



MÉXICO

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

CONAGUA

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

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

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

**PROGRAMA CONTRA CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS
PARA LA ZONA URBANA DE JESÚS MARÍA,
AGUASCALIENTES.
REGIÓN HIDROLÓGICA ADMINISTRATIVA VIII,
LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO**

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Programa Contra Contingencias Hidráulicas para
la Zona Urbana de Jesús María, Aguascalientes

Región Hidrológico-Administrativa VIII, Lerma-
Santiago-Pacífico

Contenido

1.	Introducción.....	1
2.	Gestión integrada de crecidas.....	3
2.1	La perspectiva a largo plazo.....	4
2.2	Políticas y estrategias de gestión integrada de crecidas.....	5
2.3	Declaratoria de Desastre Natural por fenómenos hidrometeorológicos.....	8
2.4	Matriz de análisis de la ley estatal de protección civil.....	10
2.5	Instituciones involucradas en la gestión de crecidas.....	12
2.5.1	Atribuciones de las instituciones involucradas con la atención a fenómenos hidrometeorológicos.....	15
3.	Caracterización de la cuenca y de las zonas inundables.....	21
3.1	Identificación de zonas potencialmente inundables.....	23
3.2	Caracterización socioeconómica.....	24
3.3	Fisiográfica, meteorológica e hidrológica.....	24
3.3.1.	Cuenca de aportación.....	25
3.3.2.	Relieve.....	28
3.3.3.	Uso de suelo.....	28
3.3.4.	Edafología.....	30
3.3.5.	Subcuencas y características fisiográficas.....	32
3.3.6.	Precipitación.....	39
3.3.7.	Escurrimientos.....	48
3.4	Descripción de inundaciones históricas relevantes.....	49
3.5	Obras de protección contra inundaciones y acciones no estructurales existentes.....	50
3.6	Identificación de actividades actuales en las planicies de inundación.....	55
4	Diagnóstico de las zonas inundables.....	57
4.1	Monitoreo y vigilancia de variables hidrometeorológicas.....	57
4.2	Pronóstico de avenidas y sistemas de alerta temprana.....	57
4.3	Funcionalidad de las acciones estructurales y no estructurales existentes.....	58

4.4	Identificación de los actores sociales involucrados en la gestión de crecidas.....	59
4.5	Identificación de la vulnerabilidad a las inundaciones.....	60
4.6	Identificación y análisis de la coordinación entre instituciones involucradas en la gestión de crecidas.....	63
5	Evaluación de riesgos de inundación.....	65
5.1	Estimación de caudales y tormentas de entrada al sistema.....	65
5.1.1.	Cálculo de precipitación media de diseño.....	65
5.1.2.	Construcción de tormentas de diseño.....	69
5.1.3.	Modelo lluvia-escurrimiento.....	71
5.1.4.	Calibración.....	74
	Punto de calibración a la salida de la cuenca.....	74
	Punto de Calibración de la presa Plutarco Elías Calles.....	77
5.1.5.	Simulación y resultados.....	80
5.2	Modelo hidráulico.....	86
5.2.1.	Procesamiento del modelo digital de elevaciones.....	87
5.2.2.	Infraestructura.....	89
5.3	Simulación en las condiciones actuales.....	90
5.4	Resultados.....	96
5.5	Análisis de los resultados.....	102
5.6	Elaboración del mapa de severidad.....	109
	GLOSARIO.....	115
	REFERENCIAS.....	121

Lista de figuras

Figura 2.1 Gestión integrada de crecidas.....	4
Figura 3.1 Ubicación de la Zona Urbana de Jesús María respecto al estado de Aguascalientes.....	21
Figura 3.2 Ubicación respecto a las Regiones hidrológicas.....	22
Figura 3.3 Ubicación respecto a las cuencas del DOF	22
Figura 3.4 Ubicación respecto a las Regiones Hidrológico Administrativas.....	23
Figura 3.5 Zonas potencialmente inundables.....	24
Figura 3.6 Zona Urbana de Jesús María	25
Figura 3.7 Cuenca de aportación a la zona urbana de Jesús María	26
Figura 3.8 Estados que conforman la cuenca de aportación.....	26
Figura 3.9 Relieve de la cuenca de aportación	28
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.....	30
Figura 3.12. Subcuencas y sus cauces principales en las que se dividió la cuenca correspondiente a la ciudad de Jesús María.....	32
Figura 3.13Cauce principal de la cuenca.....	34
Figura 3.14 Clasificación del suelo en los cuatro grupos.....	37
Figura 3.15. Variación del número de escurrimiento N en la cuenca de la ciudad de Jesús María.....	38
Figura 3.16 Estaciones climatológicas dentro y fuera de la cuenca de aportación.....	39
Figura 3.17Estaciones Meteorológicas Automáticas dentro y cerca de la cuenca de aportación.....	44
Figura 3.18 Precipitación media mensual y anual en la localidad de Jesús María	47
Figura 3.19 Variación de la precipitación media anual (mm) en la cuenca de aportación	47
Figura 3.20 Variación de la precipitación máxima registrada en 24 horas	48
Figura 3.21 Estaciones hidrométricas y presas dentro de la cuenca de aportación	51
Figura 3.22 Presas dentro y cerca de la localidad de Jesús María	51

Figura 4.1 Grados de marginación en la zona urbana de Jesús María, Aguascalientes.....	62
Figura 5.1 Interfaz del programa V.E.L.L. elaborado por el CENAPRED.....	68
Figura 5.2. Patrón de distribución temporal de la lluvia en la EMA Calvillo.....	70
Figura 5.3. Patrón de distribución temporal de la lluvia en la EMA Zacatecas	70
Figura 5.4. Hidrograma curvilíneo adimensional del SCS.....	72
Figura 5.5. Pantalla que muestra el modelo de cuenca construido hasta la ciudad de Jesús María.....	74
Figura 5.6. Resultado del análisis de frecuencias de gastos máximos diarios.....	79
Figura 5.7. Resultados del modelo hidrológico para el periodo de retorno de 100 años en la presa Plutarco Elías Calles.....	83
Figura 5.8. Resultados del modelo hidrológico para el periodo de retorno de 50 años en la presa Plutarco Elías Calles.....	84
Figura 5.9. Resultados del modelo hidrológico para el periodo de retorno de 50 años a la salida de la cuenca	85
Figura 5.10. Resultados del modelo hidrológico para el periodo de retorno de 100 años a la salida de la cuenca.....	86
Figura 5.11. Esquema de las cartas topográficas de LIDAR	88
Figura 5.12. Unión de las 3 cartas de LIDAR.....	88
Figura 5.13. LIDAR recortado a la zona a modelar en IBER.....	89
Figura 5.14. Dragado del río San Pedro visto con el software MeshLab	90
Figura 5.15. Figura que muestra los tamaños de los elementos de la Malla para el análisis hidráulico con IBER	91
Figura 5.16. Esquema de los gastos máximos de entrada al modelo del IBER (Condiciones de frontera) para el periodo de retorno de 100 años.	92
Figura 5.17. Modelo en IBER donde se indica las condiciones de frontera (entradas)	93
Figura 5.18 Mapa con el uso del suelo para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning.....	95
Figura 5.19. Figura que muestra la variación de la cobertura vegetal en el modelo IBER.	96
Figura 5.20 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años	97

Figura 5.21 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 2 años	97
Figura 5.22 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años	98
Figura 5.23 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años	98
Figura 5.24 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años	99
Figura 5.25 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años	99
Figura 5.26 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años	100
Figura 5.27 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años	100
Figura 5.28 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años	101
Figura 5.29 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años	101
Figura 5.30 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María con los valores de los tirantes máximos alcanzados para el periodo de retorno de 2 años.....	102
Figura 5.31 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María con los valores de los tirantes máximos alcanzados para el periodo de retorno de 100 años	103
Figura 5.32 Resultados que muestran una corriente que confluye al río San Pedro, pero aguas abajo de la zona simulación.....	104
Figura 5.33. Resultados inmediatamente aguas arriba del cruce del río San Pedro con la Avenida Miguel de la Madrid para el $Tr=100$ años.....	104
Figura 5.34. Tirantes máximos para un $Tr=2$ años 300 m aguas arriba del cruce entre Miguel de la Madrid y el río San Pedro	105
Figura 5.35 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María a 300 m aguas arriba del cruce de la AV. Miguel de La Madrid y el río San Pedro y los tirantes máximos correspondientes al periodo de retorno de 100 años	106
Figura 5.36 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María a 300 m aguas arriba del cruce de la AV. Miguel de la Madrid y el río San Pedro y los tirantes máximos correspondientes al periodo de retorno de 100 años. Ajustando la escala mínima a 1m.	106

Figura 5.37 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María a 300 m arriba del cruce de la AV. Solidaridad y el río San Pedro y los tirantes máximos correspondientes al periodo de retorno de 100 años. Escala máxima de 0.70 m y escala mínima de 0.40 m.....	107
Figura 5.38 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María en la confluencia entre el río Chicalote y el río San Pedro y los tirantes máximos.	107
Figura 5.39 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María en la confluencia entre el río Chicalote y el río San Pedro y los tirantes máximos. Ajustando la escala máxima a 1 metro y la mínima a 0.2 m.	108
Figura 5.40 Comparación de los hidrogramas resultantes a la salida de la cuenca obtenidos con la modelación hidrológica y la modelación hidráulica.	108
Figura 5.41 Diagrama de Dórrigo.....	109
Figura 5.42 Código de colores para elaborar mapas de severidades	110
Figura 5.43 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 2 años.....	111
Figura 5.44 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 5 años.....	112
Figura 5.45 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 10 años	112
Figura 5.46 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años	113
Figura 5.47 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años	113

Lista de tablas

Tabla 2.1 Estrategias y opciones para la gestión de crecidas	7
Tabla 2.2 Matriz de análisis de la Ley de Protección Civil del Estado de Aguascalientes.	11
Tabla 2.3 Ámbito de competencia de las instituciones involucradas	15
Tabla 3.1 Estados que componen la cuenca de aportación.....	27
Tabla 3.2 Municipios que componen la cuenca de aportación.....	27
Tabla 3.3 Porcentajes de cobertura Vegetal y uso de suelo en la cuenca de aportación	28
Tabla 3.4 Porcentajes de tipo de suelo en la cuenca de aportación.....	30
Tabla 3.5 Relación de las subcuencas en que se dividió la cuenca.....	33
Tabla 3.6 Grupo edafológico y tipo de suelo	35
Tabla 3.7 Valores del número de escurrimiento.....	36
Tabla 3.8 Características fisiográficas de las subcuencas	38
Tabla 3.9 Resumen de las estaciones climatológicas localizadas dentro y fuera de la cuenca.....	40
Tabla 3.10 Información de las estaciones climatológicas localizadas dentro y fuera de la cuenca.....	40
Tabla 3.11 Estaciones Meteorológicas Automáticas dentro y cerca de la cuenca de aportación.....	45
Tabla 3.12 Precipitación media mensual y anual en la localidad de Jesús María	46
Tabla 3.13 Estaciones hidrométricas dentro de la cuenca	49
Tabla 3.14 Presas de almacenamiento y derivación.....	52
Tabla 4.1 Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie, en km ² por estación).....	57
Tabla 4.2 Dimensiones e indicadores del índice de marginación urbana por AGEB, 2010	61
Tabla 4.3 Complemento del IMU	61
Tabla 4.4 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Jesús María, Aguascalientes.....	62
Tabla 5.1. Distribución de estaciones pluviométricas, con más de 20 años completos, en la república mexicana	66

Tabla 5.2 .Lluvia máxima considerando toda la cuenca para 24 y 48 horas para diferentes periodos de retorno	67
Tabla 5.3. Precipitación máxima (mm) en 24 y 48 horas en cada una de las subcuencas	68
Tabla 5.4. Resumen de las EMAs analizadas	69
Tabla 5.5. Gastos máximos diarios de entrada a la presa El Niagara	75
Tabla 5.6. Relación entre los gastos diarios y los máximos instantáneos en la EH El Niagara II.....	76
Tabla 5.7. Gastos instantáneos de entrada a la presa El Niagara y los gastos de salida en la cuenca de estudio.....	76
Tabla 5.8. Gastos máximos diarios de entrada a la presa Calles	78
Tabla 5.9. Valores de los gastos máximos de entrada a la presa Calles para los periodos de retorno	79
Tabla 5.10. Valores de los números de escurrimiento (N) calibrados.....	80
Tabla 5.11. Gastos máximos (m^3/s) para diferentes periodos de retorno en las subcuencas.....	81
Tabla 5.12. Gastos máximos (m^3/s) para diferentes periodos de retorno en cada entrada al área que se modelará en el IBER.	82
Tabla 5.13. Precipitación en la zona de modelación hidráulica para una duración de 48 horas.....	92
Tabla 5.14. Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning “n” de acuerdo con el uso del suelo	94
Tabla 5.15. Comparación de los gastos máximos (m^3/s) obtenidos con la modelación hidrológica e hidráulica a la salida de la cuenca sobre el río San Pedro.....	109

1. Introducción

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

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

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

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

En este documento se presenta el *Programa Contra Contingencias Hidráulicas para la Zona Urbana de Jesús María, Aguascalientes*, perteneciente a la Región Hidrológico-Administrativa (RHA) VIII, Lerma-Santiago-Pacífico. Contiene la caracterización de la zona urbana, considerando los aspectos económicos, sociales y ambientales, el diagnóstico de la problemática existente, un análisis de riesgo en el que se encuentra la población y zonas productivas. Finalmente se presenta una propuesta de acciones que ayuden a prevenir y mitigar los daños causados por inundaciones.

