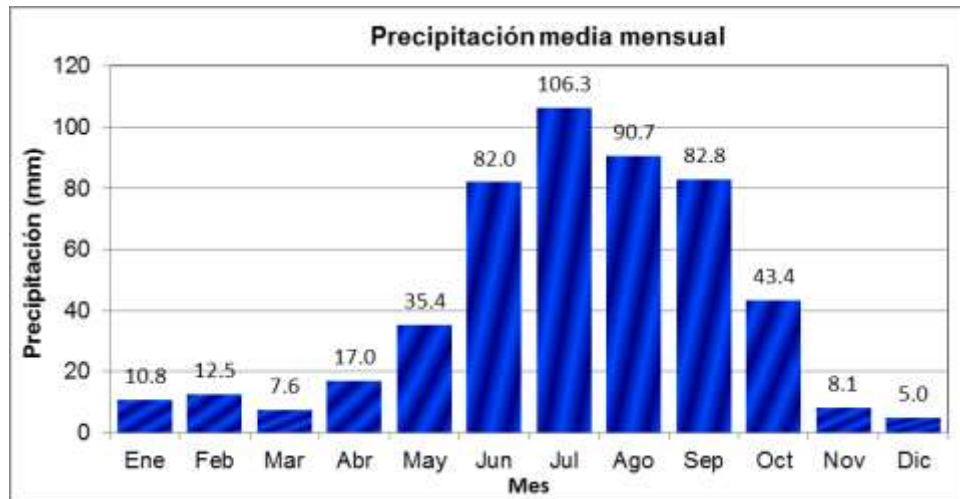


Figura 3.17 Precipitación media mensual y anual en la localidad de Tequisquiapan

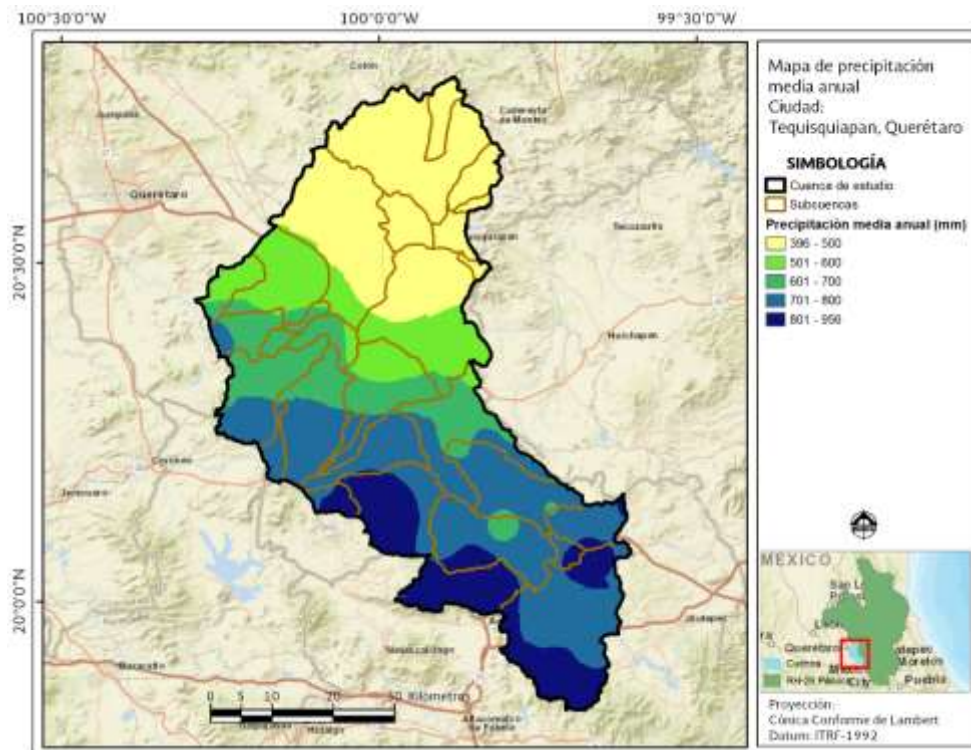


Figura 3.18 Variación de la precipitación media anual (mm) en la cuenca de aportación

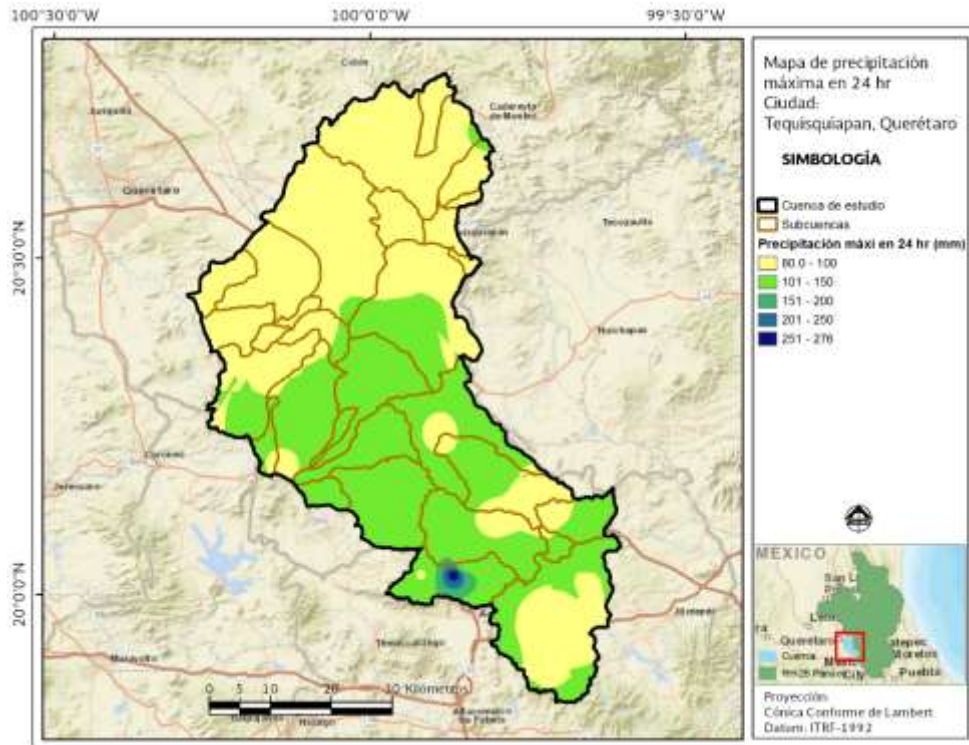


Figura 3.19 Variación de la precipitación máxima registrada en 24 horas

3.3.7. Escurrimientos

Como se mencionó en el subcapítulo 3.3.2 los arroyos Los desmontes y la Cantera pasan por la zona urbana de Tequisquiapan, posteriormente estos llegan al Río San Juan, el cual también pasa por la zona urbana.

El río San Juan es el que tiene la mayor aportación del escurrimiento a la localidad. Es uno de los principales tributarios del río Moctezuma, se origina en la confluencia de los ríos Arroyo zarco y Prieto efectuada a 1.2 Km al noroeste de la población de Toscoa, municipio de San Juan del Río, estado de Querétaro. Sigue una dirección norte, cruza el valle de San Juan del Río, pasa por Tequisquiapan donde aumenta su caudal con las aportaciones de los manantiales de esta zona, y cambia su dirección hacia el noreste hasta su unión con el río Tula en la barranca del Infiernillo, para formar el río Moctezuma.

Desde su nacimiento hasta Tequisquiapan el río corre por un terreno sensiblemente plano aproximadamente 45 kilómetros, luego su curso cambia hacia el noreste por un terreno bastante accidentado y corre encajonado por los cerros del Capulín, Sombrerete, Cando, Charcón, Colorado y Mesa de León, 55 kilómetros hasta su confluencia con el río Tula en la barranca del Infiernillo. En esta zona el río San Juan aumenta considerablemente su caudal debido a los múltiples escurrimientos de los cerros mencionados y de los excedentes de la presa Paso de Tablas, situada a diez kilómetros aguas abajo de la presa Centenario. A lo largo del recorrido total del río San Juan, que es aproximadamente de 100 kilómetros, recibe aportaciones de numerosos arroyos y baña las poblaciones de San Juan del Río, Tequisquiapan, Las Rosas, El Chilar y Aljiber.

Estaciones hidrométricas

Dentro de la cuenca de aportación se localizan 21 estaciones hidrométricas, de las cuales tres se ubican en el estado de México y 18 en el estado de Querétaro.

De las 21 estaciones hidrométricas 7 miden flujo controlado, ya sea que se ubiquen aguas abajo de una presa o bien en un túnel o canal.

Tabla 3.13 Estaciones hidrométricas dentro de la cuenca

Clave	Nombre	Cuenca	Corriente	Estado	Periodo con datos
26020	Taxhie	Río San Juan	Arroyo Zarco	México	1936-1985,1995-2011
26022	Paso de Tablas	Río Moctezuma	Río San Juan	Querétaro	1947-1985,1988-1994,1996,2000-2011
26096	Presa Hidalgo	Río San Juan	Río Caracol	Querétaro	1936-1967
26099	Lomo de Toro	Río San Juan	Canal Principal	Querétaro	1936-1944
26101	Lomo de Toro	Río San Juan	Canal Margen Derecha	Querétaro	1936-1975,1977-1978
26150	El Sauz	Río Caracol	Arroyo de La D	Querétaro	1942-1948
26151	Tequisquiapan	Río Moctezuma	Río San Juan	Querétaro	1942-1985,1987-1994,2000-2011
26162	Galindo	Río San Juan	Río Galindo	Querétaro	1943-1970
26163	La H	Río Caracol	Río de La H	Querétaro	1943-1969
26164	Presa Hidalgo	Río Caracol	Canal Margen Derecha	Querétaro	1936-1964
26170	S/N	S/D	S/D	México	1943-1970
26171	San Ildefonso Extracciones	Río Prieto	Salidas Totales	Querétaro	1943-1985,1987-1992
26172	Pedro Escobedo	Río San Juan	Arroyo Seco	Querétaro	1943-1948
26180	San Juan	Río Moctezuma	Río San Juan	Querétaro	1944-1991
26201	Km. 0+700	Río San Juan	Canal Principal	Querétaro	1944-1985,1987-1994,1996-2011
26205	Paso de Tablas	Río San Juan	Canal Margen Derecha	Querétaro	1947-1978,1980-1985,1987-1994,1996-2011
26262	San José	Río San Juan	Canal Alimentador Constitución 1857	Querétaro	1969-1985,1987-1994,1996-2011
26414	Salidas Presa Constitución 1917	Río Caracol	Canal Principal	Querétaro	1972-1992,1997,1999-2011
26417	Galindo II	Río Caracol	Río Galindo	Querétaro	1973-1993,1996,1999-2002,2011
26434	La Concepción	Río Prieto	Río Aculco	México	1971-1985,1987-1992,1995-20011
26435	La H II	Río Caracol	Río de La H	Querétaro	1973-1993,1996,1999-2002,2011

La estación 26022 “Paso de Tablas” se ubica inmediatamente aguas abajo de la cuenca, por lo cual esta se utilizará para calibrar en modelo hidrológico, así como el modelo hidráulico.

En la estación mencionada el escurrimiento medio anual (periodo 1947 a 2011) es de 40.98 millones de metros cúbicos. Por otra parte, el gasto máximo anual instantáneo registrado es de 546 m³/s. Los meses con mayor escurrimiento son de julio a octubre.

Tabla 3.14 Esguurrimiento medio mensual y gasto máximo instantáneo en la estación hidrométrica 26022

Mes	Esguurrimiento (Mm3)	Gasto máximo instantáneo (m ³ /s)
Enero	0.047	0.9
Febrero	0.035	1.2
Marzo	0.036	0.7
Abril	0.029	0.6
Mayo	0.090	2.1
Junio	0.425	23.8
Julio	7.651	132.0
Agosto	13.809	210.4
Septiembre	11.620	546.0
Octubre	6.932	332.5
Noviembre	0.209	12.9
Diciembre	0.097	5.2
Anual	40.979	546.0

3.4. Descripción de inundaciones históricas relevantes

Desde el punto de vista hídrico, Querétaro es una entidad de vulnerabilidad baja a eventos hidrometeorológicos extremos. Sus condiciones semidesérticas determinan temperaturas extremas y bajas precipitaciones por lo cual tiene grandes limitaciones en cuanto a recursos hídricos. No obstante, se encuentra expuesta a condiciones de precipitaciones por ambos litorales, aunado a tormentas invernales, frentes fríos, ventiscas y nevadas.

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

Tabla 3.15. Ciclones que han impactado al estado de Querétaro

Nº	Fenómeno Hidrometeorológico	Año
1	Erika	2003
2	Dean	2007
3	Alex	2010

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

Las inundaciones que se presentan con mayor frecuencia son las de tipo fluvial, debido a la existencia de varios ríos de importancia que, al no tener la suficiente capacidad de conducción ante las avenidas extraordinarias, terminan desbordándose, causando graves problemas en las zonas cercanas a su cauce. Este problema se hace mayor, al tomar en cuenta la gran cantidad de localidades que se encuentran localizadas en las cercanías de estos ríos. Además de las inundaciones de tipo fluvial, las de tipo pluvial también suelen presentarse con cierta frecuencia en la región, sobretodo en localidades urbanas donde el drenaje es insuficiente.

De acuerdo a fuentes hemerográficas, la zona urbana de Tequisquiapan ha registrado diversos casos de inundaciones en los años 2008, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015. En 2008, tras una fuerte lluvia, el desbordamiento de la presa Centenario provocó la inundación de varias colonias. En 2011, las lluvias provocaron el colapso del drenaje, provocando inundaciones en varias viviendas del municipio. Las inundaciones de 2012 se suscitaron después de una lluvia torrencial que afectó a más de 40 familias en la comunidad de La Fuente en el municipio de Tequisquiapan, dejando además afectaciones a algunas de las principales calles y a la infraestructura de drenaje. En 2013 los informes oficiales reportan que el agua anegó al menos 90 viviendas de las localidades de Bordo Blanco, San Nicolás, y en las colonias Adolfo López Mateos y Centro, pertenecientes al municipio de Tequisquiapan, lo que terminó por dañar muebles, enseres y demás pertenencias de aproximadamente 240 pobladores. Finalmente, en 2014 y 2015 las inundaciones causaron estragos en el municipio de Tequisquiapan, en la zona del centro y en las principales avenidas y calles de la ciudad.

3.5. Obras de protección contra inundaciones y acciones no estructurales existentes

Acciones estructurales

Dentro de la cuenca de aportación se localizan 43 presas, de las cuales 37 están en el estado de Querétaro y 6 en el estado de México.

Las 5 presas con mayor almacenamiento al Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO) se usan para riego y 3 se ubican en el estado de México y son: la “Huapango” con un volumen de 119 Hm³, “San Ildefonso” con 52.7 Hm³ y la presa “Ñadó” CON 16.80 Hm³.

Las dos presas con mayor volumen de almacenamiento del estado de Querétaro son “Constitución de 1917” con un volumen de 65 Hm³ y “La llave” con 10.0 Hm³.

Los escurrimientos que se generan en la subcuenca que aporta directamente a la localidad de Tequisquiapan está regulada inmediatamente aguas arriba de la zona urbana por las presas El Centenario (sobre el río San Juan) y la Peñuela (sobre el Arroyo la Cantera). Por lo que es muy importante considerar estas dos presas en el análisis hidrológico e hidráulico.