2. Gestión integrada de crecidas

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 resulta necesariamente en un enfoque limitado y poco sistemático. Por ello, la GIC procura cambiar el paradigma del enfoque fragmentado tradicional y fomenta la utilización eficiente de los recursos de la cuenca fluvial como un todo, empleando estrategias para mantener o aumentar la productividad de las llanuras de inundación, al tiempo que se adoptan medidas de protección contra las pérdidas causadas por las inundaciones.

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

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 crecidas

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

Objetivo 1. Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua

Objetivo 2. Incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones

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

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

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

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

Particularmente los dos primeros contemplan estrategias y acciones que preparan a la sociedad mexicana a fin de que pueda afrontar en mejores condiciones los posibles efectos del cambio climático, tanto en aquellas zonas donde existe la probabilidad de disminución de los regímenes pluviales como en aquéllas 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
Atenuar los efectos de las inundaciones	Predicción y alerta de crecidas
	Información y educación
	Preparación en caso de desastres
	Medidas de recuperación después de la inundación
Preservar los recursos naturales de las llanuras de inundación	Seguro contra inundaciones
	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.

Se elabora el programa de obras y acciones calendarizado y se realiza el seguimiento de obras.

2.4 Matriz de análisis de la ley estatal de protección civil

La ley vigente de Protección Civil del Estado de Aguascalientes fue emitida en junio de 2013. Su objeto es promover y regular las acciones en materia de protección civil en la entidad y tiene como propósito fomentar la prevención, así como la participación de los sectores privado y social junto con el Estado y Municipios a fin de establecer condiciones adecuadas para vivir con mayor seguridad y mejor protección.

El Sistema Estatal de Protección Civil está integrado por órganos de planeación, administración y operación, estructurados mediante normas, métodos y procedimientos que coordinan las acciones de las dependencias y organismos de la Administración Pública Estatal, de los Municipios y las Organizaciones de los Sectores Social y Privado, para instrumentar la política estatal de protección civil, programando y realizando las acciones de prevención, auxilio y recuperación o restablecimiento.

La ley obliga a cada uno de los municipios del Estado a conformar un Sistema Municipal de Protección Civil y elaborar reglamentos que establezcan su organización y regulen su operación, de acuerdo a la disponibilidad de recursos humanos, materiales y financieros, así como la probabilidad de riesgos y desastres, incorporando a su organización a los sectores representativos del Municipio.

Los programas de estatal y municipales de protección civil contemplan las etapas de prevención, auxilio y recuperación para fenómenos perturbadores de tipo geológico, hidrometeorológico, químico-tecnológico, sanitario-ecológico y socio-organizativo (Tabla 2.2).

En una línea de prevención y de gestión integrada de riesgos, la ley norma todo lo referente a la declaratoria de emergencia, inspecciones y detección de zonas de riesgo. Corresponde a las Coordinaciones de Protección Civil, monitorear y vigilar de manera ordinaria el territorio de su competencia como las reservas territoriales, previendo los instrumentos y acciones en zonas urbanas y rurales. De igual forma, las coordinaciones realizarán de

manera metódica estudios de investigaciones multidisciplinarias que consideren todas las amenazas naturales y antropogénicas en el territorio estatal, incluyendo fenómenos hidrometeorológicos, químico-tecnológicos, sanitario-ecológicos, geológicos y socio-organizativos.

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

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

Lo que incluye	Lo que omite
	Centros regionales permanentes de PC
	Vigila destino final de desechos sólidos
	Autoridad para deducir 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 la 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.
- Secretaria de Hacienda y Crédito Público para efectos de transferir a los estados los recursos económicos con el objeto de afrontar los riesgos en materia de gestión integral de inundaciones.
- El Congreso de la Unión (Cámara de diputados y Cámara de Senadores)
- Secretaria de la Función Pública, hasta en tanto no se publique en el Diario Oficial de la Federación la Comisión Anticorrupción.
- En su caso, conjuntamente con los tres niveles de gobierno, Federal, Estatal y municipal.

Estatales

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

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

Municipales

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

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

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

Tabla 2.3. Ámbito de competencia de las instituciones involucradas

Instituciones	Artículos	Atribuciones
Secretaría de Gobernación (SEGOB)	5FXXIV,XXVII	Fracción XXIV, coordinar a las diversas dependencias y entidades que, por sus funciones, deban participar en las labores de auxilio, en caso de desastres o emergencias. Fracción XXVII, coordinar las acciones de Seguridad Nacional y establecer políticas de Protección Civil. Reglamento Interior D.O.F. 2/04/2013.
Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA)	28FXXXVI,3 8FVII	Reglamento Interior. - DOF.- 17-10-2011.- Artículo 28 fracción XXXVI. Proponer directivas orientadas a la prevención y control de desastres en asuntos de su competencia. - Artículo 38 fracción VII. Planear, dirigir y coordinar el trabajo de ingenieros en beneficio de la Secretaría y de la población civil, en casos de desastres y demás necesidades públicas.
Secretaría de Marina (SEMAR)	16FX,2FX	Reglamento Interior: DOF. -31-12-2012.- Artículo 16 fracción X.- Corresponde a la Dirección General de Investigación y Desarrollo. - Obtener procesar y difundir información meteorológica y de fenómenos oceánicos y atmosféricos, coordinando lo que proceda con el Servicio Meteorológico Nacional. Ley Orgánica de la Armada de México. DOF 31/12/2012.- Artículo 2 fracción X.- El de realizar actividades de investigación científica, oceanográfica, meteorológica, biológica y de los recursos humanos, actuando por sí sólo o en coordinación con otras instituciones nacionales o extranjeras, o en coordinación con dependencias y entidades de la Administración Pública Federal. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. - Artículo 30 fracción XXI.- Participar y llevar a cabo las acciones que le corresponda dentro del marco del Sistema Nacional de Protección Civil para la prevención, auxilio, recuperación y apoyo a la población en situaciones de desastre.
Secretaría de Gobernación.- Comisionado nacional de seguridad.	38FI	Reglamento Interior. - DOF 2-04-2013.- Artículo 38 fracción i.- Proponer al Secretario las Políticas, programas y acciones tendientes a garantizar la seguridad pública de la Nación y de sus habitantes, así como coordinar y supervisar su ejecución e informar sobre sus resultados. Reglamento del Servicio de Protección Federal. -DOF 9/112/2008.- Facultades del Comisionado. - Artículo 10 fracción VIII.- Apoyar la participación de las instituciones públicas federales en la implementación de programas de 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.

Instituciones	Artículos	Atribuciones
Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)	18 FI	Fracción I. Realizar la planeación necesaria para configurar estrategias, programas, proyectos y acciones para el desarrollo social.
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	31FXI, XXI	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. - Artículo 32 BIS fracción XI.- Evaluar y dictaminar las manifestaciones de impacto ambiental de proyectos de desarrollo que le presenten las Secretarías públicas sociales y privadas, resolver sobre los estudios de riesgo ambiental, así como sobre los programas para la prevención de accidentes con incidencia ecológica. Fracción XXI.- Dirigir los estudios, trabajos y servicios meteorológicos, climáticos, hidrológicos y geohidrológicos, así como el Sistema Meteorológico Nacional, y participar en los convenios internacionales sobre la materia.
Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	9Inciso a) FXL	Ley de Aguas Nacionales.- Artículo 9 inciso a).- Fracción XL.- Participar en el Sistema Nacional de Protección Civil y apoyar en la aplicación de los planes y programas de carácter federal para prevenir y atender situaciones de emergencias, causadas por fenómenos hidrometeorológicos extremos.
Secretaría de Energía (SENER)	33FI	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 33 fracción I.- Establecer y conducir la política energética del país, así como supervisar su cumplimiento con prioridad en la seguridad y diversificación energética, el ahorro de energía, entre otras acciones y en términos de las disposiciones aplicables, correctivas, realizar y promover programas, proyectos, estudios e investigación sobre las materias de su competencia.
Secretaría de Economía (SE)	34FIX	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 34 fracción IX.- Participar con las Secretarías de Desarrollo Social, de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la distribución y comercialización de productos y el abastecimiento de los consumos básicos de la población.
Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)	35FI	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 35 fracción I.- Formular, conducir y evaluar la política general de desarrollo rural, a fin de elevar el nivel de vida de las familias que habitan en el campo en coordinación con las dependencias competentes.- Fracción II.- Promover el empleo en el medio rural, así como establecer programas y acciones que tiendan a fomentar la productividad y la rentabilidad de las actividades económicas rurales.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)	36FII XXI	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 36 fracción II.- Regular, inspeccionar y vigilar los servicios públicos de correos y telégrafos y sus servicios diversos; conducir la administración de los servicios federales de comunicación eléctricas y electrónicas y su enlace con los servicios similares públicos concesionados, con los servicios privados de teléfono, telégrafos e inalámbricos y con los estatales y extranjeros, así como del servicio público de procesamiento remoto de datos. Fracción XXI.- Construir y conservar los caminos y puentes federales, incluso los internacionales; así como las estaciones y controles de autotransporte federal.
Secretaría de Educación Pública (SEP)	38FXXI	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.- Artículo 38 fracción XXI.- Conservar, proteger y mantener los monumentos arqueológicos, históricos y artísticos que conforman el patrimonio cultural de la Nación, atendiendo las disposiciones legales en la

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

Instituciones	Artículos	Atribuciones
		para la familia, adicionados y otros, así como prestar los servicios de beneficios colectivos que señale esta Ley.
Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE)	4FII,23FVI	Ley del ISSSTE.-DOF.-28-05-2012.- Artículo 4 fracción II, inciso d).- Préstamos personales extraordinarios para damnificados por desastres naturales.- Estatuto Orgánico artículo 23 fracción VI.- El de resolver bajo su inmediata directa responsabilidad los asuntos urgentes del instituto, a reserva de informar a la Junta sobre las acciones y los resultados obtenidos.
Distribuidora de Conasupo (DICONSA)	2.1	Reglas de Operación, el de contribuir a mejorar la nutrición como una capacidad básica de la población que habita en localidades rurales. 2.2. Abastecer localidades rurales de alta y muy alta marginación con productos, en forma eficaz y oportuna.
Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)	109FI	El de investigar los peligros, riesgos y daños producidos por agentes perturbadores que puedan dar lugar a desastres integrando y ampliando los conocimientos de tales acontecimientos, en coordinación con las dependencias y entidades responsables.
Petróleos Mexicanos (PEMEX)	4FII	Estatuto Orgánico de Petróleos Mexicanos, el de emitir a propuesta del Comité correspondiente las políticas y lineamientos en materia de, inciso f).- Programar y proyectos, contratación de terceros experto independiente, prelación entre los proyectos de gran magnitud alta prioridad y otros proyectos relevantes, así como los criterios para definir los casos y la etapa de la fase de los proyectos y programas de inversión de los organismos subsidiarios que deberán ser aprobados por el Consejo de Administración, previo acuerdo del Consejo de Administración del Organismo Subsidiario correspondiente.
Desarrollo Integral de la Familia (DIF)	4FXXV	Estatuto Orgánico: Promover la atención y coordinación de las acciones de los distintos sectores sociales que actúen en beneficio de aquellos, en el ámbito de su competencia, en casos de desastres como inundaciones, terremotos, derrumbes, explosiones, incendios, y otros de naturaleza similar por los que se causen daños a la población, el organismo, sin perjuicio de las atribuciones que en auxilio de los damnificados lleve a cabo otras dependencias y entidades.
Universidad Autónoma de México (UNAM)	1	La Universidad Nacional Autónoma es una corporación pública-organismo descentralizado del estado - dotada de plena capacidad jurídica y que tiene por fines impartir educación superior para formar profesionales, investigadores, profesores universitarios y técnicos útiles a la sociedad; organizar y realizar investigaciones principalmente acerca de las condiciones y problemas nacionales, y extender con la mayor amplitud posible, los beneficios de la cultura.
Cruz Roja Mexicana	2. 8	Decreto presidencial del 21 de febrero de 1910, en su estatuto, artículo 2 inciso 8) el de proponer a mejorar la salud, prevenir las enfermedades y aliviar los sufrimientos espirituales y corporales, desarrollando al efecto toda acción humanitaria tendiente a estos fines, de acuerdo con sus posibilidades, las leyes y demás disposiciones legales vigentes en el país. La Cruz Roja debe considerar como auxiliar de los poderes públicos, la conformidad con el Convenio de Ginebra del 6 de julio de 1908, con el decreto firmado por el Presidente de los Estados Unidos Mexicanos el 21 de febrero de 1910.
Bomberos	3FVI	Señala que por auxilio se entenderá a las acciones destinadas primordialmente a salvaguardar la vida de las personas, sus bienes y