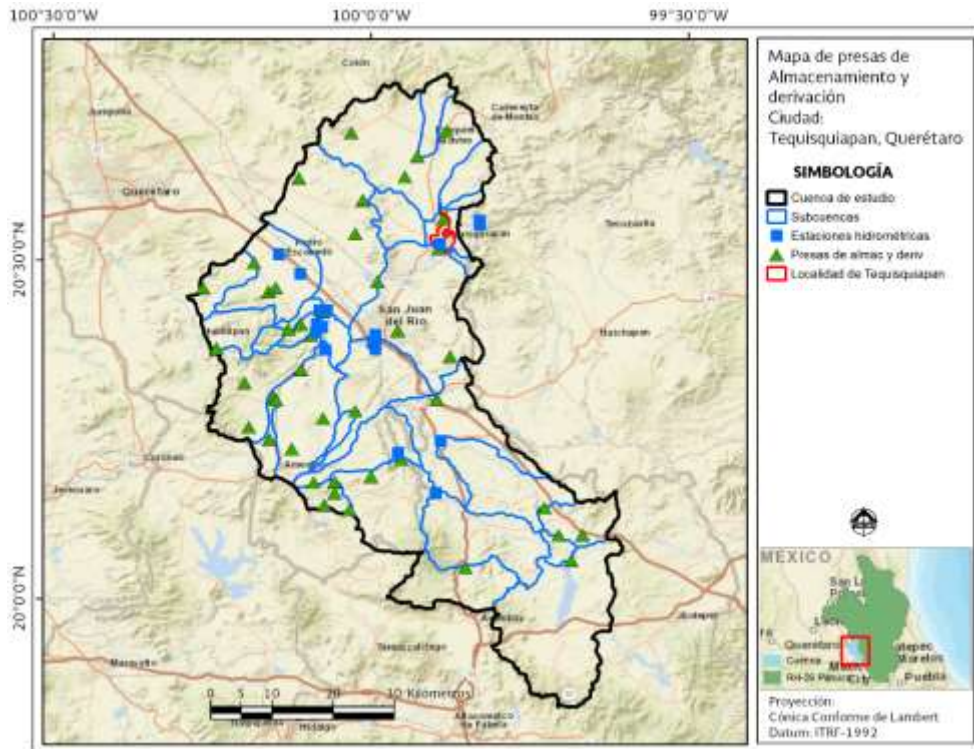


Figura 3.20 Estaciones hidrométricas y presas dentro de la cuenca de aportación

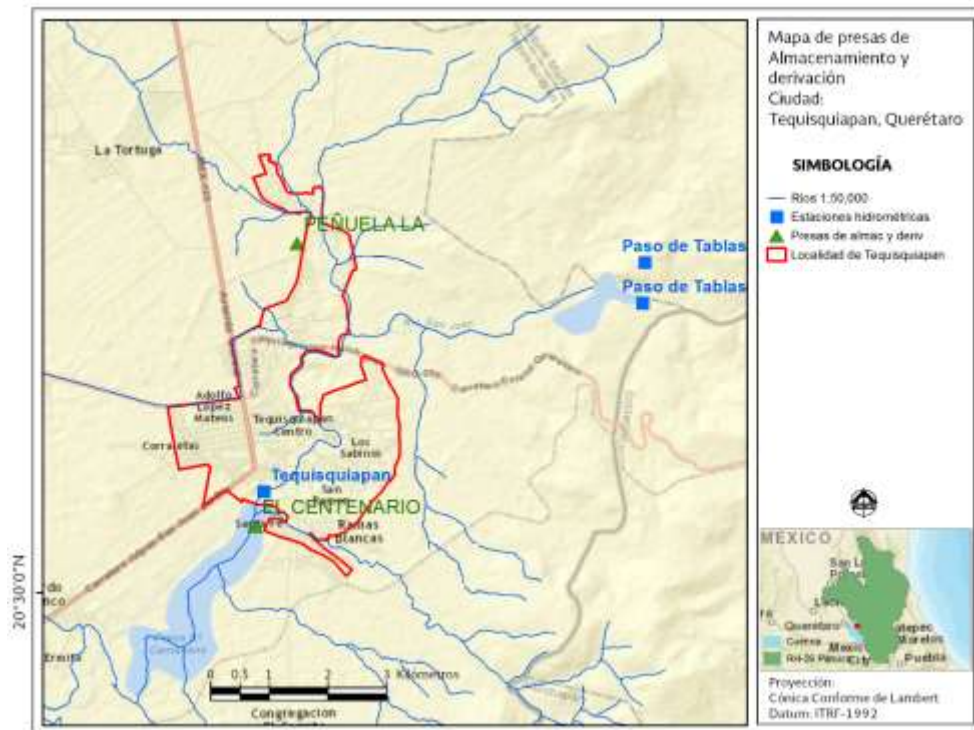


Figura 3.21 Presas y estaciones hidrométricas dentro y cerca de la localidad de Tequisquiapan

Tabla 3.16 Presas de almacenamiento y derivación

Nombre oficial	Nombre común	Usos	Almacenamiento al NAMO HM ³
ESTADO DE MÉXICO			
El Colegio		Riego	0.41
Huapango		Riego	119.00
El Molino	Arroyo Zarco	Riego	9.20
Ñadó	Ñadó	Riego	16.80
San Antonio		Riego	2.50
San Ildefonso	El Tepozán	Riego	52.70
ESTADO DE QUERÉTARO			
Solis II		Riego	S/D
Animas De Abajo	Animas De Abajo		S/D
Apartadero El	Apartadero El		S/D
Bordo El Cuate	Bordo Lagunillas		S/D
Calmito El	Rincón El		S/D
Camino El	Camino El		S/D
Corazón de María o Capulín	Capulín del Batán	Riego	2.00
El Capulín de Amealco	San Pedro Tenango		5.38
La Victoria	La Victoria	Público Urbano, Riego	5.00
Engaño El	Engaño El		S/D
El Centenario	El Centenario	Riego	9.00
Constitución De 1917	Presa Hidalgo	Riego	65.00
El Coto	El Coto	Riego	1.30
Estacada La	Estacada La		S/D
Bordo Grande	Sauz El		S/D
La Llave	Divino Redentor	Riego	1S/D
Agua Blanca	Agua Blanca		S/D
Banthe	Banthe	Control de Avenidas	0.42
Panales	Panales		S/D
Paso De Lajas	Galindillo	Riego	0.50
Peñuela La	Peñuela La		S/D
Carrizal El	Carrizal El		S/D
Bordo El Rayo	Bordo El Rayo	Riego	0.30
Puerta de Alegrías	El Rayo	Riego	1.00
Sagrado Corazón	El Tepozán	Riego	0.80
San Antonio	San Antonio		S/D
Estancia La	San Carlos		S/D
San Felipe	Derivadora San Felipe	Riego	S/D
San Gilberto	San Gilberto	Riego	0.95
Santillán	Santillán		S/D
Tagui El	Tagui El		S/D
Bocas Las	Bocas Las	Riego	S/D
Quiotillos	Quiotillos	Riego	S/D
Joya La	Joya La		S/D
La Venta	La Venta	Riego	2.50
Vigas Las	Vigas Las	Riego	S/D
Yaqui El	Machorra La		S/D

Acciones no estructurales

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

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

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

En la zona urbana de Tequisquiapan, se han implementado diversas acciones que caen dentro del rubro “no estructurales”, y que de alguna manera pueden impactar en lo relativo a las inundaciones.

En febrero de 2014 se llevó a cabo una jornada ciudadana del programa “Amo y transformo a mi pueblo”, salvemos al río San Juan, y se anunció vigilancia permanente para evitar la contaminación del cauce en su zona urbana. En esta iniciativa participaron mil 200 personas integrantes de organizaciones civiles, sociedad en general de las diversas comunidades del municipio, alumnos y maestros de escuelas públicas y privadas, integrantes de los consejos de participación ciudadana, autoridades auxiliares, legisladores locales, dependencias federales y funcionales de la administración municipal.

En esa oportunidad se hizo limpieza de 3 mil metros lineales del cauce del río, en ambas laderas— se crearon equipos de trabajo de al menos 10 personas que tuvieron a su cargo el desmonte y levantado de basura de un tramo. No obstante, el presidente municipal anunció que sería una tarea permanente.

En 2015, Tequisquiapan se convirtió en el primer municipio de la entidad que cuenta con una Secretaría de Ecología, desde donde se busca impulsar el desarrollo sustentable de los recursos naturales. En el mes de junio, en 4 comunidades de Tequisquiapan que son consideradas como focos rojos en temporada de lluvias por encontrarse ubicadas en zonas de riesgo para sus habitantes por las condiciones geográficas del terreno y porque se encuentran en el cauce de escurrimientos de agua de las precipitaciones pluviales, Protección Civil realizó trabajos de limpieza con vecinos de las zonas para evitar taponamientos en los drenajes e inundaciones que pudieran causar alguna eventualidad.

De igual forma se anunciaron medidas de prevención para que la ciudadanía tenga conocimiento de cómo debe actuar si llegara a presentarse una inundación en las principales zonas vulnerables ante las lluvias que son: Hacienda Grande, Fuentezuelas, Tejocote y Bordo Blanco, colonia Santa Fe y Adolfo López Mateos, así como los asentamientos irregulares que están dentro de estas áreas de riesgo.

De igual forma, en octubre del presente año se arrancó el programa de 'Sábados Verdes' en el municipio de Tequisquiapan, con la participación del ayuntamiento y el Comité Estatal del Partido Verde Ecologista de México (PVEM). Campañas de reforestación en diferentes puntos del municipio, forman parte de este programa.

Otro programa de corte ambiental que se encontró fue el llamado 'Jóvenes por un Tequis Sustentable', encabezado por el Instituto Municipal de la Juventud, en coordinación con el Centro de Estudios Tecnológico Industrial y de Servicios (CETIS) 142, que además de la reforestación misma, se incluyen pláticas de sensibilización sobre el cuidado del medio ambiente y trabajos para la implementación de viveros, en donde también interviene la Coordinación de Ecología del Municipio.

3.6. Identificación de actividades actuales en las planicies de inundación

La zona urbana de Tequisquiapan está catalogada como un pueblo mágico, por lo que la actividad turística es la base de su economía. Antaño, los abundantes manantiales de agua termal, limpia, cristalina, atrajeron el turismo regional; ahora habiéndose deteriorado éstos, el agua del subsuelo es bombeada para llenar las albercas de los hoteles y las casas que conservan los baños que se llenaban en forma natural.

La industria manufacturera se desarrolla a través de los tradicionales talleres artesanales y pequeñas fábricas de muebles de pino y rattán, así como de hornos para la producción de tabique. Existen además maquiladoras textiles.

A nivel municipal, después del turismo, la agricultura es una la actividad más importante. Los cultivos predominantes en la región son: maíz, frijol, sorgo, alfalfa, chile, tomate y jitomate. En Tequisquiapan se ubican ganaderías donde se cría el toro de lidia, pero actualmente el municipio no se caracteriza por ser una zona ganadera. Sin embargo, dentro del territorio municipal se cuenta con explotaciones intensivas de ganado porcino, ovino y avicultura. En menor escala se tiene engorda de ganado bovino y la producción de miel y cera.

También se ha venido intensificando la piscicultura de manera significativa en los bordos que existen en las comunidades.

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).

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 3,404.078 km², se tienen operando 22 estaciones climatológicas convencionales (tabla 3.10) dentro de la cuenca, lo cual equivale a tener una estación cada 154.7 km², 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 Aguascalientes, y por lo tanto la zona urbana de Tequisquiapan, 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 Tequisquiapan.
- 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 Tequisquiapan,
- 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

De las acciones no estructurales relacionadas al problema de las inundaciones en la zona urbana de Tequisquiapan 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.

Acciones no estructurales

De las acciones no estructurales relacionadas al problema de las inundaciones en la zona urbana de Tequisquiapan 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 Tequisquiapan, 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
Bienes	% Viviendas particulares habitadas con algún nivel de hacinamiento
	% 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 Tequisquiapan presenta un mosaico heterogéneo de grados de marginación, pudiéndose distinguir con claridad una polarización socioeconómica. En la zona norte se presentan grados muy bajos, contrastando con un grupo de manzanas altamente marginadas. En el sector sur, destaca un agrupamiento de manzanas con baja marginación, rodeada de zonas medias y altas. No obstante, en la zona urbana predomina un grado medio de marginación, como se puede observar en la figura. Ello significa que existen condiciones medias en indicadores de distribución de la población, educación, ingresos por trabajo y vivienda, combinadas en un segundo lugar de predominio con situaciones desfavorables como insuficiencia de servicios, precariedad en el empleo, bajos niveles adquisitivos y deficientes condiciones de la vivienda, lo que, por ende, apuntaría a una mayor vulnerabilidad a las inundaciones.

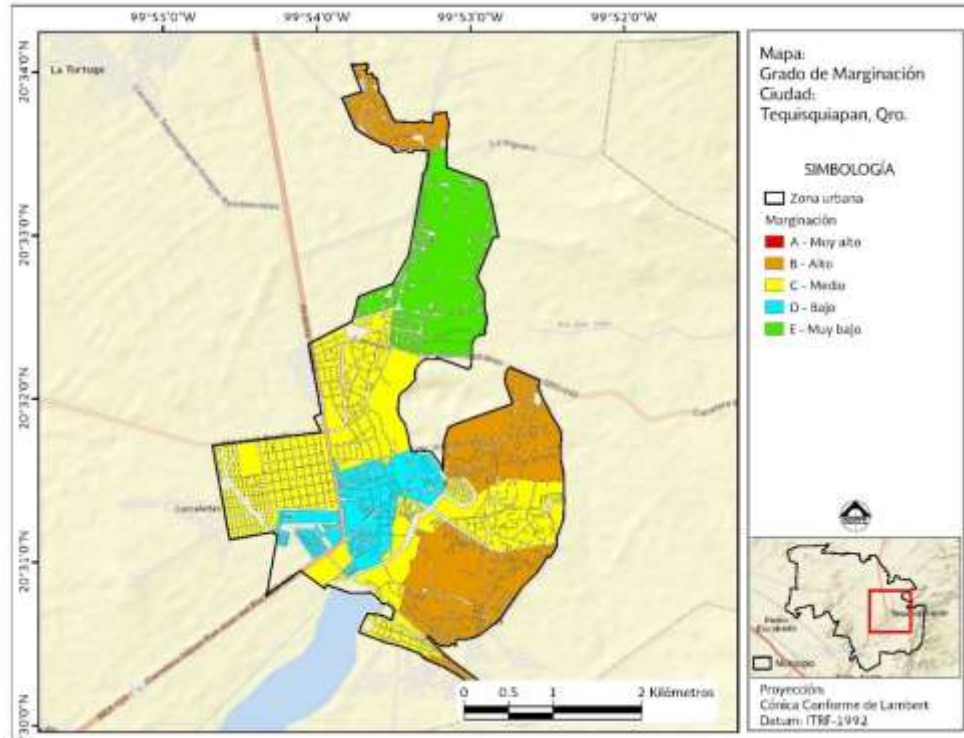


Figura 4.1 Marginación en la zona urbana de Tequisquiapan, Querétaro

Lo que muestran los datos estadísticos complementarios es la existencia de un 19.6% de población en condiciones propensas a la vulnerabilidad, particularmente ante la ocurrencia de eventos súbitos como las inundaciones, es decir, población infantil menor a 5 años (9.9%), adultos mayores de 65 años (6.3%) y población con problemas en la movilidad⁵ (3.4%). En otras palabras, en cada manzana urbana hay en promedio 9.6 adultos mayores y 5.5 con limitaciones físicas, principalmente⁶. En cuanto a la desocupación laboral, el promedio es de 2.1 personas por manzana en esta situación, lo que representa el 1.2% de la población total. Es importante que este dato sea considerado como un indicador que influye en el nivel de vida material de las personas, lo que puede favorecer o inhibir su vulnerabilidad.

Tabla 4.4 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Tequisquiapan, Querétaro

	Población total	Población menor a 5 años	Población mayor a 65 años	Población con limitación en la actividad	Población desocupada
Totales	29,799	2,974	1,886	1,041	367
Promedio	95.2	s/d	9.6	5.5	2.1
Porcentaje	100	9.9	6.3	3.4	1.2

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.

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

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

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

- La organización institucional sigue estando fragmentada y existe una instancia que atienda en su justa dimensión la complejidad y las diferentes dimensiones que conforman la ocurrencia de las inundaciones, es decir, no sólo lo técnico, sino la integralidad y transversalidad de estos fenómenos.
- Continúa existiendo una atención mayormente enfocada a las acciones de corte estructural, faltando una política que busque el balance entre las medidas estructurales y no estructurales para prevenir y atenuar el impacto de los fenómenos extremos.
- Se ha identificado, pero se ha hecho poco para solucionar la carencia de una unidad administrativa que vigile la aplicación de Ley de Aguas y las consecuencias coercitivas de su incumplimiento en cuanto a invasión de cauces y asentamientos en zonas de riesgo.
- Existen pendientes legales aún no resueltos como la imposibilidad de la aplicación de la ley en cuanto a la invasión de zonas federales por la inexistencia de denuncias. En otros casos, la propiedad federal no se puede comprobar a causa de documentos extraviados. Después de 10 años de permanencia en una zona invadida se da la prescripción positiva a favor del propietario.
- No se tiene un sistema institucional para elaborar un catálogo de proyectos y programas que atiendan los problemas de los fenómenos extremos de manera integral. El presupuesto para la atención de los problemas generados por la ocurrencia crónica de los fenómenos extremos en el país es limitado e insuficiente y una buena parte del presupuesto asignado se dedica a la reconstrucción de infraestructura dañada y atención de emergencias.
- Falta de coordinación en planes y programas en las dependencias gubernamentales.
- Falta de coordinación entre los actores que otorgan licencias de construcción en zonas de riesgo; duplicación de funciones y atribuciones, lo que se traduce en vacíos en la actuación y el fincamiento de responsabilidades.

- Los recursos económicos son insuficientes para la elaboración de estudios y la falta de comunicación entre instancias inhibe que los estudios puedan ser coordinados y complementarios.
- No hay un dimensionamiento del personal profesional y especializado que se requiere para atender los fenómenos extremos ni programas en curso que atiendan las carencias de personal calificado.

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

5. Evaluación de riesgos de inundación

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

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

5.1. Estimación de caudales y tormentas de entrada al sistema

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

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 las mismas y también señala la cobertura media en km² / estación.

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

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

Debido a que el tiempo de concentración de toda la cuenca es mayor a 24 horas y menor a 48 hr, es necesario calcular las precipitaciones máximas para 24 y 48 horas.

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

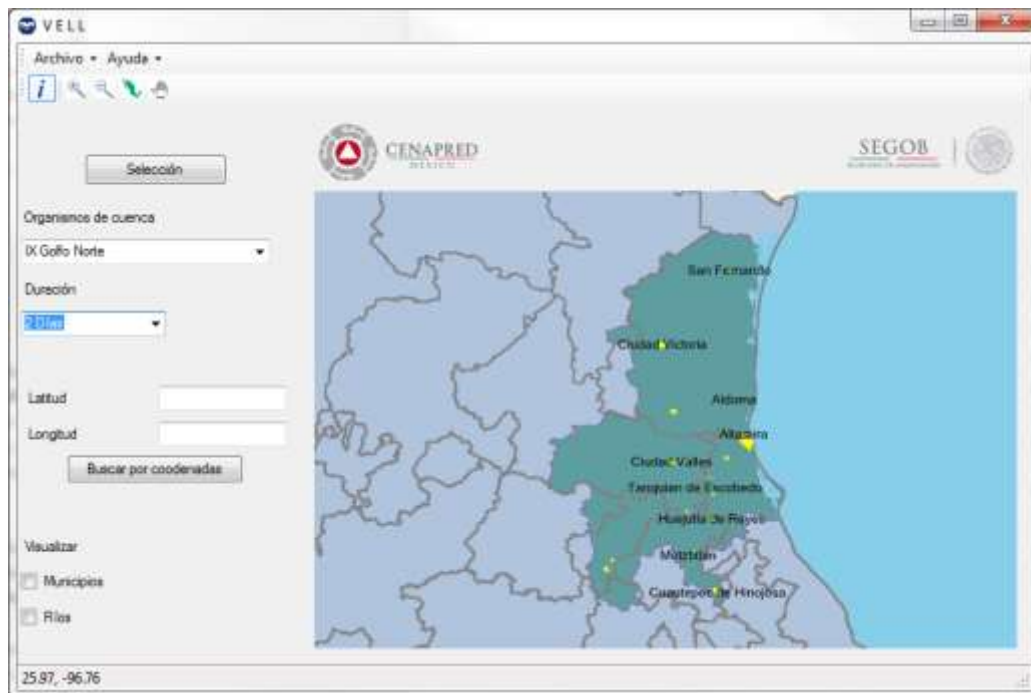


Figura 5.1 Pantalla del VELL para el cálculo de la precipitación

A continuación, se presenta el cálculo de la precipitación para 24 y 48 horas para la cuenca y subcuencas.

Tabla 5.2. Lluvia máxima considerando toda la cuenca para 24 y 48 horas para diferentes periodos de retorno

Periodo de retorno (años)	Precipitación en 24 horas (mm)	Precipitación en 48 horas (mm)
2	53.0	68.1
5	71.1	91.1
10	83.1	106.8
20	95.0	121.6
50	110.0	142.0
100	121.6	157.2

Tabla 5.3. Precipitación máxima (mm) en 24 y 48 horas en cada una de las subcuencas

Subcuenca	Duración (h)	Periodo de retorno (años)				
		2	5	10	50	100
1	24	53.2	71.1	82.6	108.5	119.5
	48	68.3	90.5	105.4	137.7	151.4
2	24	50.7	66.9	78.5	105.0	117.2
	48	66.4	86.9	101.3	135.3	150.2
3	24	55.7	71.0	81.1	103.2	112.8
	48	74.1	93.8	106.4	134.9	146.9
4	24	58.1	81.9	97.4	132.8	148.3
	48	73.6	103.2	124.6	176.7	201.0
5	24	59.5	79.7	92.7	121.9	134.4
	48	79.2	104.8	122.0	160.0	176.2
6	24	64.6	87.1	101.1	132.5	145.8
	48	86.5	114.0	132.4	172.2	188.9
7	24	53.4	71.6	84.2	112.9	125.9
	48	69.3	92.3	108.6	147.1	164.3
8	24	52.5	70.2	81.8	107.9	119.0
	48	66.9	89.0	104.1	137.2	151.4
9	24	53.8	71.2	82.6	108.2	119.1
	48	71.2	93.9	109.1	142.0	155.9
10	24	55.4	73.3	84.9	110.9	121.9
	48	72.6	95.4	110.6	143.3	157.0
11	24	52.5	70.3	81.8	107.7	118.8
	48	68.0	90.2	105.3	138.3	152.4
12	24	52.3	70.2	81.6	107.2	118.0
	48	68.0	90.0	104.7	136.7	150.2
13	24	52.8	70.8	82.4	108.7	119.8
	48	67.1	89.4	104.4	137.5	151.7
14	24	53.2	74.2	87.9	119.2	132.9
	48	67.5	93.9	112.8	158.1	179.1
15	24	51.1	70.7	83.1	111.1	123.2
	48	66.0	89.8	106.5	145.0	162.3
16	24	54.1	72.4	84.2	110.7	121.9
	48	68.7	91.1	106.1	138.8	152.6

Subcuenca	Duración (h)	Periodo de retorno (años)				
		2	5	10	50	100
17	24	53.4	72.5	85.0	113.2	125.3
	48	67.7	91.5	108.0	145.5	162.1
18	24	53.0	68.7	78.9	101.5	111.3
	48	70.4	90.0	102.9	132.1	144.4
19	24	60.4	78.4	89.9	115.3	126.4
	48	79.6	101.6	116.0	148.9	162.8
20	24	59.6	80.5	93.4	122.4	134.6
	48	77.2	101.8	118.3	153.6	168.4
21	24	56.1	75.3	87.4	114.5	126.0
	48	73.2	96.5	112.1	145.5	159.5
22	24	54.5	72.6	84.3	110.5	121.6
	48	71.8	94.9	110.3	143.5	157.5
23	24	46.5	62.4	72.3	94.6	104.0
	48	64.0	84.2	97.7	126.8	139.0
24	24	64.8	82.5	95.6	125.0	137.4
	48	84.3	110.8	128.5	166.8	182.9
25	24	54.0	71.8	83.5	109.7	120.8
	48	69.7	92.2	107.4	140.3	154.2
26	24	64.0	81.7	93.3	118.6	129.6
	48	83.5	105.7	120.0	152.2	165.8
27	24	57.8	76.1	88.3	115.6	127.2
	48	74.4	98.1	114.0	148.0	162.3
28	24	57.3	75.5	87.6	115.0	126.6
	48	75.3	99.4	115.6	150.9	165.8
29	24	49.7	66.3	77.1	101.2	111.4
	48	64.5	85.4	99.4	129.7	142.5
30	24	50.4	67.4	78.5	103.4	114.0
	48	64.8	86.2	100.7	132.4	146.0

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 3 Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs) las cuales están fuera pero cerca de la cuenca, las EMAS son: Atlacomulco localizada en el estado de México y al Sur de la cuenca; Huichapan localizada en el estado de Hidalgo y al este de la cuenca; y Huimilpan (localizada en el estado de Querétaro al oeste de la cuenca. Además de estas estaciones existen otras fuera pero cerca de la cuenca que son administradas por el

INIFAP, sin embargo, tienen poca información y la calidad de la misma no es totalmente confiable.

Tabla 5.4. Resumen de las EMAs analizadas

Variable	EMA Atlacomulco	EMA Huichapan	EMA Huimilpan
Periodo de registro	Marzo 2000 a Julio 2015	Enero 2004 a julio de 2015	Febrero de 2000 a julio de 2015
Número de tormentas analizadas	45 tormentas analizadas de las cuales se descartó 9	21 tormentas analizadas de las cuales se descartaron 6	51 tormentas analizadas de las cuales se descartaron 5
Precipitación máxima registrada en 24 horas	59.4 mm	75.5 mm	75.6

De las tormentas analizadas, mostradas en las siguientes gráficas, se obtuvo, para cada 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.

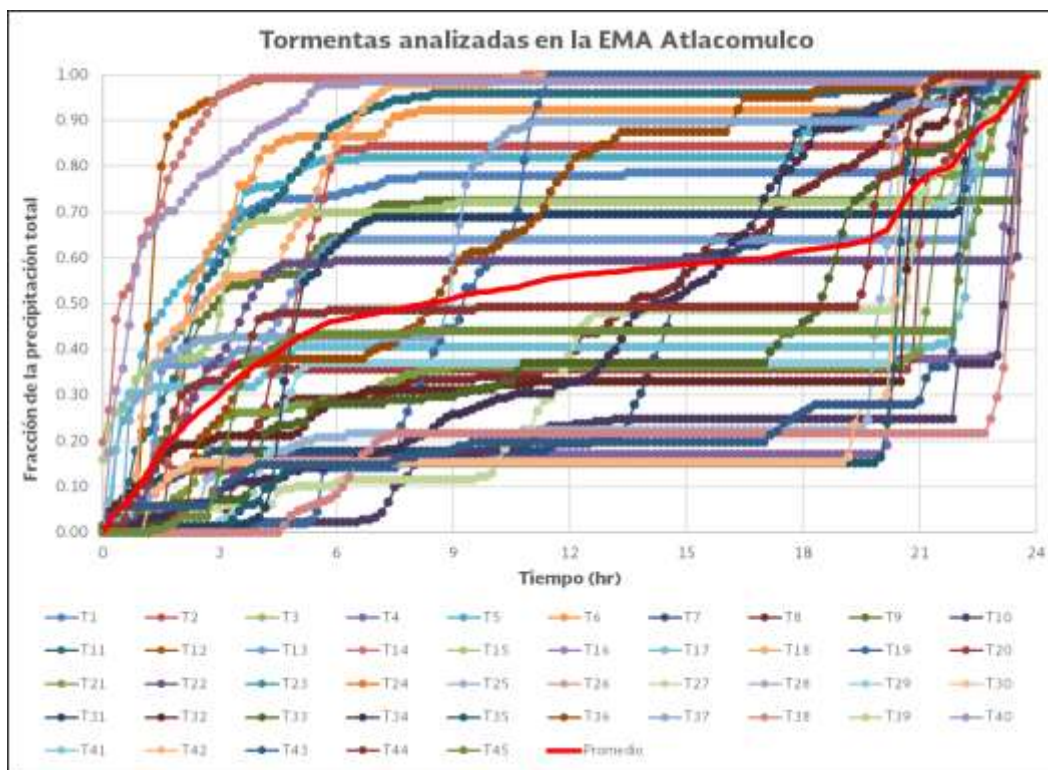


Figura 5.2. Patrón de distribución temporal de la lluvia en la EMA Atlacomulco

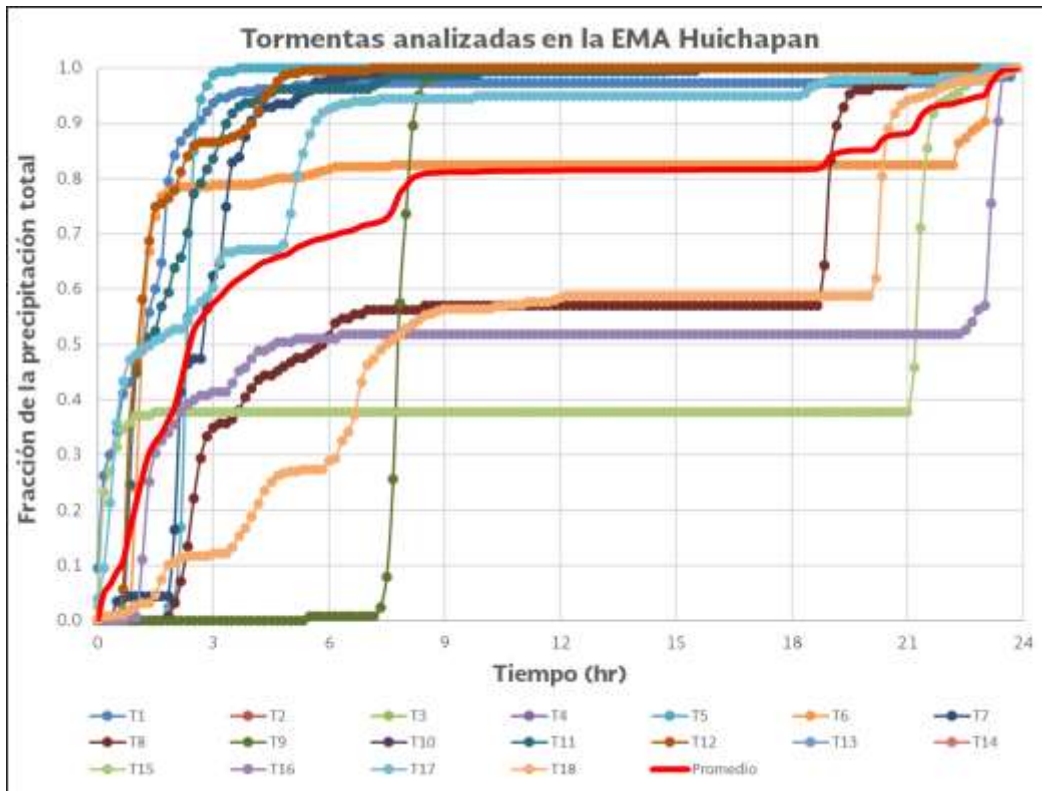


Figura 5.3. Patrón de distribución temporal de la lluvia en la EMA Huichapan

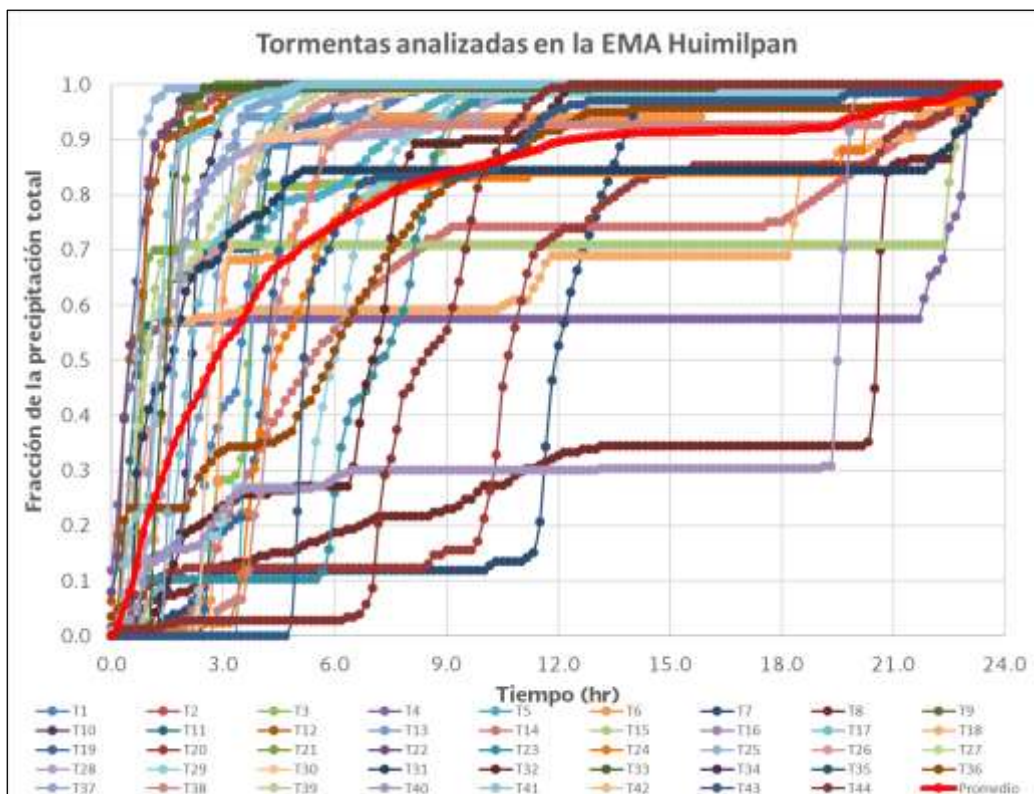


Figura 5.4. Patrón de distribución temporal de la lluvia en la EMA Huimilpan

5.1.3. Modelo lluvia-escurrecimiento

Debido a que sobre el río San Juan existe a la entrada de la zona urbana la presa El Centenario, la cual regula un gran porcentaje del escurrimiento generado en la cuenca (del orden del 96.5%).