Instituciones	Artículos	Atribuciones
		la planta productiva y a preservar los servicios públicos y el medio ambiente, ante la presencia de un agente destructivo, en donde los agentes destructivos son los fenómenos de carácter hidrometeorológico que puede producir riego, emergencias o desastres. Para efectos de la presente Ley que nos ocupa, los cuerpos de seguridad pública en los Estados de la República Mexicana, por lo general son: Policía Preventiva Estatal, Protección civil y Bomberos, ya que estos están adheridos al Sistema Nacional de Protección Civil, independientemente de su normatividad que los rija en sus estados.

A nivel estatal, la ley de Protección Civil atribuye funciones específicas a los actores gubernamentales, sociales y privados de este orden de gobierno que conforman el Sistema Estatal de Protección Civil. Sin embargo, existen igualmente otras instancias que por su función coadyuvan a las acciones de las autoridades de protección civil. En este sentido, las Comisiones Estatal de Agua en su calidad de organismos públicos descentralizados de la administración pública estatal coadyuvan a las autoridades federales y municipales, durante emergencias que se susciten en los sistemas de agua potable, drenaje, desalojo de aguas residuales y pluviales bajo su administración.

A nivel municipal, la misma ley de Protección civil distribuye funciones específicas y coordinadas en la materia. Los reglamentos de Protección Civil municipal especifican la integración del Sistema Municipal de Protección Civil (el Presidente Municipal, el Consejo Municipal, la Dirección General, las Unidades Internas de los sectores público, social y privado, y los Grupos Voluntarios), y distribuyen funciones a cada uno de ellos.

3. Caracterización de la cuenca y de las zonas inundables

La zona urbana de Jesús María, cuya área aproximada es de 6.82 km², se localiza en el municipio del mismo nombre correspondiente al estado de Aguascalientes. Se ubica al centro del estado y al Este del municipio entre las coordenadas Geográficas 102° 20' 42" de Longitud Oeste y 21°57'39" de Latitud Norte.

Los municipios con los que colinda el municipio de Jesús María están dentro del estado de Aguascalientes. Al norte colinda con los municipios de San José de Gracia y Pabellón de Arteaga, al Sur con el municipio de Aguascalientes, al Este con el municipio de San Francisco de los Romo y al Oeste con el municipio de Calvillo.

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 "Lerma-Santiago" donde se localiza la localidad de Jesús María. Además de acuerdo con la división de las cuencas del Diario Oficial de la Federación (DOF) la localidad está dentro de la cuenca "Presa El Niágara", sin embargo, el municipio está dentro de las cuencas: Presa El Niágara, Río Juchupila I, Presa Ajojuacar y Presa Calles.

Para la administración del Agua, la Comisión Nacional del Agua (Conagua), dividió al país en 13 Regiones Hidrológico Administrativos (RHA), el municipio de Jesús María y por lo tanto la localidad del mismo nombre se encuentran dentro de la RHA VIII "Lerma- Santiago-Pacífico".

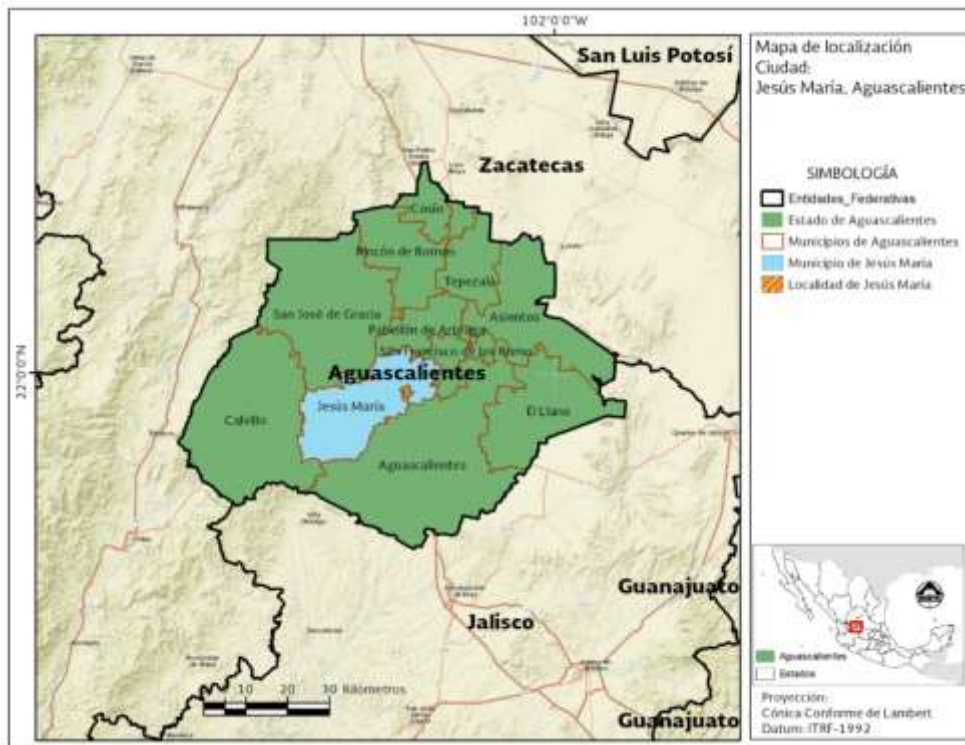


Figura 3.1 Ubicación de la Zona Urbana de Jesús María respecto al estado de Aguascalientes

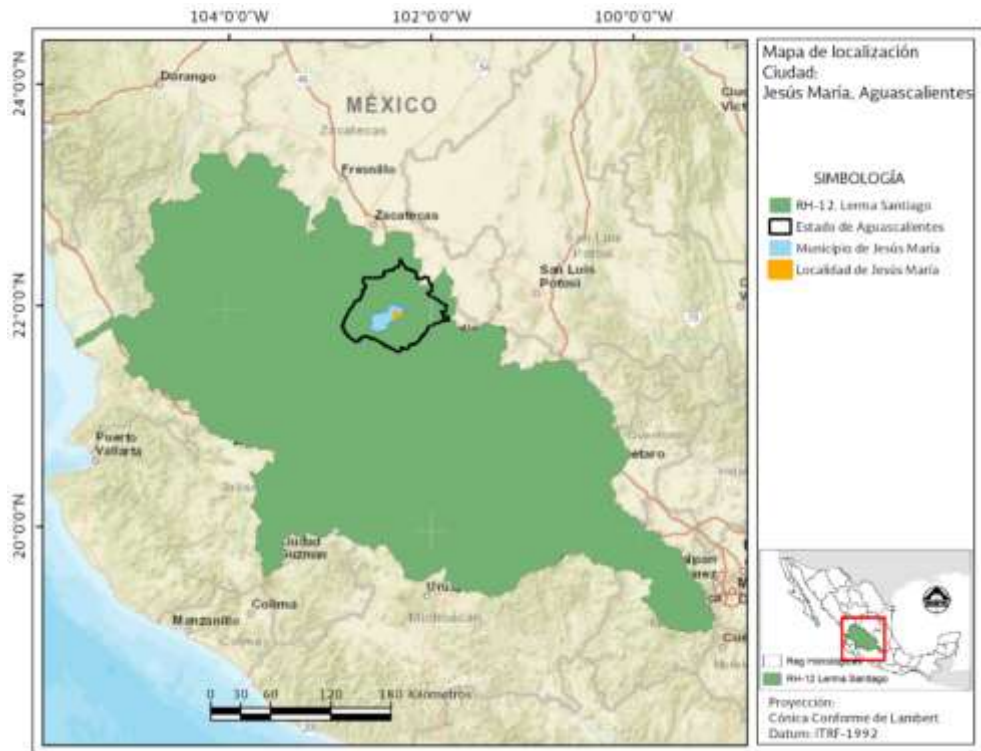


Figura 3.2 Ubicación respecto a las Regiones hidrológicas

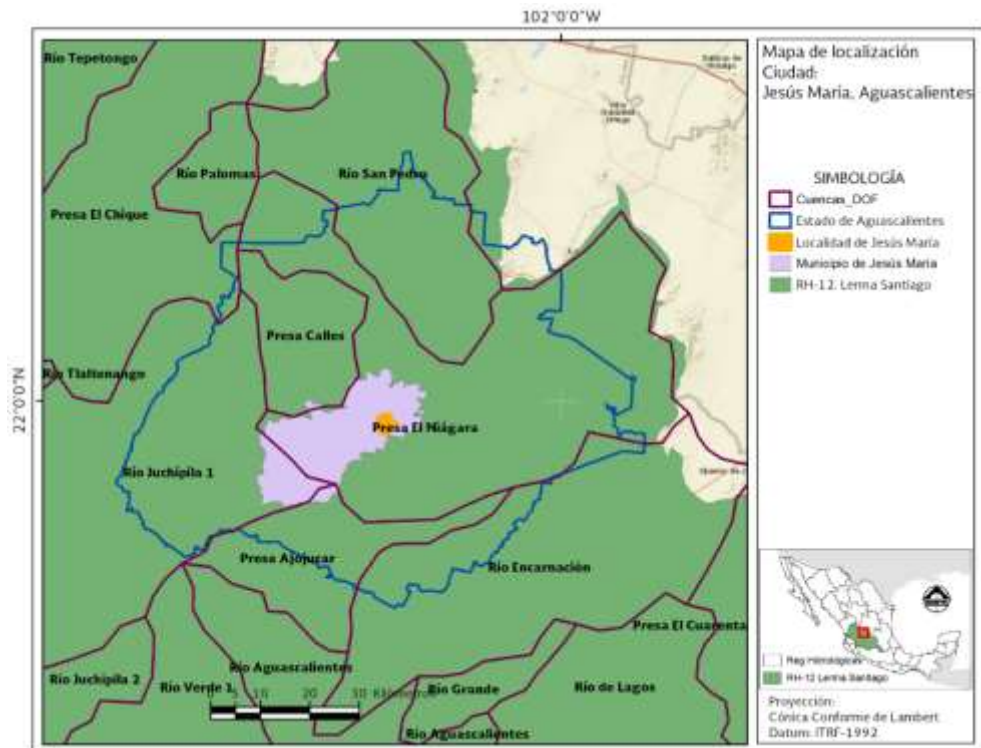


Figura 3.3 Ubicación respecto a las cuencas del DOF

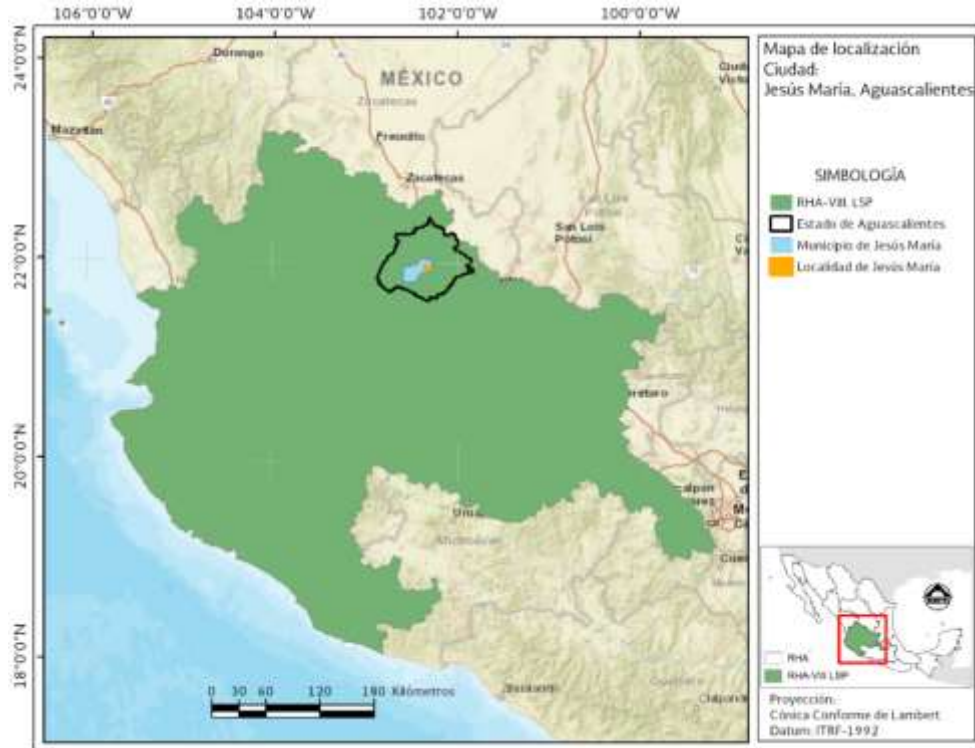


Figura 3.4 Ubicación respecto a las Regiones Hidrológicas Administrativas

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 Jesús María, no se presentan zonas potencialmente inundables (Figura 3.5).