Por lo anterior el modelo hidrológico que se construirá incluye solamente 7 subcuencas, las cuales se localizan aguas abajo de la presa El Centenario. Las subcuencas a utilizar son:

Tabla 5.5. Subcuencas que conforman el modelo lluvia-escurrecimiento

Subcuenca	Área (km ²)
29 Presa San Antonio	43.680
30 Presa La Peñuela	306.300
15 Arroyo Organal	50.105
14 Arroyo Los Desmontes	9.826
13 Localidad Fuentezuelas	59.560
16 Localidad Tequisquiapan	35.371
17 Tequisquiapan-Presa	9.801

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 7 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:

a) Cálculo de la precipitación efectiva (Loss Precipitation)

Para calcular la precipitación efectiva (para cada tormenta de diseño, es decir para los diferentes periodos de retorno) 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 subcapítulo 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.

P_e = Precipitación en efectiva o en exceso, en cm

N = Número de escurrimiento

b) 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 figura 5.5.

En la figura 5.5 qp es el gasto pico, q es el gasto para un tiempo t , t_p es el tiempo pico de cada subcuenca.

Para aplicar el hidrograma de la figura 5.5 anterior es necesario primeramente calcular el gasto máximo (qp) correspondiente a la precipitación efectiva (P_e), 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 5.5, 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) Cálculo de la duración en exceso (d_e)

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)

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

c) 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 figura 5.6 se presenta el modelo hidrológico construido en el HEC-HMS.

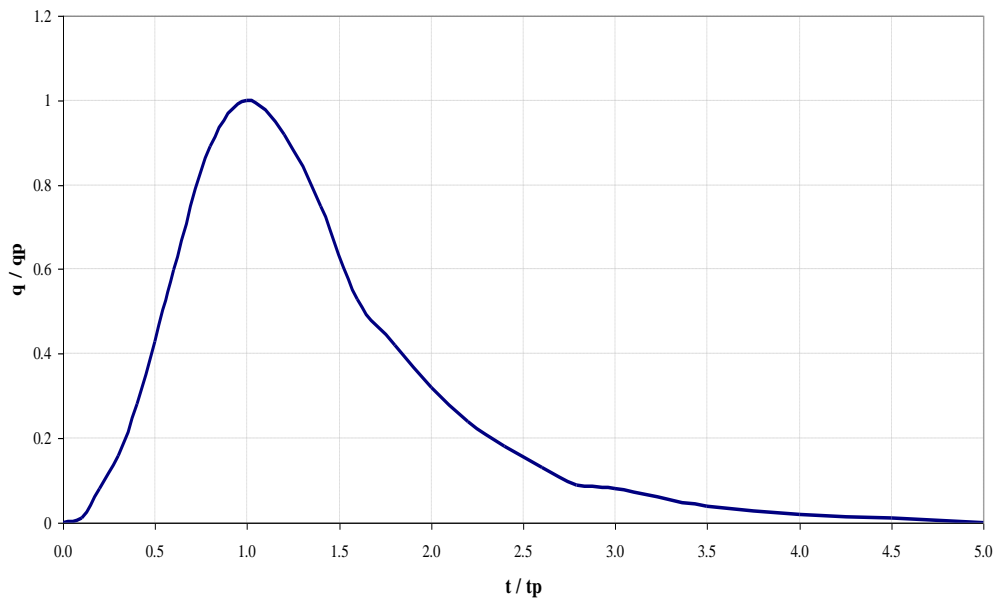


Figura 5.5 Hidrograma curvilíneo adimensional del SCS.

Ingresos a la Presa El Centenario

Aguas abajo de la Presa El Centenario se localiza la estación hidrométrica (EH) Tequisquiapan, con registros desde 1945. Con los registros de la EH se calcularán los ingresos a la presa El Centenario.

En la tabla 5.6 se muestran los registros de los gastos máximos horarios en la EH Tequisquiapan.

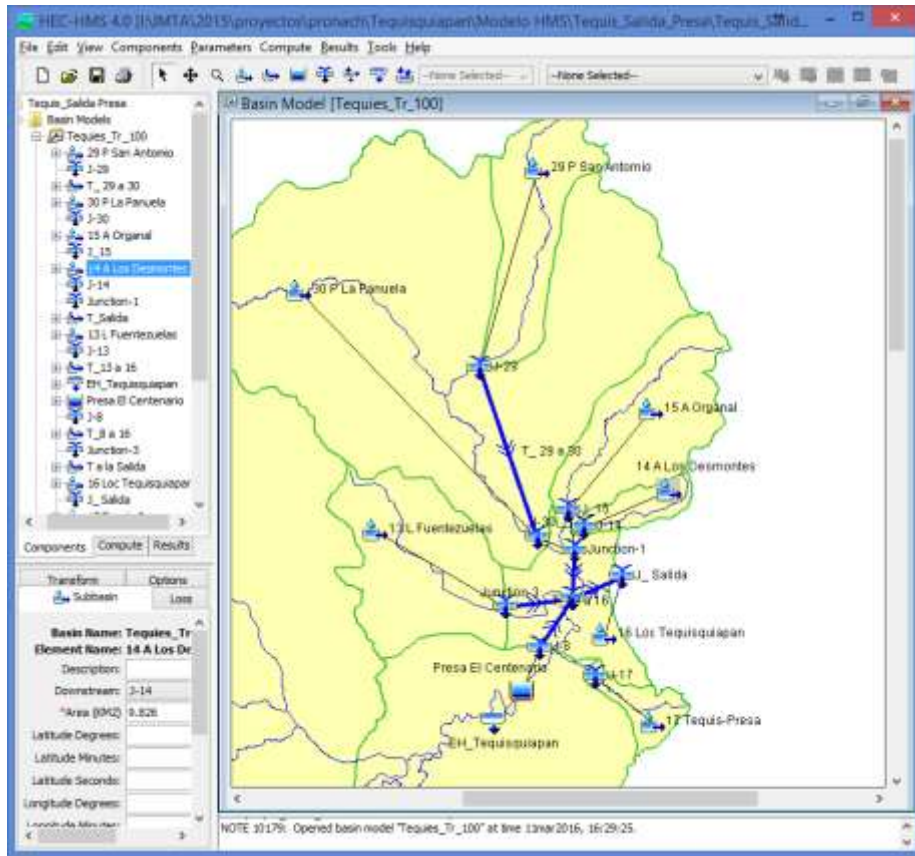


Figura 5.6 Pantalla que muestra el modelo de cuenca construido hasta la ciudad de Tequisquiapan

Tabla 5.6. Gastos máximos horarios anuales en la estación hidrométrica Tequisquiapan

Año	Gasto máximo diario (m ³ /s)	Año	Gasto máximo diario (m ³ /s)
1945	5.420	1974	12.676
1946		1975	117.500
1947	11.600	1976	
1948		1977	100.045
1949		1978	3.291
1950	8.900	1979	3.570
1951	24.800	1980	3.600
1952	36.500	1981	5.846
1953		1982	5.629
1954	7.380	1983	41.900
1955		1984	
1956		1985	84.076
1957	5.637	1987	
1958	189.400	1988	15.450
1959	61.000	1989	0.214
1960	5.980	1990	4.080
1961	26.660	1991	48.000

Año	Gasto máximo diario (m ³ /s)
1962	35.400
1963	106.600
1964	49.600
1965	124.000
1966	85.850
1967	157.680
1968	96.795
1969	32.100
1970	97.400
1971	195.000
1972	2.439
1973	170.220

Año	Gasto máximo diario (m ³ /s)
1992	0.000
1993	0.284
1994	0.130
2000	
2001	0.000
2002	0.000
2003	76.922
2004	0.000
2005	0.000
2006	0.000
2010	0.000
2011	0.000

Al realizar el análisis de frecuencias se obtuvo que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajustó a los datos fue la Gumbel Doble. En la siguiente tabla se presentan los gastos diarios para los periodos de retorno en la EH.

Tabla 5.7. Gastos máximos en la E.H Tequisquiapan

Tr(Años)	Gasto (m ³ /s)
2	27.425
5	67.003
10	147.160
50	206.633
100	223.245

Al comparar la relación de los gastos máximos diarios entre la EH Tequisquiapan y los deducidos en la Presa El Centenario se obtiene lo siguiente.

Tabla 5.8. Comparación de los gastos en la EH Tequisquiapan y la presa El Centenario

Fecha	Gasto máximo diario en la EH (m ³ /s)	Gasto máximo diario de entrada a la Presa (m ³ /s)	Factor (F)= (Qpresa-QEH)/QEH
11 septiembre 1958	172.894	186.800	0.08004
12 agosto de 1971	148.108r	157.850	0.065776
18 de agosto de 1973	143.548	162.950	0.13516

Entonces los gastos de ingreso a la presa El Centenario para los periodos de retorno se calculan como $Q_{Presa} = Q_{EH} \cdot (1 + F)$. En la siguiente tabla se presenta el cálculo de los gastos de ingreso a la presa El Centenario, para lo cual se utilizó $F = 0.13516$ (factor más desfavorable, ya que da una magnitud mayor), para los diferentes periodos de retorno.

Tabla 5.9. Gastos máximos de entrada a la Presa El Centenario para diferentes periodos de retorno

Tr(Años)	Gasto (m ³ /s)
2	31.132
5	76.059
10	167.050
50	234.562
100	253.419

Para darle la forma completa a los hidrogramas se realizó la mayoración con la avenida de 1958 registrada en la EH Tequisquiapan. A continuación, se presentan los hidrogramas de ingreso a la presa El Centenario, los cuales se ingresan al modelo lluvia escurrimiento.

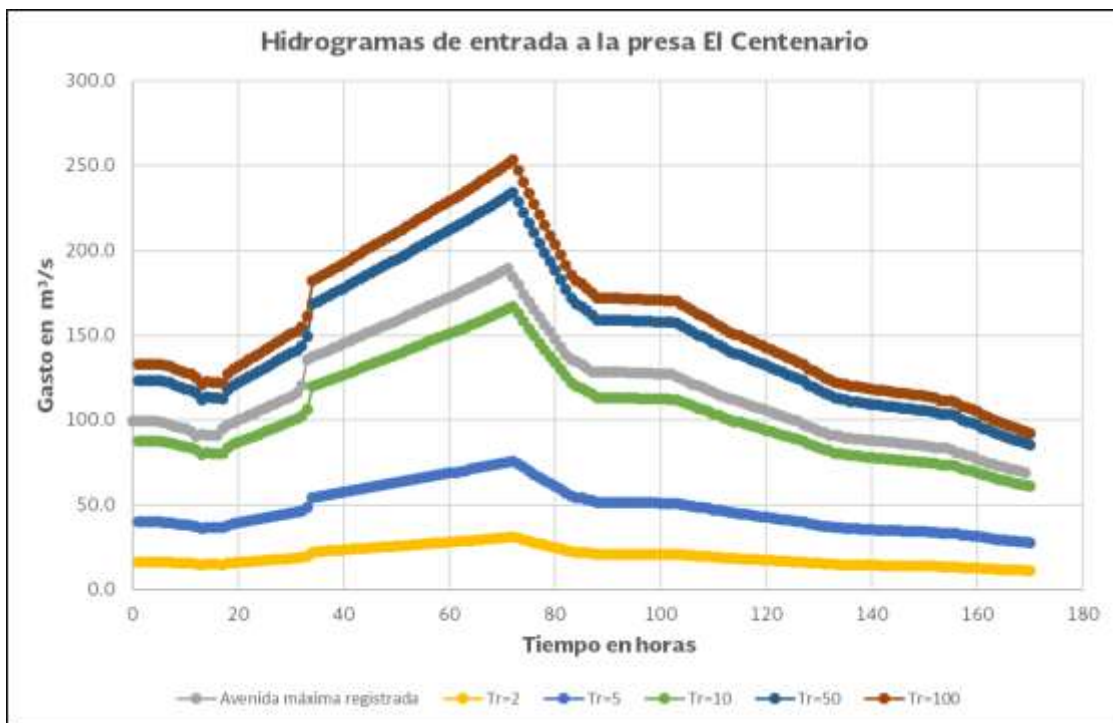


Figura 5.7 Hidrogramas de ingreso a la presa El Centenario

5.1.4. Calibración

Con la finalidad de estimar de una manera adecuada las avenidas para los periodos de retorno, se realizó la calibración, para lo cual se utilizó la información histórica de los gastos máximos anuales de la estación hidrométrica Paso de Tablas (Clave 26022). Esta estación se localiza aguas abajo de la salida de la cuenca de estudio.

En la siguiente tabla se presentan los valores de los gastos máximos anuales registrados en la base de datos BANDAS correspondiente a la estación hidrométrica Paso de Tablas.

Tabla 5.10. Gastos máximos registrados en la estación hidrométrica Paso de Tablas

Año	Gasto (m ³ /s)	Año	Gasto (m ³ /s)
1957	0.003	1980	11.75
1958		1981	1.48
1959		1982	0
1960	0.46	1983	47.5
1961	34.65	1984	23.81
1962	38.3	1985	77.46
1963	126.48	1988	21.92
1964	42.1	1989	0
1965	134	1990	0
1966	84.5	1991	43.05
1967	183.4	1992	0
1968	97	1993	1.028
1969	59.88	1994	0
1970	94.333	1996	0.758
1971	247.05	2000	
1972	2.497	2001	0
1973	200	2002	0
1974	7.75	2003	
1975	113.8	2004	0
1976	546	2005	0
1977	99.77	2006	0
1978	1.232	2010	0
1979	0	2011	0

A la serie de gastos mostrada en la tabla anterior se le realizó un análisis de frecuencias, con lo cual se obtuvieron los gastos para los periodos de retorno de interés. La función de distribución que mejor se ajustó fue la Gamma 3 parámetros. En la siguiente tabla se presentan los gastos resultantes del análisis de frecuencias. Para efectos de la calibración se utilizará el gasto correspondiente al periodo de retorno de 100 años.

Tabla 5.11. Gastos máximos para los periodos de retorno en la estación hidrométrica Paso de Tablas

Tr(Años)	Gasto (m ³ /s)
2	15.443
5	86.214
10	158.000
50	362.845
100	463.787

5.1.5. Simulación y resultados

Una vez que está construido el modelo de cuenca se procedió a realizar la simulación para lo cual se partió de los valores iniciales del número de escurrimiento (calculados en el subcapítulo 3.3.5) y de los hidrogramas de ingreso a la presa el Centenario mostrados en la figura 5.7. Los valores de los números de escurrimiento se fueron ajustando hasta lograr realizar la calibración a la salida de la cuenca.

En las siguientes tablas se presentan los resultados de los gastos máximos en cada una de las subcuencas y a la salida de la cuenca, así como en cada uno de los puntos de entrada al área que se modelará en IBER.

En las tablas se puede apreciar que el gasto máximo a la salida de la cuenca para el periodo de retorno de 100 años resultó de 466.050 m³/s, el cual es prácticamente el mismo que el obtenido en la EH Paso de Tablas, por lo que la calibración se considera buena.