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

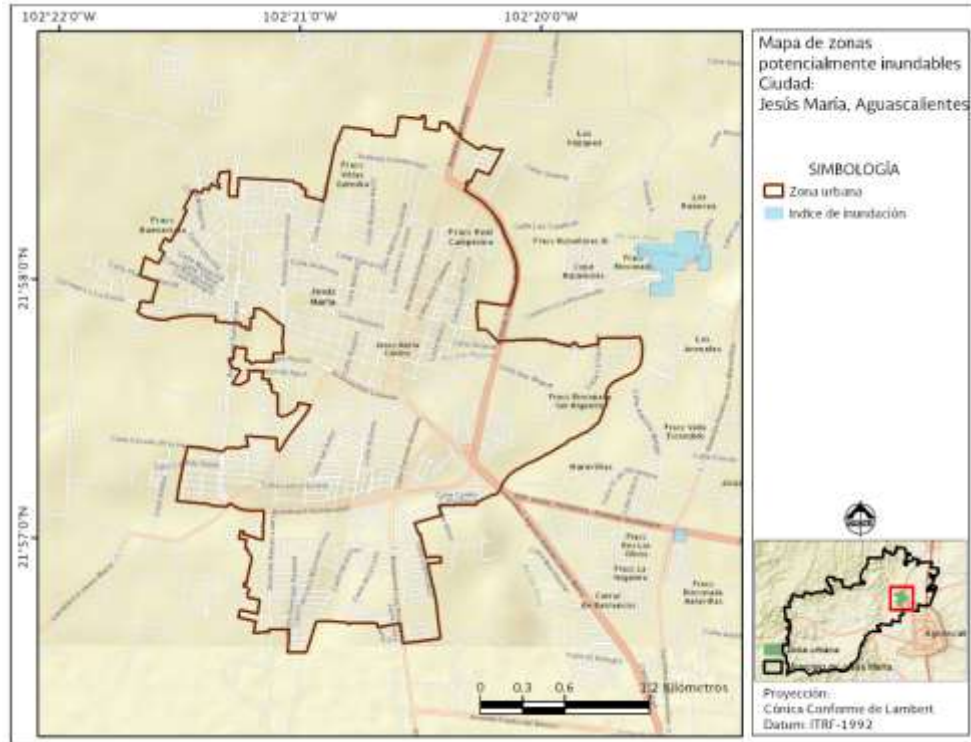


Figura 3.5 Zonas potencialmente inundables

3.2 Caracterización socioeconómica

Jesús María es una ciudad del estado de Aguascalientes, situada a 11 km de la capital del estado y es la cabecera del municipio del mismo nombre. Es la segunda ciudad más poblada e importante del estado. De acuerdo a los datos del Censo de Población y Vivienda 2010, la ciudad cuenta con una población de 43,012 habitantes, de los cuales 6,371 son menores de 5 años y 1,966 mayores de 60. Se contabilizan 1,226 personas con capacidades limitadas. En relación a la escolaridad, el grado promedio es de 8.14 años. La población económicamente activa asciende a 16,730 habitantes, y en materia de salud 10,337 no tienen derecho a servicios de salud. Del total de viviendas –11,436– 319 tienen piso de tierra y 8,982 cuentan con servicios.

3.3 Fisiográfica, meteorológica e hidrológica

El área de estudio corresponde a la zona conurbada de Jesús María tiene una extensión de 6.824 km² y su longitud o perímetro es de 20.8 km. Aproximadamente su elevación en la zona más alta es 1,910 m.s.n.m y en su parte más baja de 1,880 m.s.n.m.

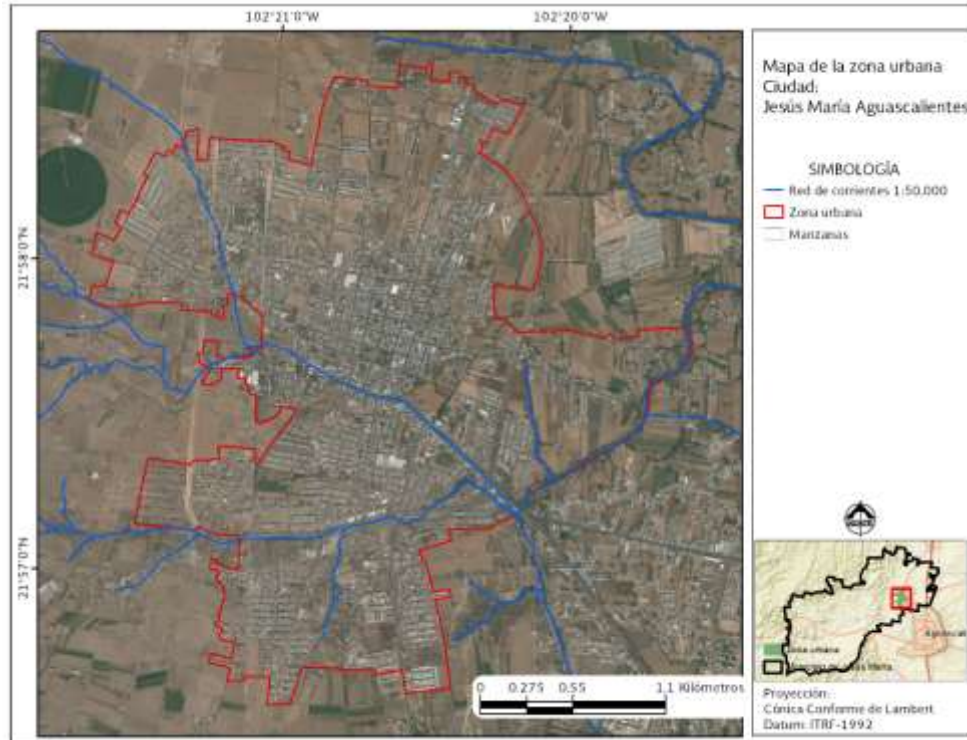


Figura 3.6 Zona Urbana de Jesús María

3.3.1. Cuenca de aportación

Con el fin de estimar el riesgo por inundación en la zona urbana de Jesús María se determinó la cuenca de aportación a la localidad. La cuenca incluye al río San Pedro el cual pasa por los límites de la localidad (lado Este) de Jesús María.

Además, los del río San Pedro, los arroyos El Chaveño y La Pradera se localizan dentro de la zona urbana de Jesús María, el escurrimiento de estos arroyos es regulado en el bordo el Chaveño.

Las intensas precipitaciones que se presentan pueden provocar escurrimientos que sobrepasan la capacidad del río y de los arroyos y, por lo tanto, ocasionar daños por inundación en la localidad.

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

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

El área de la cuenca de aportación resultó de 4,827.741 km². Para la determinación de las avenidas para los diferentes periodos de retorno la cuenca se dividirá en subcuencas considerando como puntos las presas de almacenamiento, derivación o control de avenidas.

Si bien la localidad de Jesús María se localiza en el estado de Aguascalientes, la cuenca de aportación está conformada en un 52.93% por el estado de Aguascalientes, un 45.35% por el estado de Zacatecas y solamente el 1.72% del estado de Jalisco.

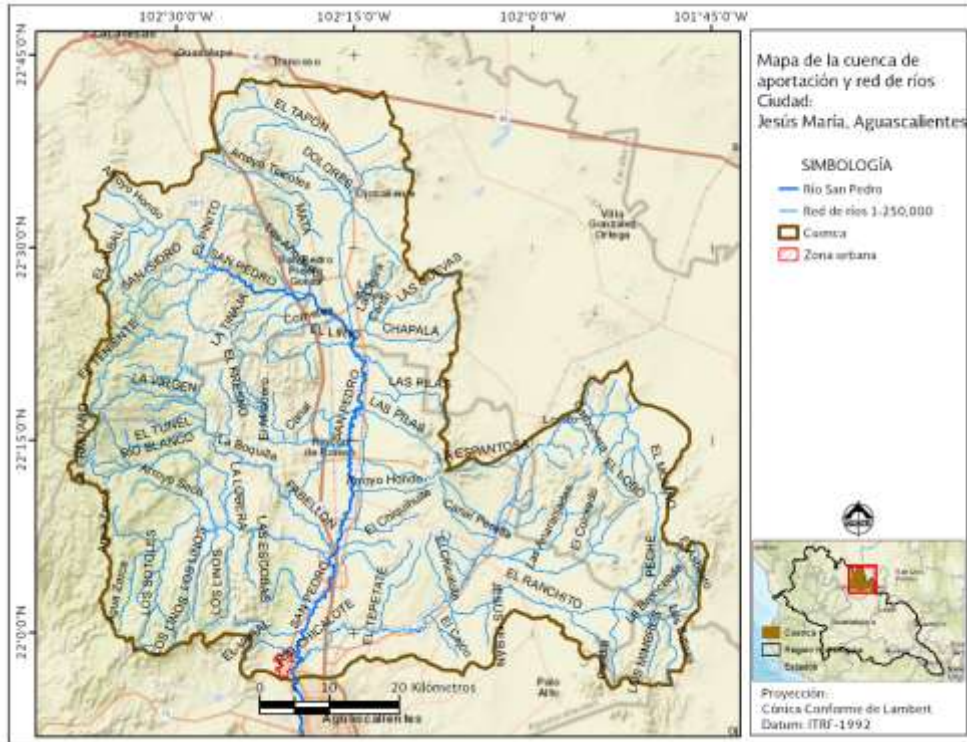


Figura 3.7 Cuenca de aportación a la zona urbana de Jesús María

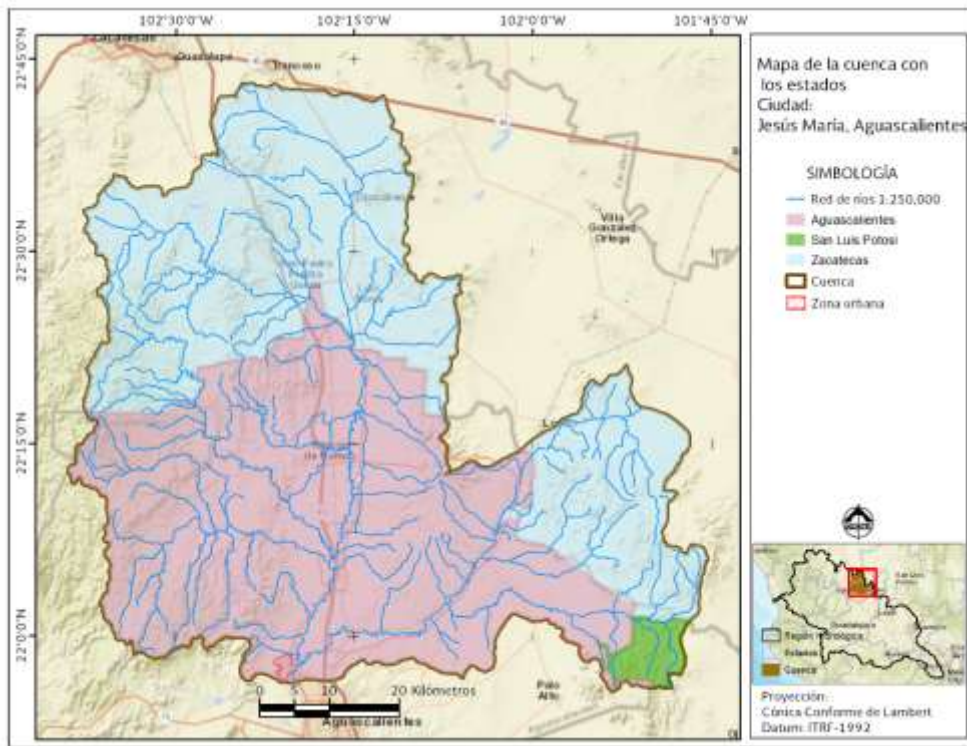


Figura 3.8 Estados que conforman la cuenca de aportación

Tabla 3.1 Estados que componen la cuenca de aportación.