Tabla 5.12. Gastos máximos (m³/s) para diferentes periodos de retorno en las subcuencas y a la salida de la cuenca

Subcuenca	Periodo de retorno (años)				
	2	5	10	50	100
Fuentezuelas	14.700	25.070	32.460	49.360	60.620
Los Desmontes	3.150	6.000	8.190	16.090	21.050
Organal	15.770	26.570	34.460	56.450	70.300
Tequis-Presa	3.890	6.550	8.480	16.660	20.760
P San Antonio	6.560	12.910	17.620	28.620	44.240
P La Peñuela	30.520	61.840	85.610	142.000	241.100
Salida de la cuenca	69.330	145.680	238.570	364.620	466.050

Tabla 5.13. Gastos máximos (m³/s) para diferentes periodos de retorno en cada entrada al área que se modelará en el IBER.

Entrada para el IBER	Periodo de retorno (años)				
	2	5	10	50	100
Fuentezuelas	14.700	25.070	32.460	49.360	60.620
Organal	15.770	26.570	34.460	56.450	70.300
Desmontes	3.150	6.000	8.190	16.090	21.050
Tequisquiapan-Presa	3.890	6.550	8.480	16.660	20.760
Peñuela	34.820	70.230	97.040	160.680	272.070
Salida de la Presa El Centenario	28.960	75.340	166.000	233.250	252.050

En la siguiente tabla se muestran los valores del número de escurrimiento obtenidos con la calibración.

Tabla 5.14. Valores de los números de escurrimiento calibrados

Subcuenca	Número de escurrimiento inicial	Número de escurrimiento calibrado
29 P San Antonio	85.81	75.51
30 P La Panuela	84.74	74.57
15 A Organal	83.94	75.55
14 A Los Desmontes	76.37	68.73
13 L Fuentezuelas	79.39	71.45
16 Loc Tequisquiapan	83.05	74.75
17 Tequis-Presa	82.01	73.81

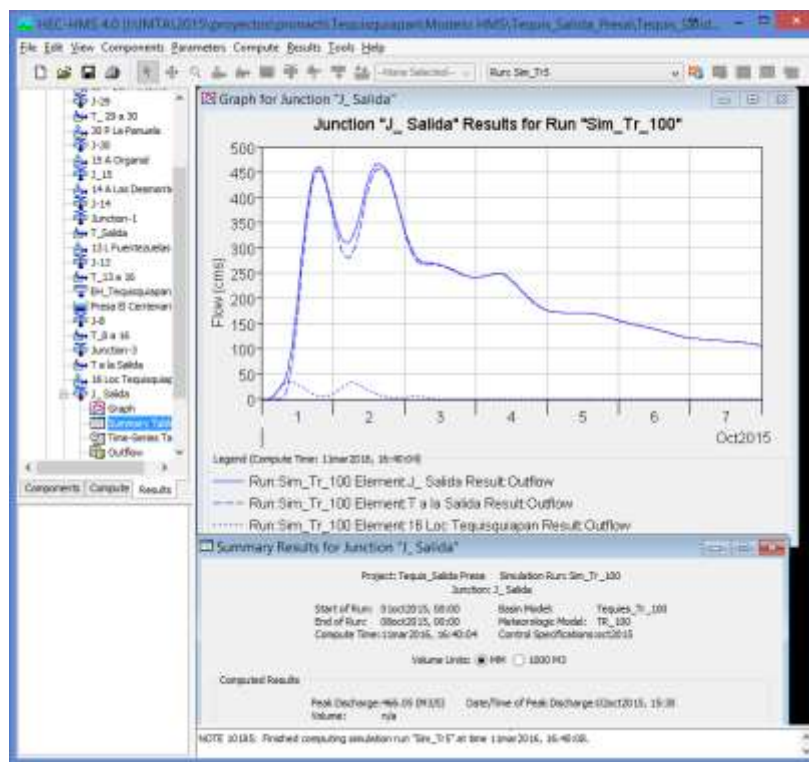


Figura 5.8. Resultados del modelo hidrológico a la salida de la cuenca para el periodo de retorno de 100 años.

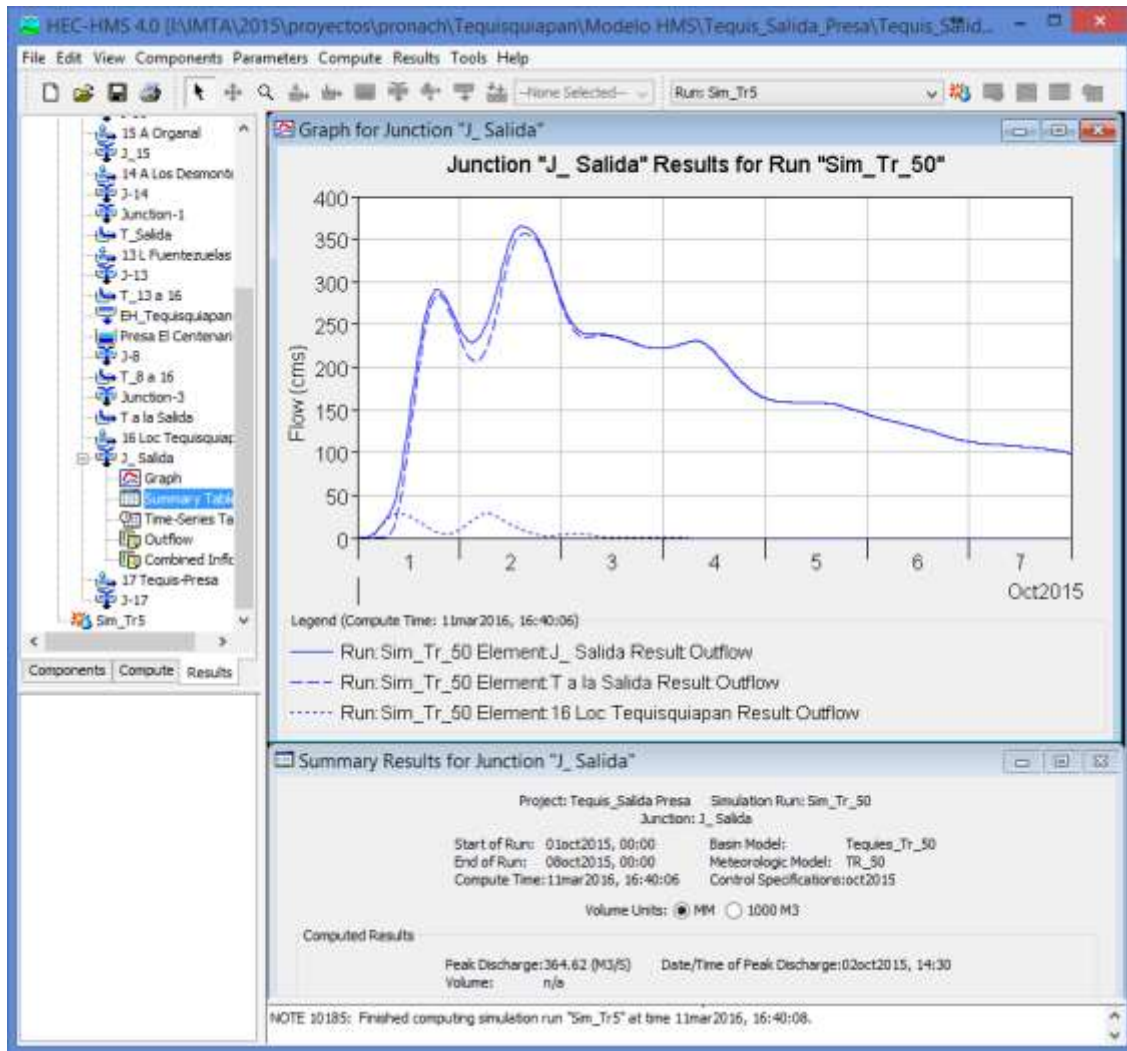


Figura 5.9. Resultados del modelo hidrológico a la salida de la cuenca para el periodo de retorno de 50 años.

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.

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

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 la Subcuenca 16 con un área de 37.723 km², en la cual se localiza de manera íntegra la zona urbana de Tequisquiapan.

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 ASCCI para que pueda ser leído en el software de IBER.

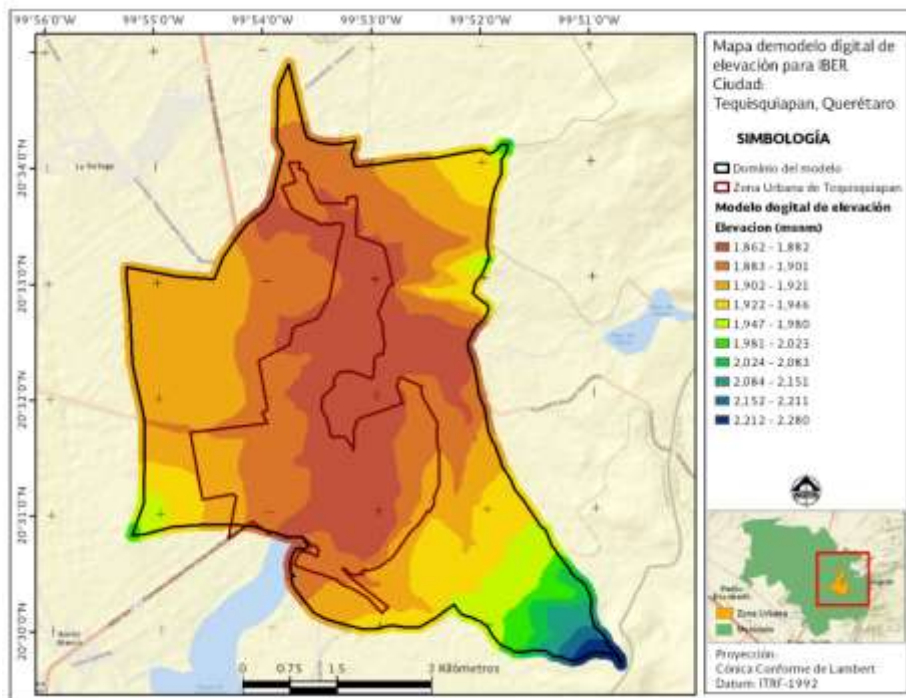


Figura 5.10 MDE recortado a la zona a modelar en IBER

Además del procesamiento descrito, también se realizó un dragado del MDE para el río San Juan y para el que pasa por el Club de Golf (arroyo Organal), esto con el objeto de asegurar que el ancho y profundidad del río sea lo más cercano a la realidad. En la siguiente figura se presenta el dragado mencionado.

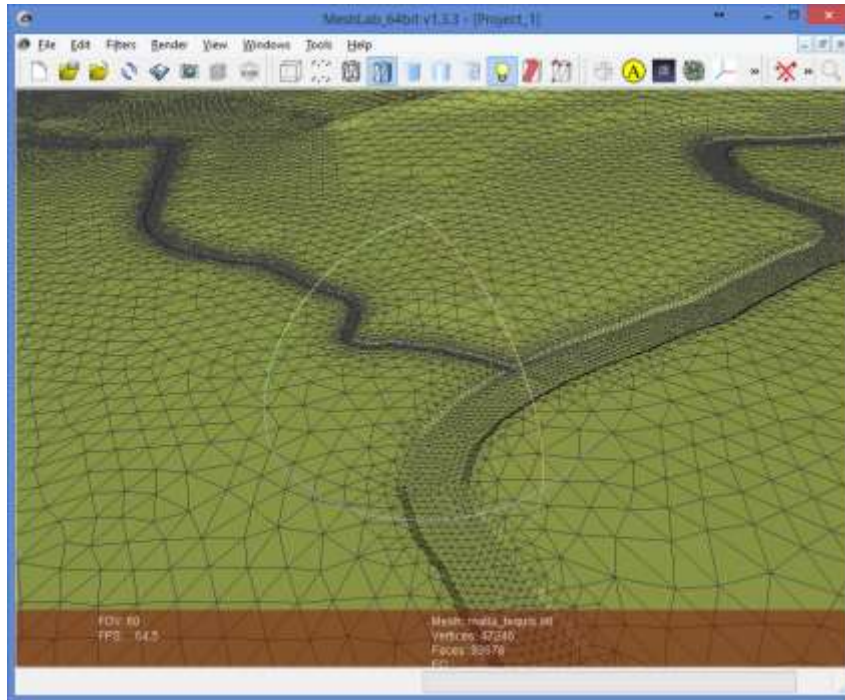


Figura 5.11. Dragado del río San Juan y del arroyo Organal visto con el software MeshLab

5.2.2. Infraestructura

En el modelo hidráulico de la zona de Tequisquiapan, no se incluyó información de infraestructuras hidráulicas como son: alcantarillas, puentes, diques, y puentes, ya que no se dispone los planos o dimensiones requeridos para ser incluidos en la simulación.



Figura 5.12 Cruce Río San Juan del Río y la avenida Francisco Martínez Elías



Figura 5.13 Cruce Río San Juan del Río y la avenida Francisco Martínez Elías

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 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 7 m sobre el río San Juan, 3 m sobre el arroyo que pasa por el club de Golf, en los cauces, 30 metros la zona urbana y 50 metros en la zona no urbana.

Los datos del problema son los siguientes:

- Tiempo máximo de simulación: 518,400 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

Hidrogramas

Para la modelación hidráulica se utilizaron como condiciones de frontera de entrada los hidrogramas obtenidos con la modelación del proceso lluvia-escorrentamiento en los arroyos: Organal, Desmontes, Peñuela, Fuentezuelas, Presa-Tequisquiapan y Salida de la presa Tequisquiapan. En la tabla 5.13 del subcapítulo 5.1 se presentan los valores de los gastos máximos en los arroyos mencionados para los diferentes periodos de retorno.

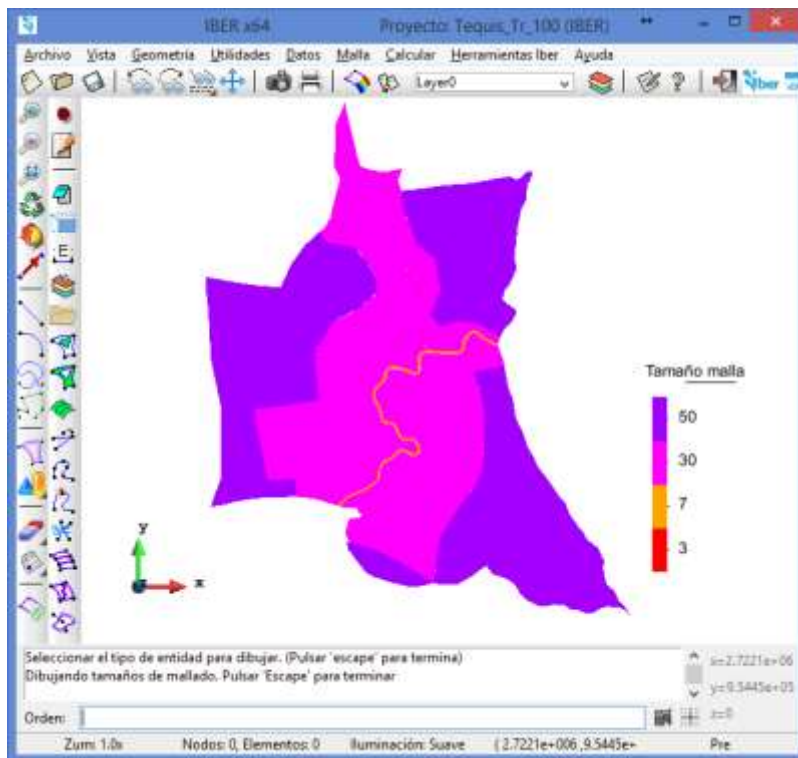


Figura 5.14. Figura que muestra los tamaños de los elementos de la Malla para el análisis hidráulico con IBER

En la siguiente figura se presenta el valor del gasto máximo de los hidrogramas correspondientes al periodo de retorno de 100 años, el cual se obtuvo con la modelación del proceso lluvia escurrimiento (subcapítulo 5.1).

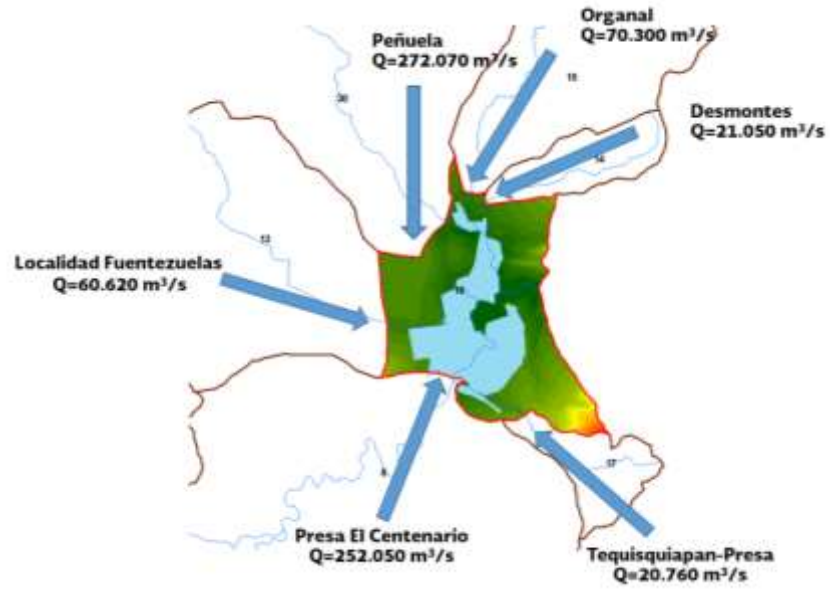


Figura 5.15. Esquema de los gastos máximos de entrada al modelo del IBER (Condiciones de frontera) para el periodo de retorno de 100 años.

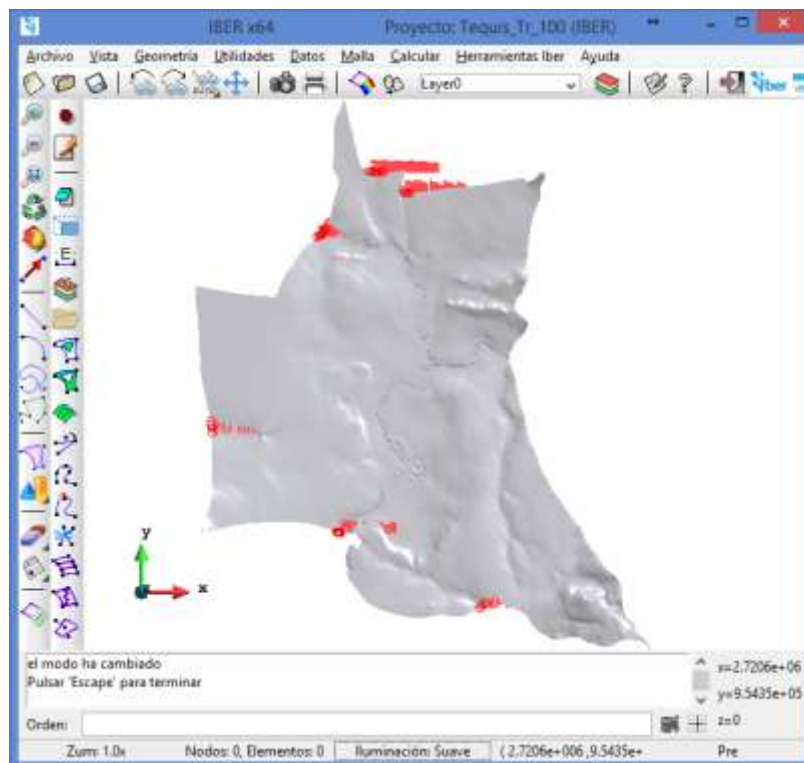


Figura 5.16. Modelo en IBER donde se indica las condiciones de frontera (entradas)

Precipitación

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

Tabla 5.15. Precipitación en la zona de modelación hidráulica (Subcuenca 16) para una duración de 48 horas

Precipitación	Periodo de retorno (años)				
	2	5	10	50	100
Total (mm)	68.7	91.1	106.1	138.8	152.6
Efectiva	30.9	49.2	62.10	91.5	104.2

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 → Hietograma actual de entrada a la ZU en Excel.

Condiciones de frontera (o de borde) de salida o aguas abajo

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 5.18) 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.

Luego de procesar la información arriba 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 5.16).

Tabla 5.16. Cobertura vegetal, uso del suelo y sus valores de rugosidad en la zona a modelar

Cobertura vegetal o uso del suelo	Coefficiente de rugosidad de Manning
Agricultura	0.040
Arbustos	0.060
Bosque	0.120
Vialidades (Calles)	0.020
Zona Urbana (Manzanas)	0.150
Pastizal	0.030
Pasto	0.027
Río	0.040

En las dos figuras siguientes se presenta la variación espacial de la cobertura vegetal en el software tanto en ArcGis como en IBER.

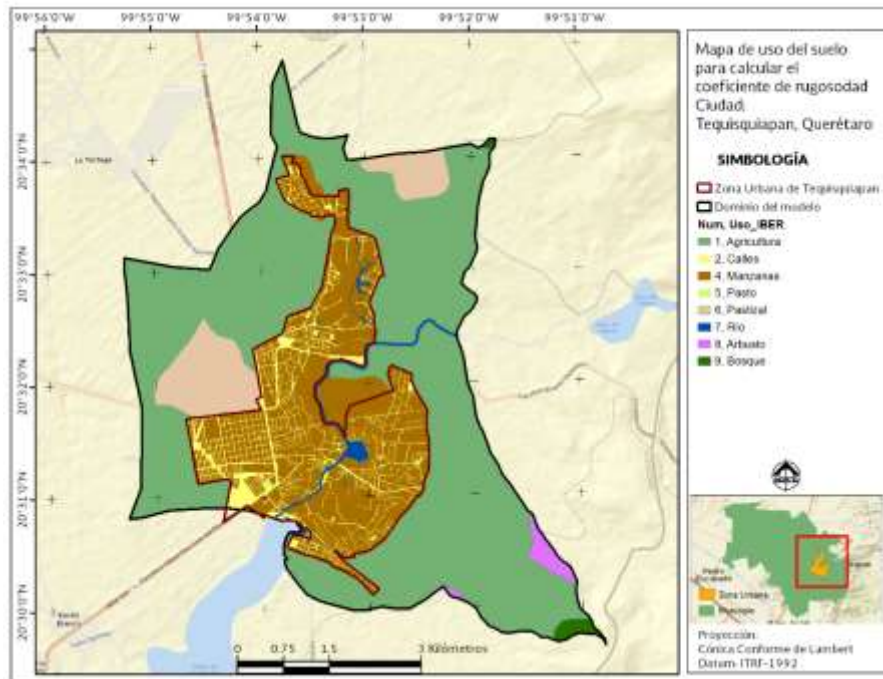


Figura 5.17. Variación de la cobertura vegetal para calcular el coeficiente de rugosidad

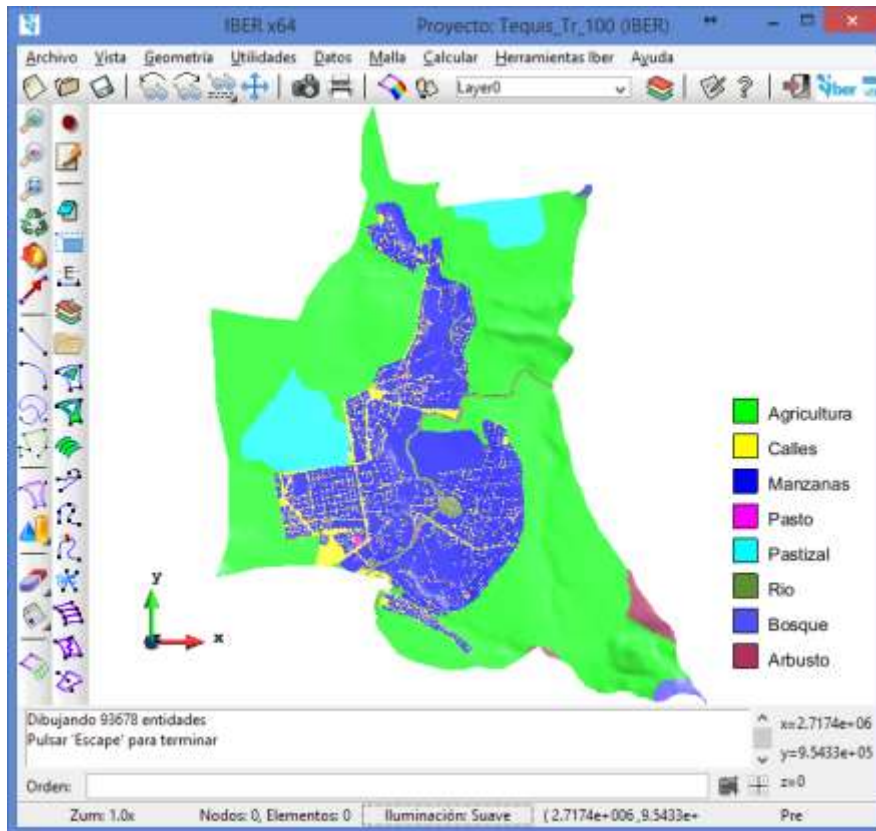


Figura 5.18. Figura que muestra la variación de la cobertura vegetal en el modelo IBER

5.4. Resultados

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, para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 50 y 100 años; así como el riesgo actual. En el subcapítulo 5.6 se presentarán los valores de la severidad