Estado	Área (km ²) del estado dentro de la cuenca	% de la cuenca
Aguascalientes	2,555.356	52.93
Jalisco	82.858	1.72
Zacatecas	2,189.528	45.35
Total	4,827.742	100.00

La cuenca comprende de manera total o parcial 23 municipios: 11 del estado de Aguascalientes (4 completos), 1 del estado de Jalisco (Parcialmente) y 12 del estado de Zacatecas (dos completos).

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 Aguascalientes			
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
Jesús María	152.92	499.90	30.59
San José de Gracia	697.59	857.79	81.32
Rincón de Romos	372.30	372.30	100.00
Tepezalá	229.54	229.66	99.95
Cosío	128.38	128.38	100.00
Pabellón de Arteaga	195.74	195.74	100.00
Estado de Jalisco			
Ojuelos de Jalisco	82.86	1,144.23	7.24
Estado de Zacatecas			
Genaro Codina	522.51	786.42	66.44
General Pánfilo Natera	1.84	437.37	0.42
Guadalupe	84.64	808.34	10.47
Loreto	245.66	424.66	57.85
Luis Moya	175.03	175.03	100.00
Ojocaliente	435.56	637.99	68.27
Pinos	34.03	3,135.80	1.09
Trancoso	31.81	218.45	14.56
Villanueva	8.51	2,156.51	0.39
Cauhtémoc	320.98	320.98	100.00
Noria de Ángeles	7.34	404.20	1.82
Villa García	321.62	338.23	95.09

3.3.2. Relieve

La cuenca de aportación a la zona urbana de Jesús María tiene una elevación máxima y mínima de 3,307 y 1,852 m.s.n.m respectivamente. La elevación media de la cuenca resultó de 2,164 m.s.n.m y la elevación de la localidad de Jesús María es 1,890 msnm.

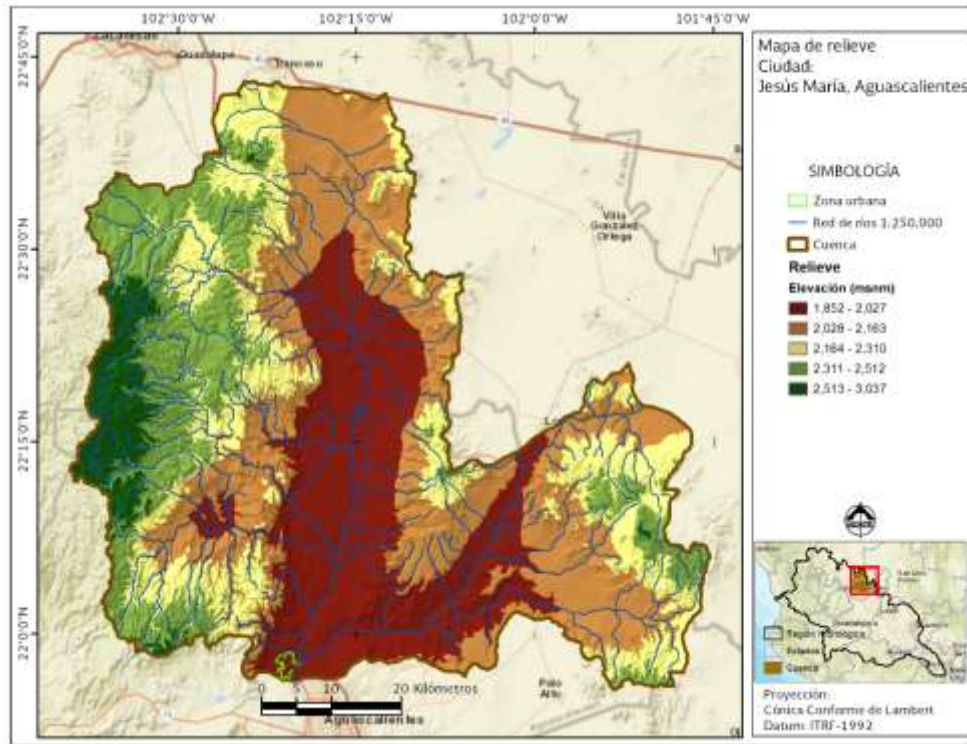


Figura 3.9 Relieve de la cuenca de aportación

3.3.3. Uso de suelo

La cobertura vegetal o uso del suelo que predomina en la cuenca de aportación es la agricultura de temporal y de riego con un 23.19 y 18.07% respectivamente. El pastizal ocupa el 16.23% de la cuenca.

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

Clave	Cobertura vegetal y uso del suelo	Área (km ²)	%
AR	Agricultura de riego	872.37	18.07
AT	Agricultura de temporal	1,119.42	23.19
AH	Asentamientos humanos	18.56	0.38
BQ	Bosque de encino	192.32	3.98
BPO	Bosque de pino-encino	12.39	0.26
H2O	Cuerpo de agua	32.70	0.68
MC	Matorral crasicale	519.44	10.76
PC	Pastizal cultivado	0.98	0.02
PI	Pastizal inducido	66.42	1.38
PN	Pastizal natural	783.57	16.23

Clave	Cobertura vegetal y uso del suelo	Área (km ²)	%
ZU	Zona urbana	42.10	0.87
DV	Desprovisto de vegetación	0.61	0.01
MDM	Matorral desértico micrófilo	3.41	0.07
VSa/BO	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	288.65	5.98
VSa/MC	Vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule	196.32	4.07
VSa/MDM	Vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico micrófilo	3.28	0.07
VSa/PN	Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural	617.74	12.80
VSa/SBC	Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	57.46	1.19
Total		4,827.74	100.00

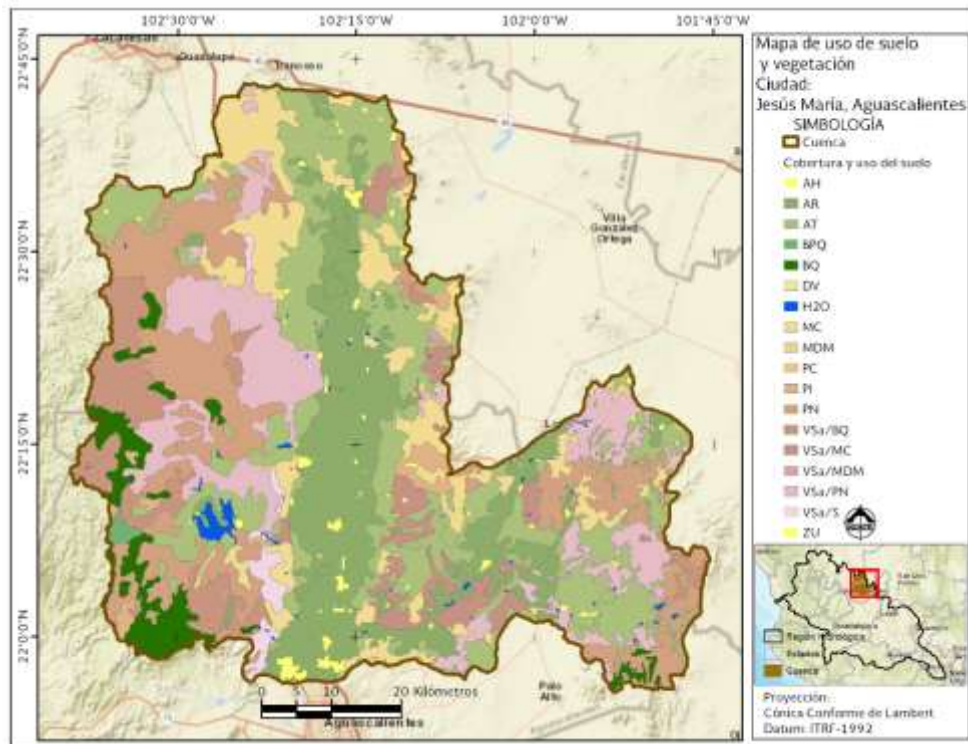


Figura 3.10 Cobertura vegetal y uso del suelo de la cuenca de aportación

3.3.4. Edafología

De acuerdo con las áreas de suelo primario la cuenca de aportación está conformada en su mayor parte por Durisoles y Leptosoles con 28.49 y 27.48% respectivamente; le sigue el Phaeozem con un 16.05%. En la siguiente tabla se presenta los tipos de suelo que contiene la cuenca, así como el porcentaje de cada suelo en la cuenca.

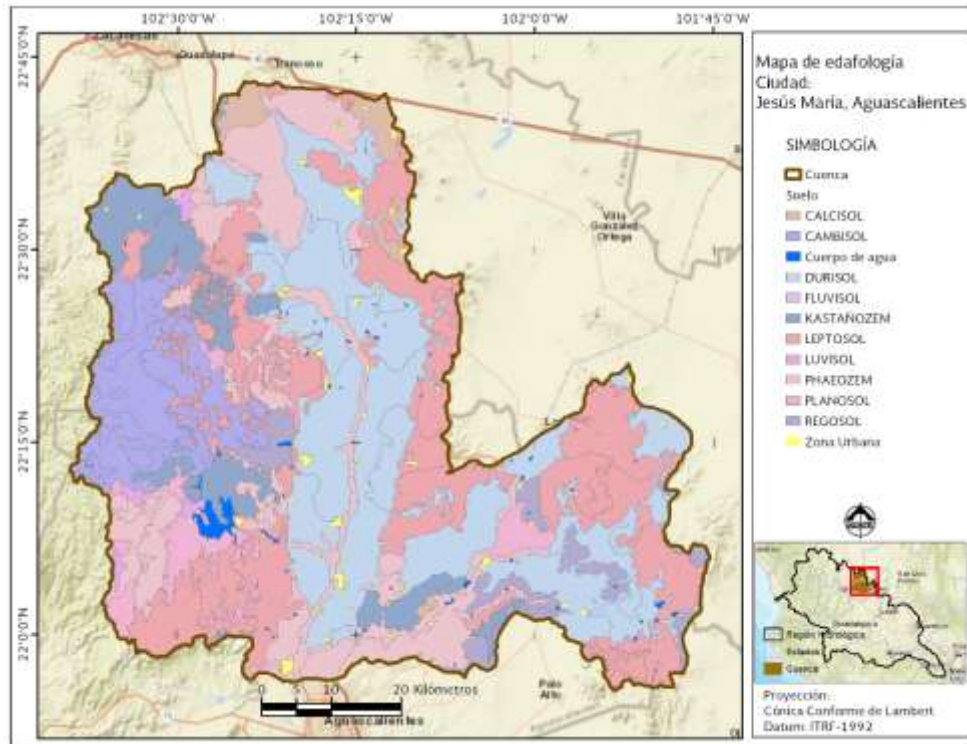


Figura 3.11 Edafología o tipo de suelo (primario) de la cuenca de aportación

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

Tipo de suelo	Área (km ²)	%
Calcisol	96.69	2.00
Cambisol	457.62	9.48
Cuerpo de agua	31.59	0.65
Durisol	1,375.17	28.49
Fluvisol	6.22	0.13
Kastañozem	350.36	7.26
Leptosol	1,326.40	27.48
Luvisol	29.45	0.61
Phaeozem	774.68	16.05
Planosol	165.03	3.42
Regosol	177.25	3.67
Zona urbana	37.07	0.77
Total	4,827.53	100.0

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.