Figura 5.19 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años

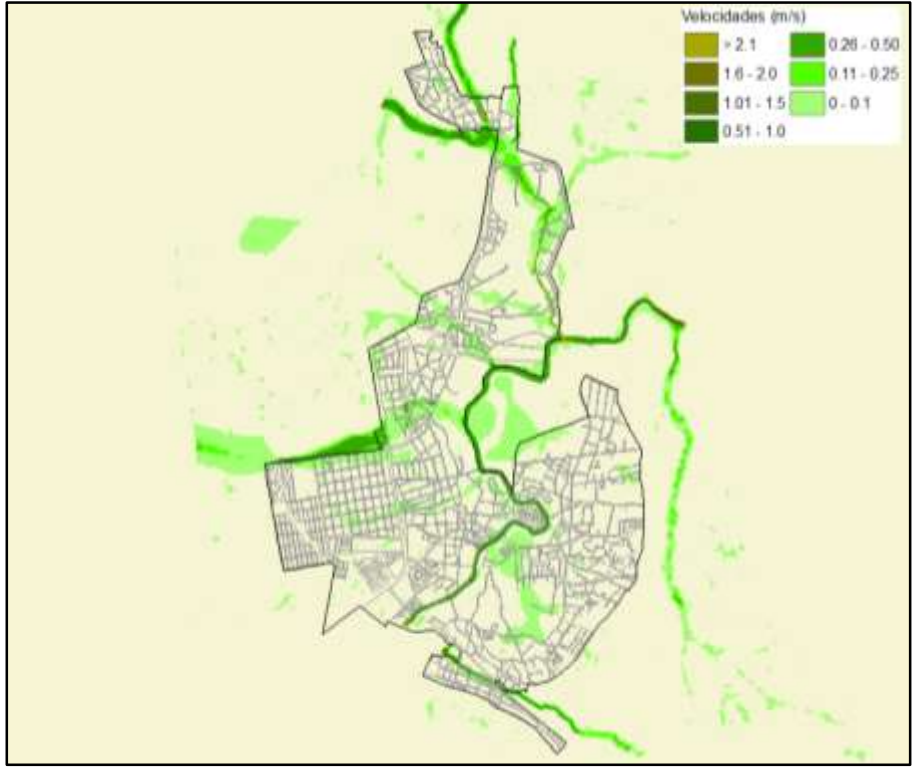


Figura 5.20 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 2 años

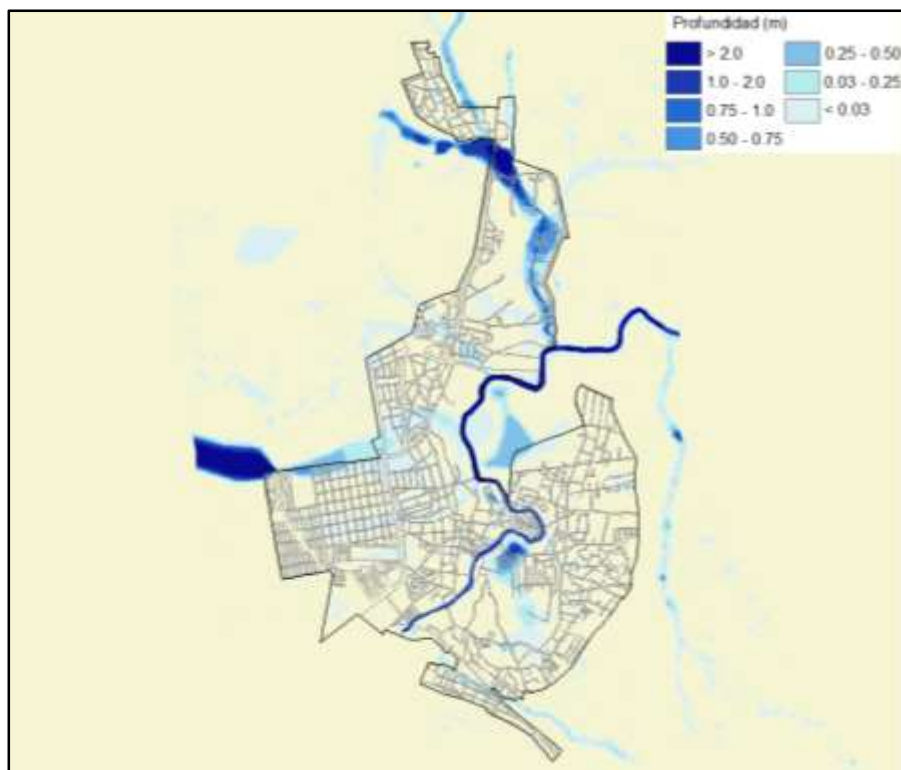


Figura 5.21 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años

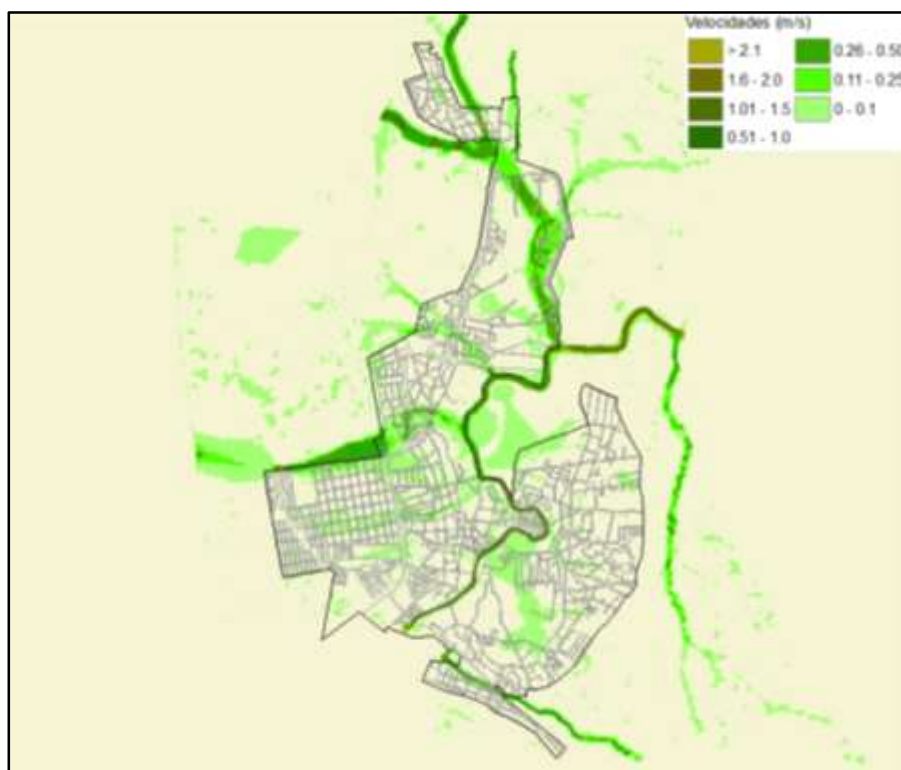


Figura 5.22 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años

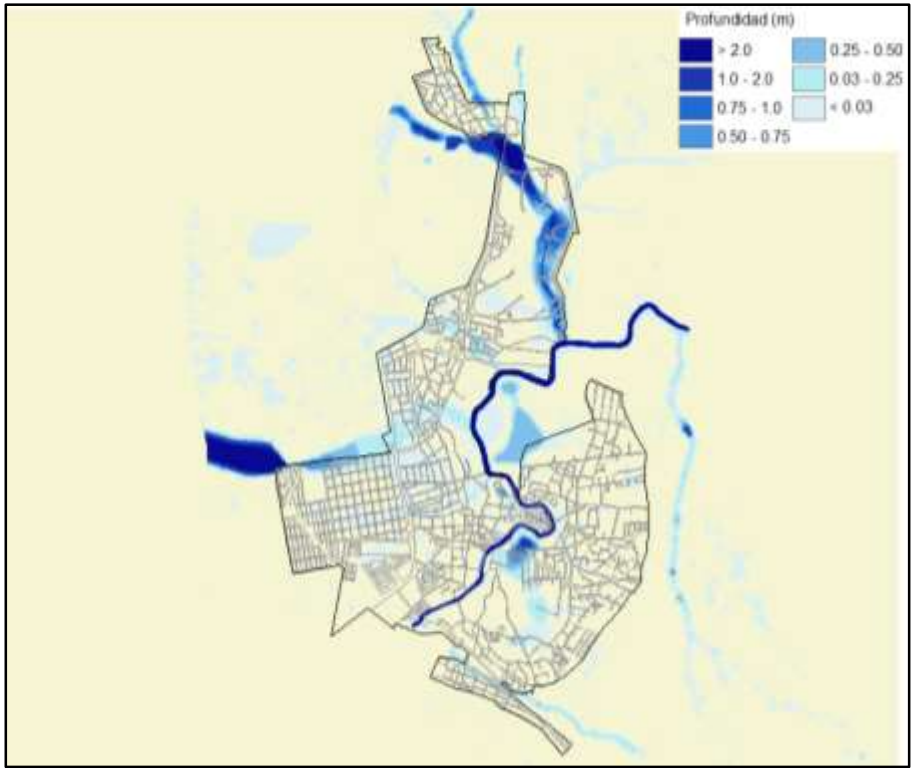


Figura 5.23 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años



Figura 5.24 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años

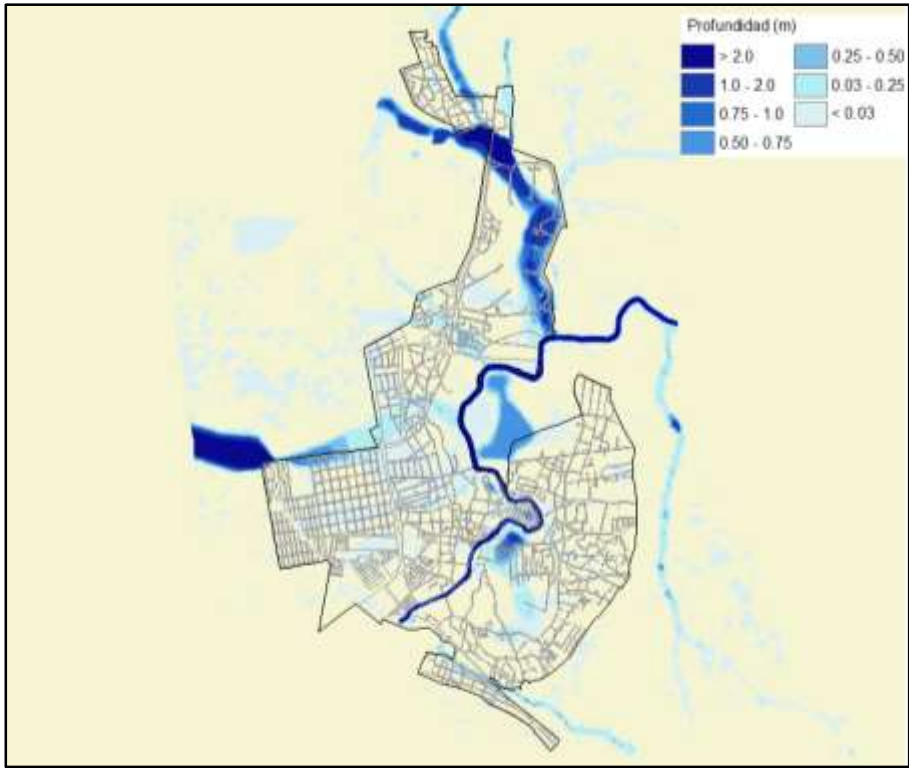


Figura 5.25 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años

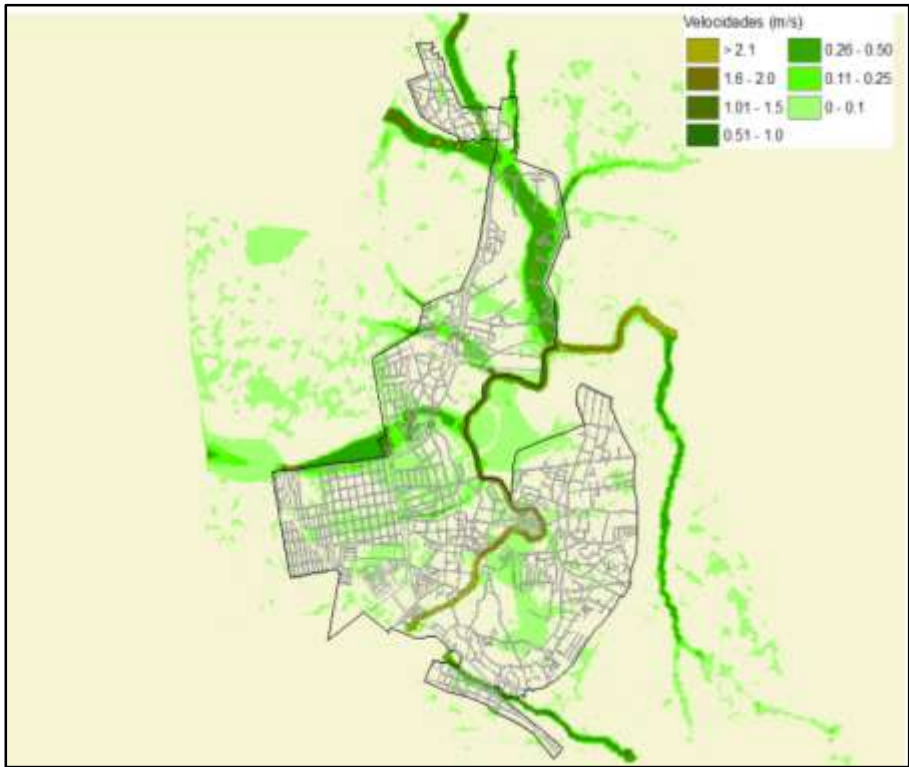


Figura 5.26 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años



Figura 5.27 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años



Figura 5.28 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años

5.5. Análisis de los resultados

Resultados Generales

De acuerdo con los resultados obtenidos se tiene que el tirante máximo en la zona simulada varía 3.99 a 5.74 metros los cuales corresponden a los periodos de retorno de 2 y 100 años respectivamente.

Los mayores tirantes se presentan en el tramo el río San Juan que va desde la calle Fray Junípero Serra hasta la carretera Tequisquiapan. En la siguiente tabla se presentan los tirantes máximos para cada uno de los periodos de retorno.

Tabla 5.17. Tirantes máximos para los diferentes periodos de retorno

Periodo de retorno (años)	Tirante máximo (m)
2	3.99
5	4.25
10	4.54
50	5.14
100	5.74

Resultados en dos zonas dentro de la mancha urbana

Al norte de del Fraccionamiento Bordo Blanco el tirante alcanzado es del orden de 1 metro, sin embargo, donde se alcanza ese tirante no hay casas. Donde existe afectación de viviendas el tirante alcanza un valor de 0.75 m para el periodo de retorno de 100 años y de 0.40 m para el periodo de retorno de 2 años.

En la colonia Fundadores de Hacienda Grande para el periodo de retorno de 100 años existe una zona donde se alcanzan tirantes de 0.55 m (figura 5.29), este tirante ocasionado por el desbordamiento del río San Juan y por la propia precipitación en la zona. Para el periodo de retorno de 2 años el tirante máximo es del orden de los 0.10 m.

En el fraccionamiento Centro a la altura de la Avenida Benito Juárez Oriente y en la margen derecha del río San Juan existe una zona donde el tirante máximo para el periodo de retorno de 100 años, varía desde los 0.10 hasta 1.60 metros (figura 5.30), en la zona donde el tirante es de 1.60 no hay viviendas.

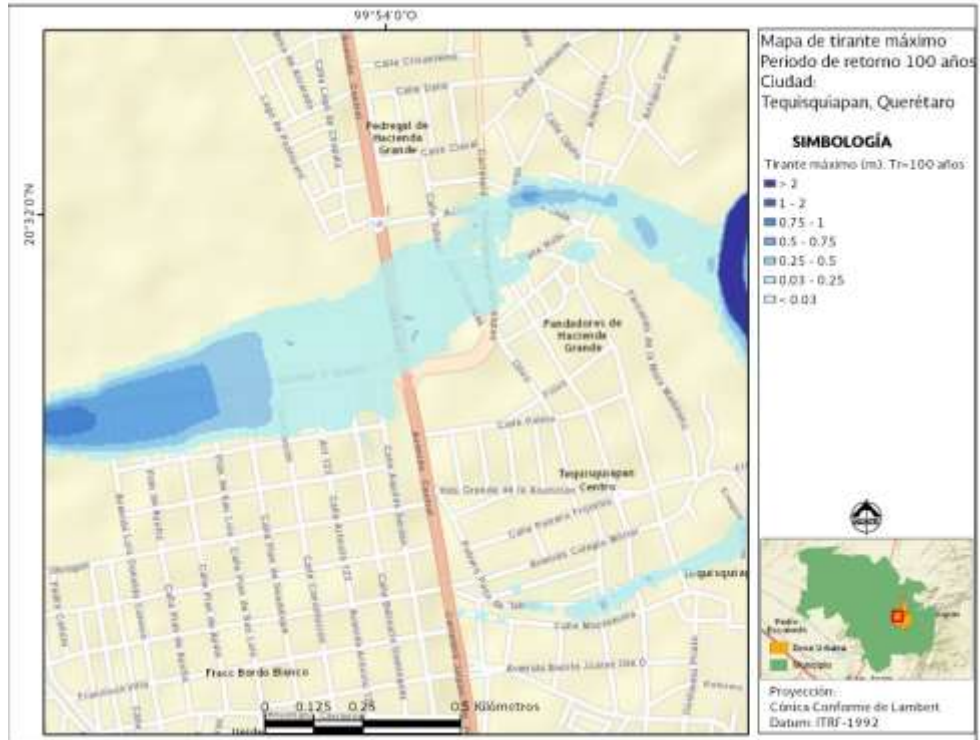


Figura 5.29 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años. Zona Fraccionamiento Blanco y Fundadores de Hacienda Grande

Resultados relevantes sobre y en las márgenes del Río San Juan

De acuerdo con los resultados de la simulación, por la margen derecha río San Juan, entre las calles Fray Junípero Serra y la carretera Tequisquiapan – Huichapan existe un desbordamiento en el río, que aunado al escurrimiento generado por la precipitación en la zona urbana se tiene un área de inundación que alcanza tirantes de 1.69 para el periodo de retorno de 100 años (figura 5.31) y de 1.68 para el periodo de retorno de 50 años y de 1.40 m para el de 2 años.

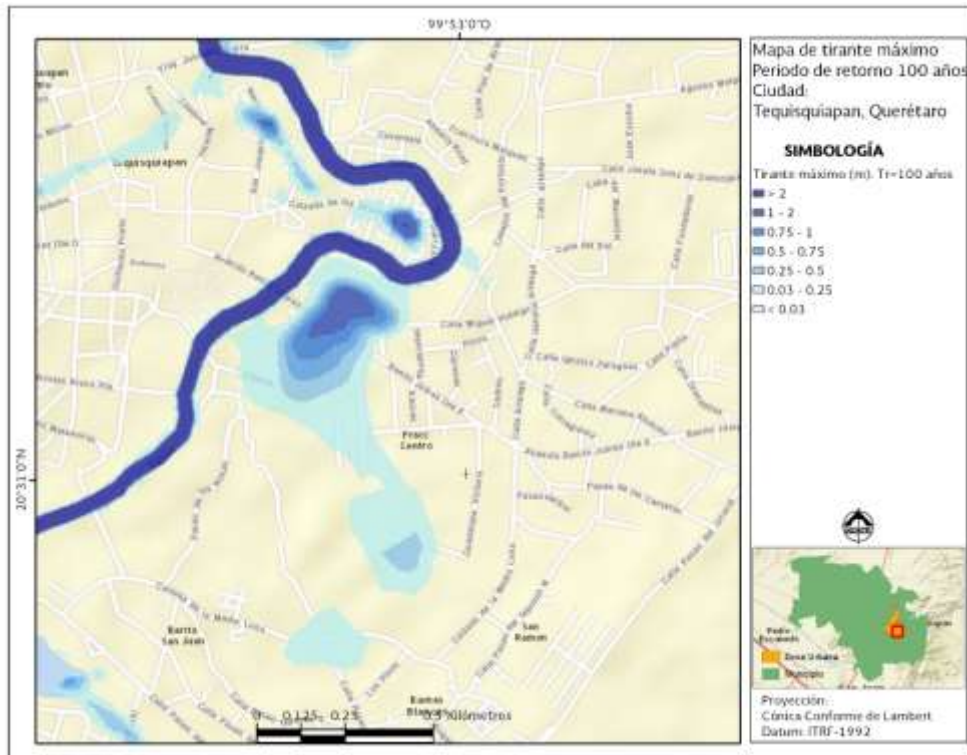


Figura 5.30 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años. Margen derecha del Río San Juan en el Fraccionamiento Centro.

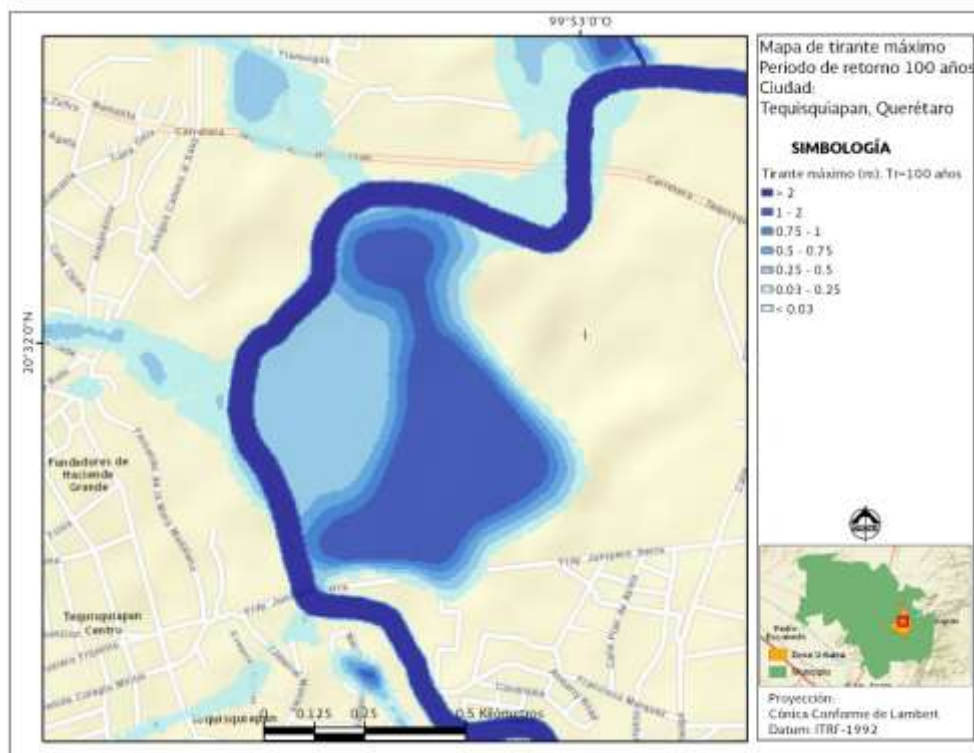


Figura 5.31 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años a la altura de la calle Junípero por la margen derecha del río San Juan

En las márgenes del arroyo que pasa por el club de Golf existe un desbordamiento, desde la calle Higuera hasta la confluencia con el río San Juan, provocando que se tengan tirantes del orden de 2 metros para el periodo de retorno de 100 años.