DURISOL.- Suelo que presenta una capa subsuperficial (horizonte Dúrico o Petrodúrico) endurecida o cementada por sílice (SiO_2) dentro de los primeros 100 cm de la superficie del suelo

FLUVISOL.-Suelo caracterizado por tener una serie de capas estratificadas de sedimentos recientes de origen fluvial, marino o lacustre, por lo menos hasta una profundidad de 50 cm.

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

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

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

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

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.

3.3.5. Subcuencas y características fisiográficas

El río San Pedro se localiza en los límites de la ciudad, por lo que el desbordamiento del cauce puede provocar daños por inundación. Además, dentro de zona urbana se localizan los arroyos El Chaveño y La Pradera, el escurrimiento de estos arroyos es regulado en el bordo el Chaveño.

Con la finalidad de determinar los escurrimientos correspondientes al río San Pedro y a los arroyos mencionados; y además 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 subcuenca a otra, lo cual permite calcular los escurrimientos de una manera más precisa.

Para la división de subcuencas se tomaron como criterios 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 26 subcuencas, en las cuales en 17 existe en la salida una presa, en 3 hay bordos pequeños y 6 subcuencas a la salida no tienen presa o bordo.

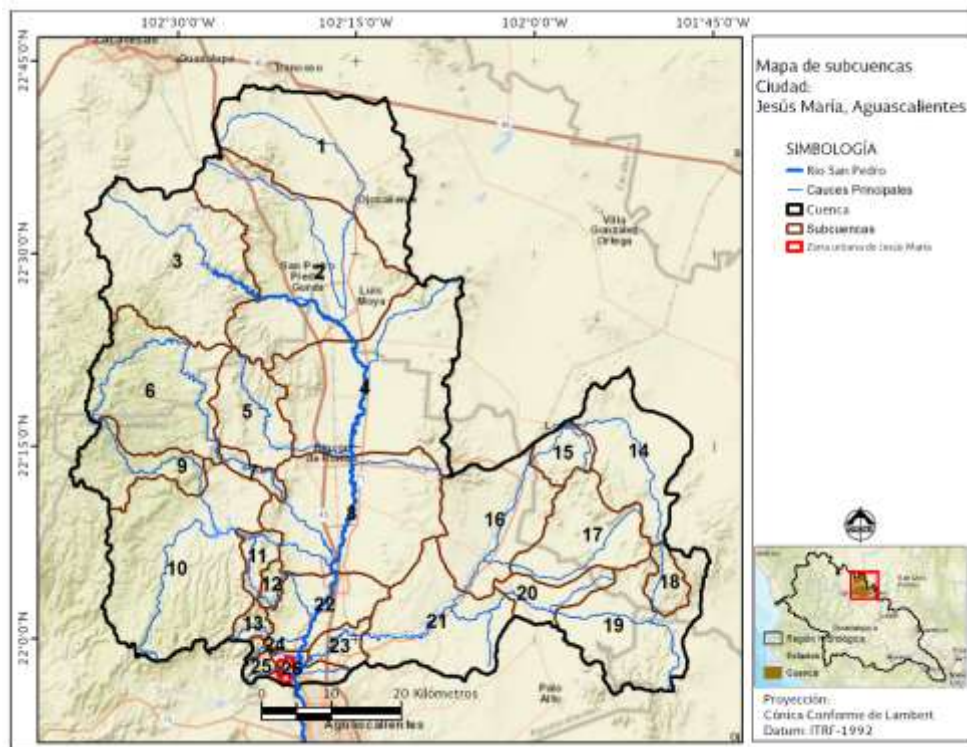


Figura 3.12. Subcuencas y sus cauces principales en las que se dividió la cuenca correspondiente a la ciudad de Jesús María

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

No	Nombre de la Subcuenca	A(km ²)
1	Ojo Caliente	407.705
2	Santa María de la Paz	498.165
3	Presa San Pedro Piedra Gorda	393.280
4	San Antonio	473.763
5	Presa El Saucillo	135.817
6	Presa Pabellón	298.502
7	Presa San Blas	26.594
8	San Francisco de los Romo	393.846
9	Presa 50 Aniversario	116.857
10	Presa Plutarco Elías Calles	474.092
11	Presa Jocoqui	37.004
12	Presa el Garabato	18.736
13	Presa El Chichimeco	21.610
14	Presa San Marcos	218.346
15	Presa San Gil	55.502
16	Presa Llaverero o la Diosa	236.332
17	Presa Alcantares	183.749
18	Presa Art 115 Constitución	42.497
19	Presa Pilotos	245.074
20	Bordo Cañada Honda	69.891
21	Presa Loretito	248.807
22	Presa Los Cuartos	131.470
23	Río Chicalote	40.693
24	Bordo el Chicahual	6.842
25	Bordo el Chaveño	14.170
26	Río San Pedro-Jesús María	38.400

Donde: A= Área de la subcuenca

Una vez que se definió la cuenca de aportación y las subcuencas; es necesario calcular las características fisiográficas necesarias 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 ⁷

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

donde

Tc = 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 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.

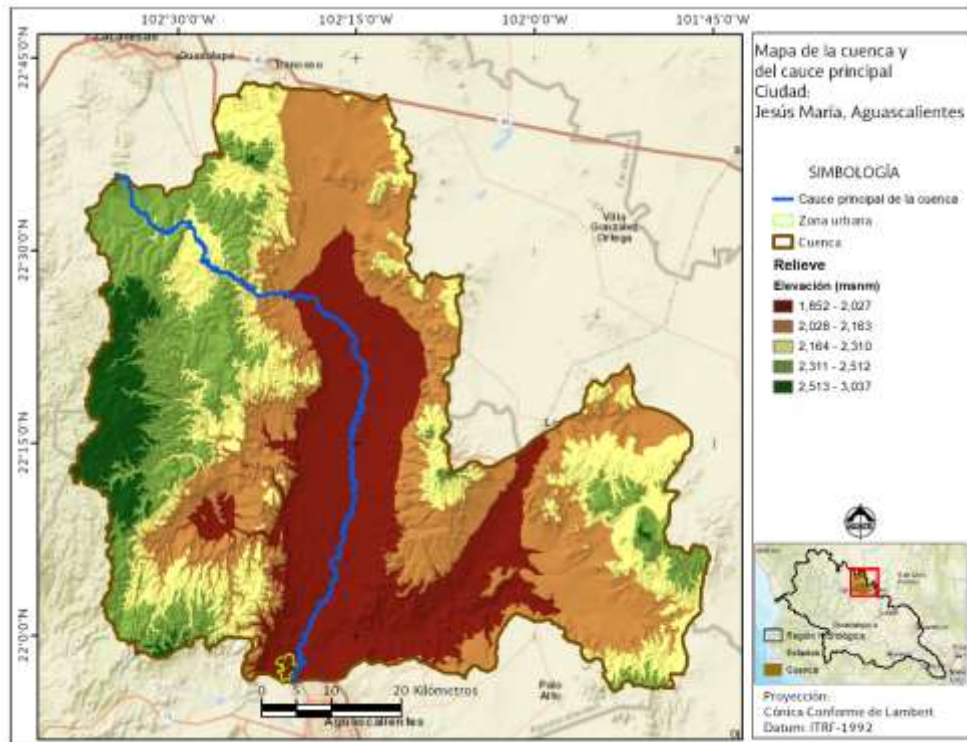


Figura 3.13 Cauce principal de la cuenca

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 cuatro grupos, donde se observa que predomina el grupo de suelo D seguido por el C.

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

Tabla 3.7 Valores del número de escurrimiento

Cobertura vegetal o uso del suelo	Grupo de suelo			
	A	B	C	D
Agrícola-Pecuaria	49	69	79	84
Agrícola-pecuaria-forestal	49	69	79	84
Agricultura de riego	62	71	78	81
Agricultura de temporal	67	78	85	89
Agua	90	90	90	90
Área sin vegetación	77	86	90	92
Asentamientos humanos	79	86	90	92
Bosque de Ayarín	40	62	76	81
Bosque de coníferas	36	55	70	77
Bosque de encino	36	60	73	79
Bosque de encino pino	36	60	73	79
Bosque de oyamel	36	55	70	77
Bosque de pino	40	62	76	81
Bosque de pino-encino	36	60	74	80
Bosque de Táscate	37	60	71	78
Bosque Latifoliado	26	52	62	69
Bosque mesofilo de montaña	36	60	70	77
Chaparral	50	69	79	84
Complementaria	30	58	71	78
Cuerpo de agua	95	95	95	95
Desprovisto de vegetación	77	86	90	92
Humedal con Bosque	36	60	70	77
Manglar	36	60	70	77
Matorral desertico microfilo	50	69	79	84
Matorral desértico rosetófilo	50	69	79	84
Matorral xerofilo	48	67	77	83
Otros tipos de vegetacion	50	69	79	84
Palmar inducido	76	85	88	90
Pastizal	48	67	77	83
Pastizal Cultivado	25	59	75	83
Pastizal Hallofilio	48	67	77	83
Pastizal inducido	25	59	75	83
Pastos Naturales	49	69	79	84
Popal	87	89	92	94
Sabana	39	61	74	80
Selva alta perennifolia	36	60	70	77
Selva alta Superennifolia	36	60	70	77
Selva baja caducifolia	39	63	74	80
Selva baja perennifolia	46	68	78	84
Selva baja subcaducifolia	39	63	74	80
Selva baja subperennifolia	36	60	70	77
Selva caducifolia	39	61	74	80
Selva mediana subcaducifolia	39	63	74	80
Selva mediana subperennifolia	39	63	74	80

Cobertura vegetal o uso del suelo	Grupo de suelo			
	A	B	C	D
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).

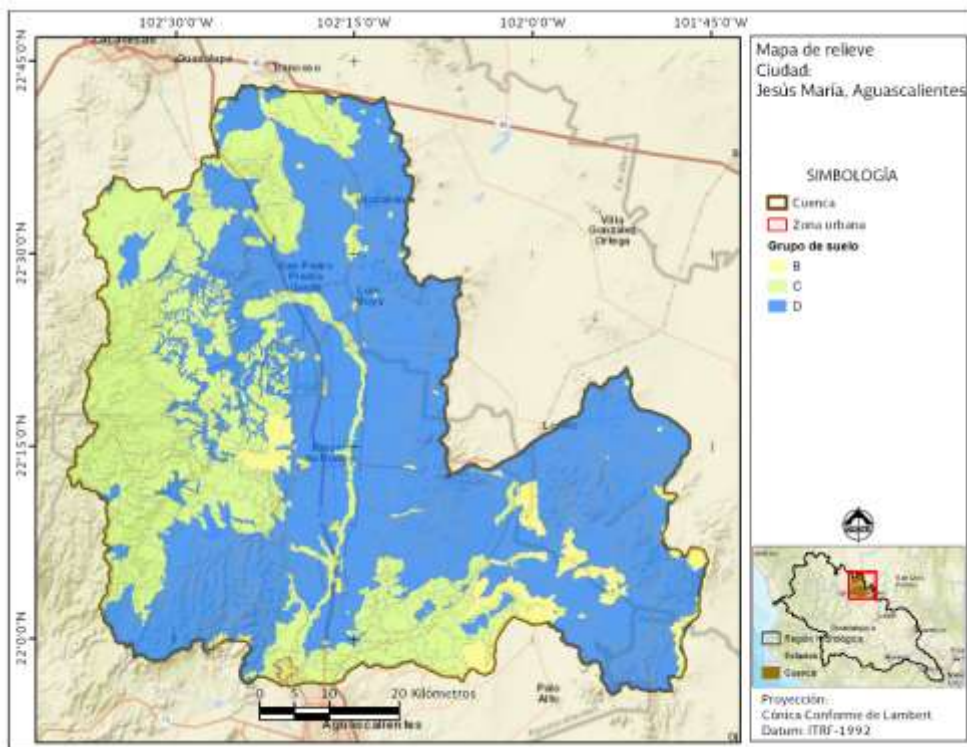


Figura 3.14 Clasificación del suelo en los cuatro grupos

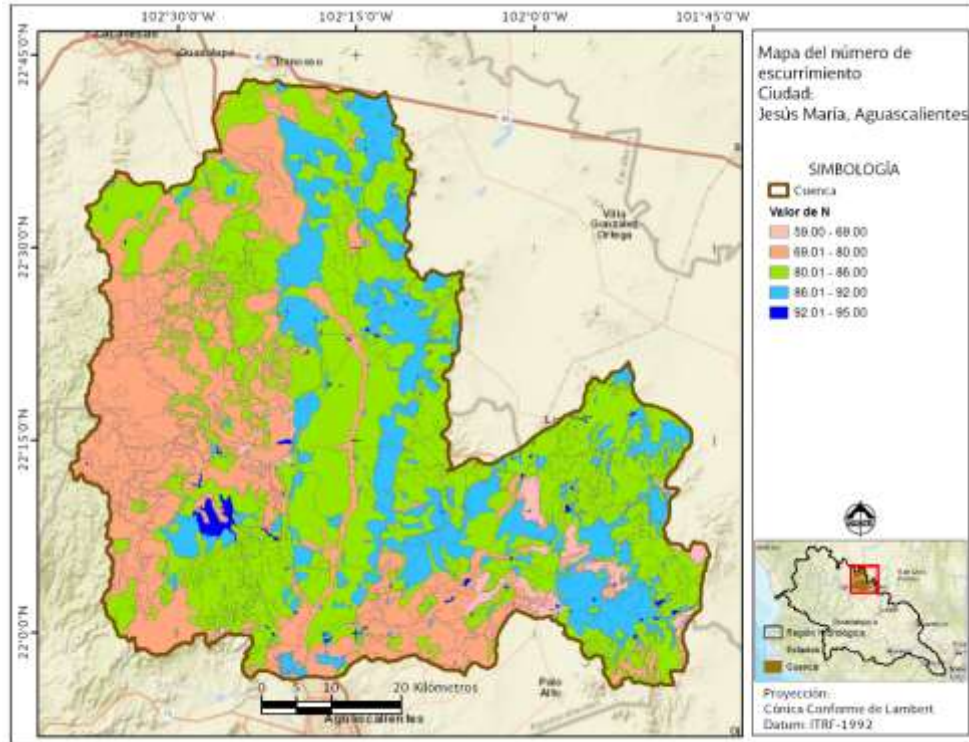


Figura 3.15. Variación del número de escurrimiento N en la cuenca de la ciudad de Jesús María

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	Ojo Caliente	407.705	35,422	0.00220	10.89	6.62	84.52
2	Santa María de la Paz	498.165	42,481	0.00162	14.12	8.21	82.73
3	Presa San Pedro Piedra Gorda	393.280	42,137	0.00217	12.53	7.43	80.64
4	San Antonio	473.763	41,699	0.00146	14.48	8.38	83.33
5	Presa El Saucillo	135.817	28,207	0.00118	11.62	6.99	78.90
6	Presa Pabellón	298.502	58,054	0.00329	13.66	7.99	77.46
7	Presa San Blas	26.594	15,806	0.00281	5.33	3.65	76.82
8	San Francisco de los Romo	393.846	37,709	0.00210	11.64	6.99	82.81
9	Presa 50 Aniversario	116.857	27,660	0.00482	6.66	4.40	76.10
10	Presa Plutarco Elías Calles	474.092	40,139	0.00121	15.12	8.69	81.15
11	Presa Jocoqui	37.004	15,715	0.00323	5.03	3.48	83.06
12	Presa el Garabato	18.736	8,564	0.00415	2.86	2.18	81.96
13	Presa El Chichimeco	21.610	8,040	0.00605	2.36	1.85	80.76
14	Presa San Marcos	218.346	30,595	0.00192	10.26	6.30	84.09
15	Presa San Gil	55.502	19,113	0.00170	7.49	4.85	82.46
16	Presa Llaverero o la Diosa	236.332	24,915	0.00126	10.31	6.32	82.28
17	Presa Alcantares	183.749	25,871	0.00172	9.41	5.86	82.58
18	Presa Art 115 Constitución	42.497	12,541	0.00336	4.16	2.97	83.32

No	Nombre de la Subcuenca	A(km ²)	L (m)	S	Tc (hr)	Tr (hr)	N
19	Presa Pilotos	245.074	31,053	0.00146	11.54	6.95	83.14
20	Bordo Cañada Honda	69.891	21,890	0.00134	9.10	5.70	76.80
21	Presa Loretito	248.807	37,661	0.00150	13.24	7.79	79.18
22	Presa Los Cuartos	131.470	12,929	0.00134	6.06	4.07	81.66
23	Río Chicalote	40.693	17,531	0.00160	7.18	4.68	80.71
24	Bordo el Chicahual	6.842	5,650	0.00764	1.64	1.37	80.12
25	Bordo el Chaveño	14.170	6,426	0.00499	2.14	1.71	80.04
26	Río San Pedro-Jesús María	38.400	9,301	0.00197	4.06	2.92	82.78

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 42 estaciones climatológicas convencionales dentro de la cuenca de aportación, de las cuales 36 están en operación. Sin embargo, en la mayoría de las estaciones se tienen datos faltantes, o pocos años con información, por lo que se ubicaron 54 estaciones más a una distancia menor a 20 km. Las estaciones cuentan desde 2 hasta 80 años con información.

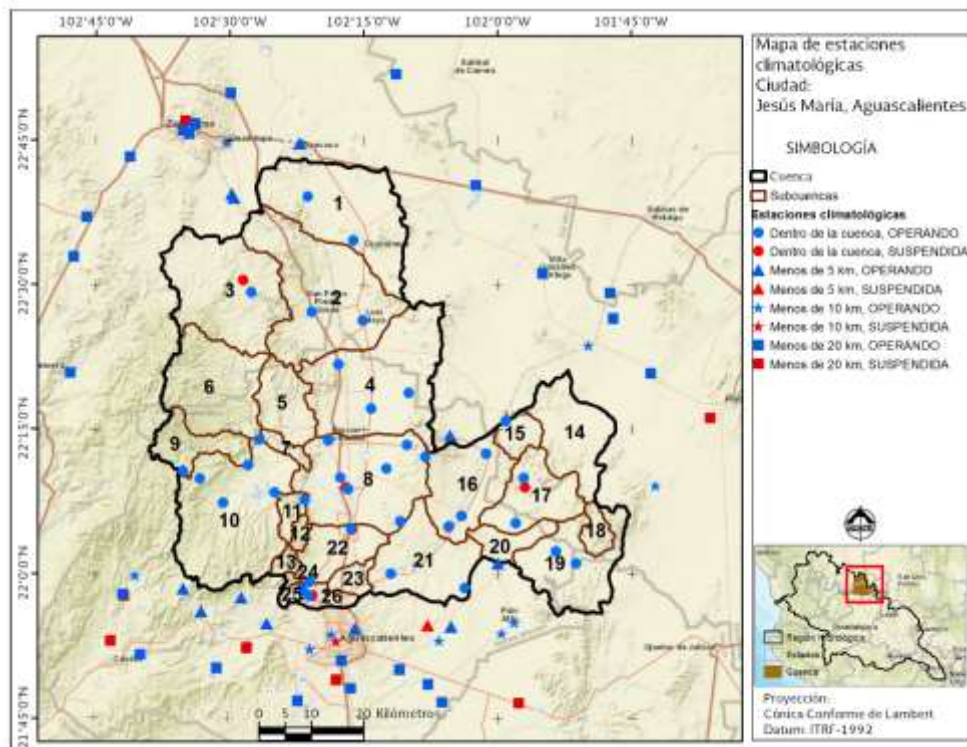


Figura 3.16 Estaciones climatológicas dentro y fuera de la cuenca de aportación

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	36
	Suspendida	6
Total		42
Menos de 10 km	Operando	10
	Suspendida	1
Total		11
Menos de 20 km	Operando	24
	Suspendida	7
Total		31
Menos de 5 km	Operando	11
	Suspendida	1
Total		12
Total		96

Tabla 3.10 Información de las estaciones climatológicas localizadas dentro y fuera de la cuenca

Clave	Nombre	Inicio	Fin	Situación	Ubicación	*años
AGUASCALIENTES						
1001	AGUASCALIENTES (OBS)	01/01/1961	31/03/2014	Operando	Menos de 20 km	49
1003	CALVILLO (SMN)	01/01/1932	31/12/1988	Suspendida	Menos de 20 km	51
1004	CAÑADA HONDA	01/03/1970	31/12/2013	Operando	Dentro de la cuenca	44
1005	PRESA EL NIAGARA	01/04/1957	30/04/2014	Operando	Menos de 20 km	57
1006	EL TULE (SMN)	01/12/1941	31/12/1988	Suspendida	Dentro de la cuenca	47
1007	JESUS MARIA (SMN)	01/01/1941	31/12/1988	Suspendida	Dentro de la cuenca	47
1008	PUERTO DE LA CONCEPCION	01/07/1959	30/04/2014	Operando	Dentro de la cuenca	55
1009	LA LABOR (SMN)	01/01/1944	31/12/1988	Suspendida	Menos de 20 km	41
1010	LA TINAJA	01/08/1961	31/01/2014	Operando	Dentro de la cuenca	53
1011	MALPASO	01/03/1949	31/05/2014	Operando	Menos de 20 km	65
1013	MESILLAS	01/09/1963	31/05/2014	Operando	Dentro de la cuenca	51
1014	PABELLON CAMPO EXPERIMENTAL	01/10/1937	31/05/2014	Operando	Dentro de la cuenca	71
1015	PALO ALTO	01/05/1967	31/03/2014	Operando	Menos de 10 km	47
1017	PRESA POTRERILLOS	01/05/1942	30/04/2014	Operando	Dentro de la cuenca	72
1018	PRESA PLUTARCO ELIAS CALLES	01/11/1933	30/04/2014	Operando	Dentro de la cuenca	80
1019	PRESA JOCOQUE	01/07/1942	30/04/2014	Operando	Dentro de la cuenca	72
1020	PRESA LA CODORNIZ	01/08/1963	30/04/2014	Operando	Menos de 10 km	51

Clave	Nombre	Inicio	Fin	Situación	Ubicación	*años
1021	RANCHO VIEJO	01/08/1959	31/05/2014	Operando	Dentro de la cuenca	55
1024	SAN ISIDRO	01/07/1967	31/12/2013	Operando	Menos de 20 km	47
1025	SAN FRANCISCO DE LOS ROMO (SMN)	01/06/1926	31/12/1983	Suspendida	Dentro de la cuenca	47
1026	TEPEZALA	01/07/1962	31/05/2014	Operando	Dentro de la cuenca	52
1027	VENADERO (DGE)	01/06/1949	30/04/2014	Operando	Menos de 10 km	65
1028	VILLA JUAREZ	01/04/1949	30/04/2014	Operando	Dentro de la cuenca	64
1029	ASIENTOS	01/07/1959	31/12/2013	Operando	Menos de 5 km	52
1030	AGUASCALIENTES	01/10/1947	30/04/2014	Operando	Menos de 10 km	66
1031	EL NOVILLO	01/05/1972	31/12/2013	Operando	Menos de 5 km	42
1032	LAS FRAGUAS	01/06/1971	31/05/2014	Operando	Dentro de la cuenca	43
1033	LOS CONOS	01/07/1971	30/04/2014	Operando	Menos de 10 km	43
1034	SANDOVALES	01/03/1972	30/04/2014	Operando	Menos de 10 km	42
1035	SAN FRANCISCO DE LOS VIVEROS	01/04/1972	31/12/1983	Suspendida	Menos de 5 km	11
1036	SANTA ROSA	01/03/1972	31/01/1976	Suspendida	Menos de 20 km	3
1041	PABELLON DE ARTEAGA (SMN)	01/04/1928	31/12/1960	Suspendida	Dentro de la cuenca	29
1043	E.T.A. 127 AGUASCALIENTES	01/08/1973	31/12/1976	Suspendida	Menos de 10 km	3
1045	EL TULE (DGE)	01/01/1974	31/05/2014	Operando	Dentro de la cuenca	40
1046	LA LABOR (DGE)	01/01/1974	31/05/2014	Operando	Menos de 20 km	40
1047	AGUA ZARCA	01/08/1975	30/04/2014	Operando	Menos de 5 km	37
1057	VENADERO (SMN)	01/01/1942	31/12/1960	Suspendida	Menos de 20 km	19
1062	ARELLANO	01/06/1949	30/04/2014	Operando	Menos de 20 km	42
1073	LA TINAJA	01/06/1971	30/04/2014	Operando	Menos de 20 km	39
1076	LOS NEGRITOS	01/12/1979	30/04/2014	Operando	Menos de 10 km	34
1080	PRESA CANUTILLO	01/09/1979	28/02/2014	Operando	Menos de 20 km	35
1081	RANCHO SECO	01/10/1979	31/05/2014	Operando	Dentro de la cuenca	34
1082	RINCON DE ROMOS	01/08/1979	31/05/2014	Operando	Dentro de la cuenca	35
1083	SAN FRANCISCO DE LOS ROMO (DGE)	01/09/1979	28/02/2014	Operando	Dentro de la cuenca	34
1084	SAN GIL	01/10/1979	30/04/2014	Operando	Dentro de la cuenca	34