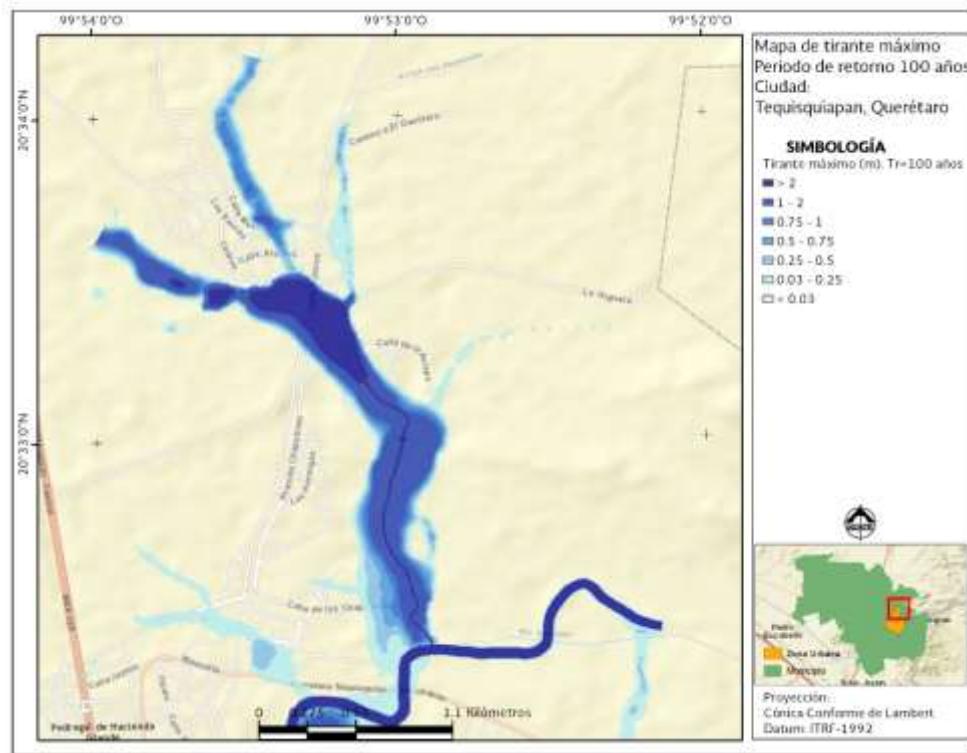


Figura 5.32 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años en el arroyo que pasa por el club de Golf

En la figura 5.33 se presenta el hidrograma a la salida de la Cuenca obtenido con la modelación del proceso lluvia escurrimiento (HEC-HMS) y con la modelación hidráulica (IBER) para el periodo de retorno de 100 años. En de la figura se puede concluir que el gasto máximo es prácticamente el mismo ya que el obtenido con HEC-HMS es de $466.050 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que el obtenido con el IBER es $481.717 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta diferencia se debe a que el modelo hidráulico resuelve las ecuaciones de continuidad en dos dimensiones, sin embargo, la diferencia es pequeña (3.3%).

En la siguiente tabla se presenta la comparación del gasto máximo para cada periodo de retorno a la salida de la cuenca obtenido con la modelación hidrológica e hidráulica donde se concluye que ambos la diferencia máxima entre los gastos es de 7.9%.

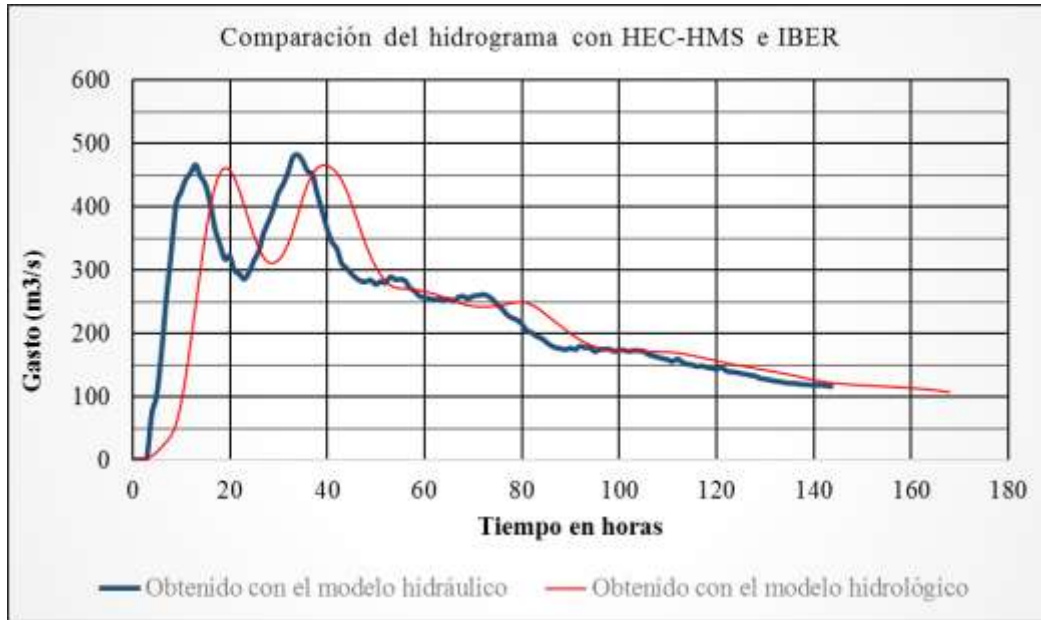


Figura 5.33 Comparación de los hidrogramas resultantes a la salida de la cuenca obtenidos con la modelación hidrológica y la modelación hidráulica.

Tabla 5.18. Comparación de los gastos máximos obtenidos con la modelación hidrológica e hidráulica a la salida de la cuenca sobre el río San Juan

Periodo de retorno (años)	Modelo hidrológico	Modelo hidráulico	% (modelo hidráulico respecto al hidrológico)
2	69.330	73.647	5.9
5	145.680	158.192	7.9
10	238.570	257.206	7.2
50	364.620	383.214	4.9
100	466.050	481.717	3.3

5.6. Elaboración del mapa de severidad

Para dar mayor detalle de la estimación del daño por inundación, en los últimos años en México se ha venido usando con mayor frecuencia el “diagrama de resistencia al vuelco”, mejor conocido como Diagrama de Dórrigo (Figura 5.34, 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.

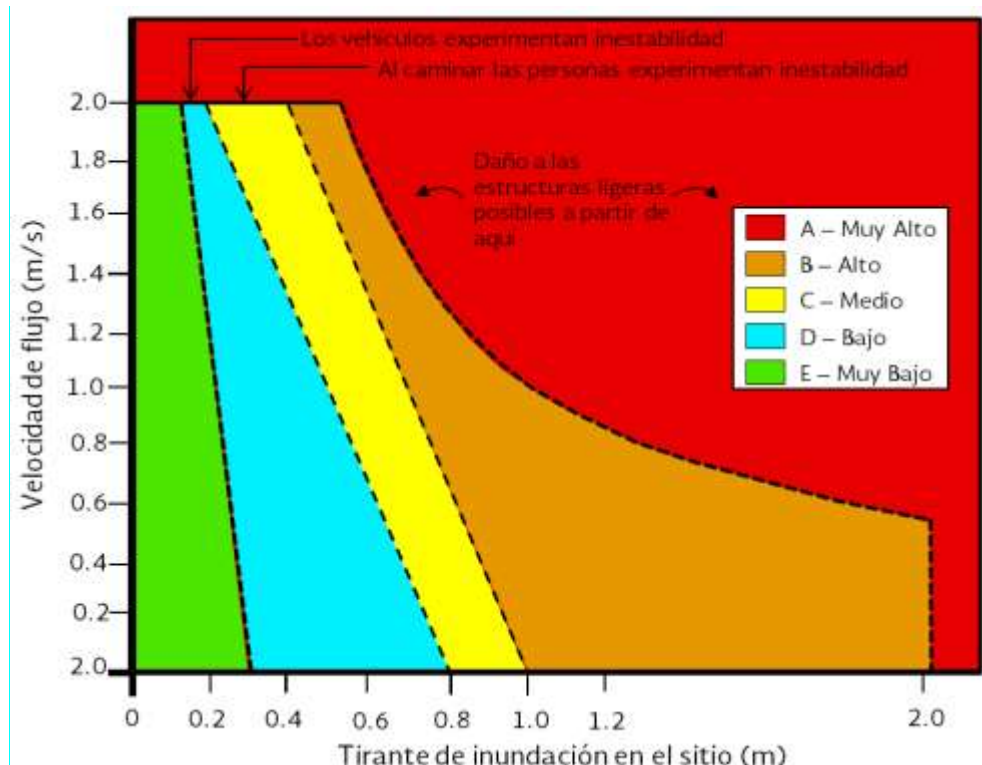


Figura 5.34 Diagrama de Dórrigo

El Diagrama de Dórrigo (Figura 5.34) presenta un cuadrante coordinado compuesto por la velocidad del flujo (v), en el eje de las ordenadas, y el tirante que alcanza la inundación (y), en eje de las abscisas, dividido en cinco diferentes regiones, en función de los efectos que pueden llegar a presentarse ante la combinación de las dos variables antes mencionadas, a través de las cuales es posible identificar algunos de los efectos generados por una inundación y , de esa manera, clasificar toda el área inundada en función de la combinación (y, v).

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

En la Figura 5.35 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 5.35 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,
 - a. 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 5.19 a 5.28 del subcapítulo 5.5).
 - b. 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 Tequisquiapan para los diferentes periodos de retorno.



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



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



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

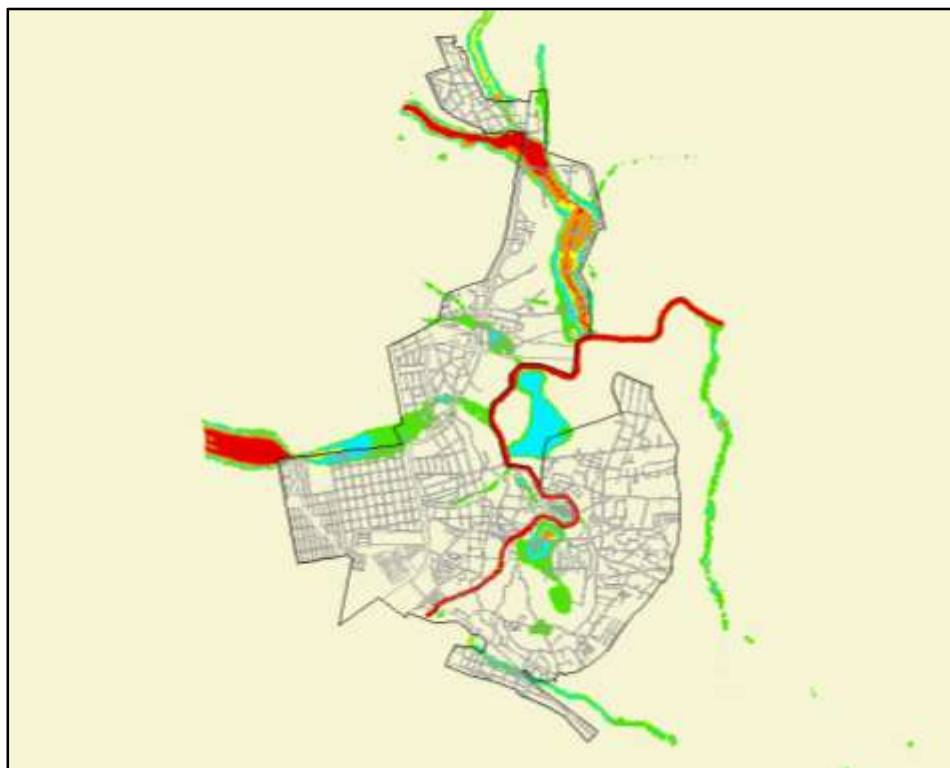


Figura 5.39 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años

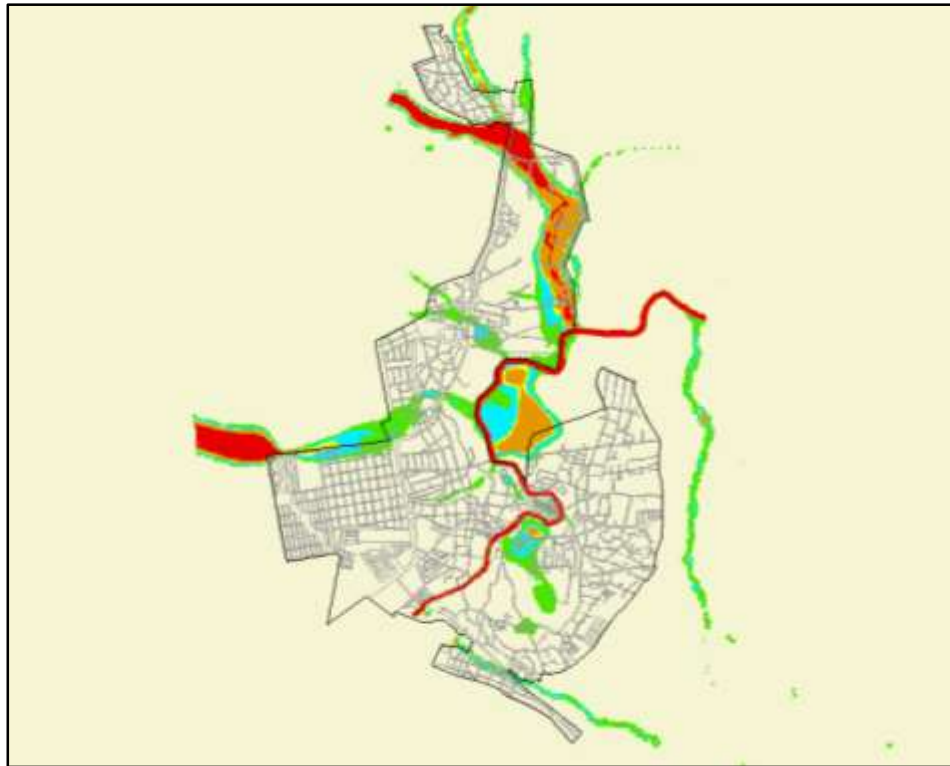


Figura 5.40 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años

En general los niveles de severidad en la zona urbana de Tequisquiapan para el periodo de retorno de 100 años son en su mayor parte muy bajos y bajos. Los niveles altos y muy altos se presentan dentro en el río San Juan y del arroyo que pasa por el club de Golf.

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 despliegado gráfico de dicha información (1).

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

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

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

(1) Ciclones tropicales. Serie Fascículos. Centro Nacional Prevención de Desastres. Secretaría de Gobernación. 1ª. Edición, diciembre 2003.

(2) Department of Humanitarian Affairs (DHA) (1992). Internationally agreed glossary of basic terms related to Disaster Management. United Nations.

(3) González T. M. E. (2008), Tesis doctoral. Un modelo integral para la valoración del riesgo de inundación en centros urbanos y/o suburbanos. Enfoque metodológico utilizando indicadores Caso: Pueblo Viejo, Veracruz, México. Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Geografía.

(4) Inundaciones. Serie Fascículos. Centro Nacional Prevención de Desastres. Secretaría de Gobernación. 1ª. Edición, octubre 2004. ISBN 978-870-821-002-7.

(5) Ley General de Protección Civil. Decreto por el que se expide la Ley General de Protección Civil. Diario Oficial de la Federación. Junio de 2012.

(6) Proyecto de norma mexicana. PROY-NMX-AA-175-SCFI-2015. Operación segura de presas. Parte 1.- Análisis de riesgo y clasificación de presas.

(7) Este término no se maneja en el presente documento, sin embargo, sirvió de base para la gestión integrada de la zona de estudio.

REFERENCIAS

- 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. "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. 2014
- 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). Manual para el control de inundaciones. 2011
- 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.. «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?#Regr_eso&c=27770. 2016
- Meyer V. et al. 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. 2012

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

Paterson Consultants Pty Limited, 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. 2007

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