Clave	Nombre	Inicio	Fin	Situación	Ubicación	*años
1085	TEPETATILLO	01/10/1979	31/05/2014	Operando	Dentro de la cuenca	33
1088	COSIO	01/08/1978	30/04/2014	Operando	Dentro de la cuenca	35
1089	PRESA 50 ANIVERSARIO	01/11/1980	31/12/2013	Operando	Dentro de la cuenca	33
1090	JESUS MARIA (DGE)	01/05/1979	31/01/2014	Operando	Dentro de la cuenca	35
1094	EL CHAYOTE	01/08/1981	31/12/2013	Operando	Dentro de la cuenca	32
1095	MILPILLAS DE ARRIBA	01/08/1981	30/04/2014	Operando	Menos de 5 km	33
1096	CALVILLITO	01/08/1983	30/04/2014	Operando	Menos de 20 km	31
1097	AGUASCALIENTES II	01/08/1995	31/12/2013	Operando	Menos de 5 km	18
1098	LA POSTA U.A.A.	01/10/1986	31/03/2014	Operando	Dentro de la cuenca	27
1099	JESUS TERAN (EL MUERTO)	01/02/1985	31/12/2013	Operando	Dentro de la cuenca	29
1101	LAS PRESAS	01/02/1986	28/02/2014	Operando	Menos de 5 km	28
1102	PABELLON DE ARTEAGA (DGE)	01/01/1990	30/04/2014	Operando	Dentro de la cuenca	24
1103	ALAMITOS CAMPAMENTO	01/06/1998	31/03/2014	Operando	Dentro de la cuenca	16
1104	ABELARDO L. RODRIGUEZ	01/01/2002	31/08/2013	Operando	Menos de 5 km	10
1105	LOS CUARTOS	01/03/2001	30/04/2014	Operando	Dentro de la cuenca	13
1106	LA PRIMAVERA	01/01/2001	30/11/2013	Operando	Menos de 5 km	13
1108	ARROYO HONDO (CYCNA)	01/03/2002	30/04/2014	Operando	Dentro de la cuenca	12
JALISCO						
14363	TACUBAYA	01/08/1981	28/02/1989	Suspendida	Menos de 20 km	0
SAN LUIS POTOSI						
24055	PEDON BLANCO	01/05/1950	30/11/2011	Operando	Menos de 20 km	52
24152	SAUZ DE CALERA	01/01/1977	30/06/2011	Operando	Menos de 20 km	32
ZACATECAS						
32015	EL RUSIO	01/01/1967	31/12/2012	Operando	Menos de 20 km	44
32024	GUADALUPE VICTORIA	01/01/1971	31/12/2012	Operando	Menos de 10 km	41
32031	LA BUFA (OBS)	01/01/1983	31/12/2012	Operando	Menos de 20 km	17
32033	LORETO	01/08/1963	31/12/2012	Operando	Dentro de la cuenca	43
32041	OJOCALIENTE	01/09/1961	31/12/2012	Operando	Dentro de la cuenca	42
32042	PALOMAS	01/08/1966	31/12/2012	Operando	Menos de 20 km	43
32043	PINOS (DGE)	01/01/1951	30/06/1987	Suspendida	Menos de 20 km	33

Clave	Nombre	Inicio	Fin	Situación	Ubicación	*años
32044	ESCUELA DE AGRONOMIA UAZ	01/01/2009	31/10/2012	Operando	Menos de 20 km	4
32051	SAN PEDRO PIEDRA GORDA -CIUDAD CUAUHTEMOC-	01/04/1942	31/12/2012	Operando	Dentro de la cuenca	62
32058	TRANCOSO	01/01/1961	31/12/2012	Operando	Menos de 5 km	48
32060	VILLA GARCIA (SMN)	01/01/1961	31/12/1985	Suspendida	Dentro de la cuenca	25
32061	VILLA HIDALGO	01/06/1966	31/12/2012	Operando	Menos de 20 km	44
32063	ZACATECAS (SMN)	01/07/1929	31/12/1985	Suspendida	Menos de 20 km	44
32072	VILLA GARCIA (DGE)	01/01/1986	31/12/2012	Operando	Dentro de la cuenca	27
32086	ZACATECAS (DGE)	01/01/1961	30/11/2012	Operando	Menos de 20 km	37
32099	MALPASO	01/02/1975	31/12/2012	Operando	Menos de 20 km	33
32114	VILLA GONZALEZ ORTEGA	01/06/1978	31/12/2012	Operando	Menos de 20 km	31
32118	LOS CAMPOS	01/11/1979	31/12/2012	Operando	Dentro de la cuenca	30
32119	FELIPE ANGELES	01/03/1980	31/12/2012	Operando	Menos de 20 km	26
32120	GENARO CODINA	01/09/1979	31/12/2012	Operando	Dentro de la cuenca	28
32121	GUADALUPE	01/09/1979	31/12/2012	Operando	Menos de 10 km	26
32122	LUIS MOYA	01/11/1979	31/12/2012	Operando	Dentro de la cuenca	29
32126	PALMILLAS	01/09/1979	31/12/2012	Operando	Dentro de la cuenca	30
32131	SAN GERONIMO	01/12/1978	31/12/2012	Operando	Menos de 5 km	28
32138	CANOAS	01/03/1982	31/10/2003	Suspendida	Dentro de la cuenca	18
32145	LA BUFA (DGE)	01/01/2006	30/04/2011	Operando	Menos de 20 km	4
32150	SAN GERONIMO	01/01/2005	31/12/2012	Operando	Menos de 5 km	7
32154	CERRO DE LA VIRGEN OBS.ASTR.	01/12/2010	31/12/2012	Operando	Menos de 20 km	2
32176	SAUCEDA DE LA BORDA	01/01/2001	31/12/2012	Operando	Menos de 20 km	12
32186	EL SALADILLO	01/01/2001	31/12/2012	Operando	Menos de 20 km	12
32188	EL NIGROMANTE	01/01/1987	31/12/2012	Operando	Menos de 10 km	11

*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 33 estaciones, de las cuales 22 están dentro de la cuenca y 11 a una distancia menor a 10 km. En el estado de Aguascalientes se localizan 27 estaciones, 5 en el estado de Zacatecas y una más en el estado de Guanajuato.

De las 33 EMAS, 29 son operadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 3 por el Servicio Meteorológico Nacional (de la Conagua) y una más por la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR) de la Conagua.

La información que contienen las EMAS operadas por el INIFAP y por el SMN no es suficiente para caracterizar las tormentas, por lo cual fue necesario ubicar estaciones operadas por el SMN a una distancia hasta 30 km de distancia de la cuenca, por lo que se ubicaron 3 EMAS adicionales, 2 en el estado de Aguascalientes y una más en Zacatecas.

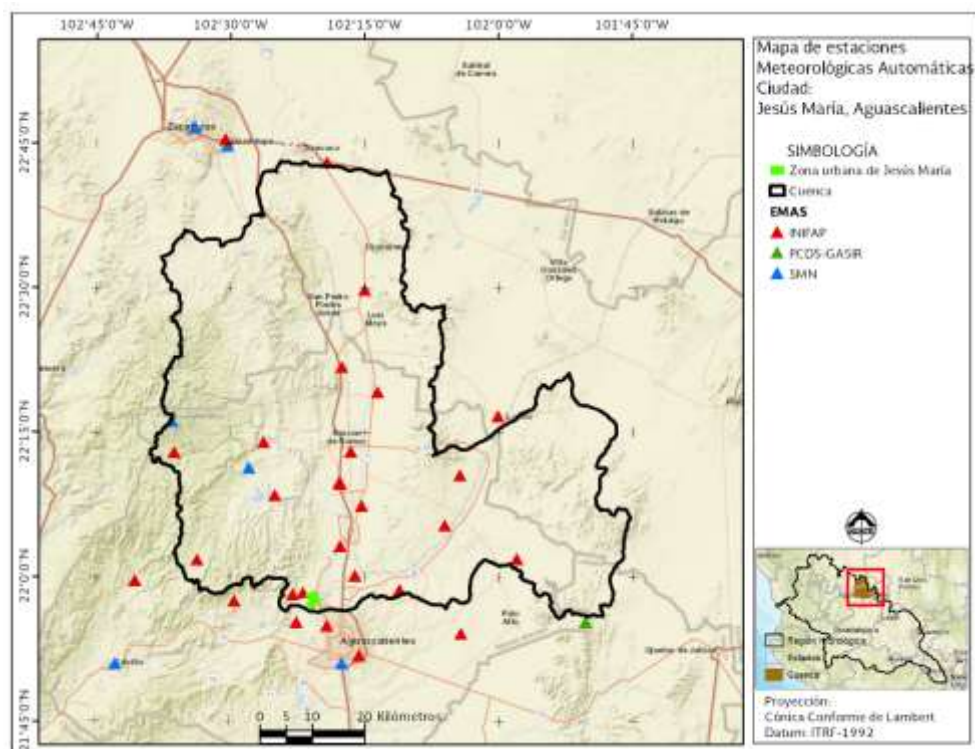


Figura 3.17 Estaciones Meteorológicas Automáticas dentro y cerca de la cuenca de aportación

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

Nombre	Dependencia	Ubicación
Aguascalientes		
CEPAB	INIFAP	Dentro de la Cuenca
CEPAB 2	INIFAP	Dentro de la Cuenca
CEPAB 3	INIFAP	Dentro de la Cuenca
Ciénega Grande	INIFAP	Dentro de la Cuenca
Don Primo	INIFAP	Dentro de la Cuenca
El Becerro	INIFAP	Dentro de la Cuenca
El Cedazo	INIFAP	Menos de 10 km de la Cuenca
El Colorín	INIFAP	Menos de 10 km de la Cuenca
El Potrerito	INIFAP	Dentro de la Cuenca
La Codorniz	INIFAP	Menos de 10 km de la Cuenca
La Posta	INIFAP	Dentro de la Cuenca
La Posta II	INIFAP	Dentro de la Cuenca
Los Pis	INIFAP	Dentro de la Cuenca
Makelisa	INIFAP	Dentro de la Cuenca
Medio Kilo	INIFAP	Dentro de la Cuenca
Piletas	INIFAP	Dentro de la Cuenca
Pilotos	INIFAP	Dentro de la Cuenca
Presa Calles	INIFAP	Dentro de la Cuenca
San Carlos	INIFAP	Dentro de la Cuenca
San Isidro	INIFAP	Dentro de la Cuenca
San Jacobo	INIFAP	Menos de 10 km de la Cuenca
Sandoval	INIFAP	Menos de 10 km de la Cuenca
Santa Lucía	INIFAP	Dentro de la Cuenca
Túnel de Potrerillos	INIFAP	Dentro de la Cuenca
Universidad	INIFAP	Menos de 10 km de la Cuenca
Presa 50 aniversario	SMN-EMAS	Dentro de la Cuenca
Sierra Fría	SMN-EMAS	Dentro de la Cuenca
Calvillo	SMN-EMAS	A una distancia de 22 km de la cuenca
Aguascalientes	SMN-SINÓPTICA	A una distancia de 13.5 km de la cuenca
Guanajuato		
Presa El Barrial	PCDS-GASIR	Menos de 10 km de la Cuenca
Zacatecas		
El Gran Chaparral	INIFAP	Dentro de la Cuenca
Las Arcinas	INIFAP	Menos de 10 km de la Cuenca
Loreto	INIFAP	Menos de 10 km de la Cuenca
U.A. Biología	INIFAP	Menos de 10 km de la Cuenca
Zacatecas	SMN-EMAS	Menos de 10 km de la Cuenca
Zacatecas	SMN-SINÓPTICA	A una distancia de 15.5 km de la cuenca

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

De las estaciones climatológicas mostradas en la tabla 3.10 se seleccionaron 67 las cuales tienen al menos 20 años de información y actualmente están operando. De las 67 estaciones seleccionadas 33 están dentro de la cuenca, 5 a menos de 5 km de distancia de la cuenca, 9 estaciones entre 5 y 10 km y 18 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 362 y los 665 mm, siendo la precipitación promedio en la cuenca de 458.8 mm. La precipitación media anual en la cuenca es mayor en la parte Sureste de la misma, mientras que decrece en dirección Noreste.

La precipitación máxima registrada en 24 horas oscila entre los 66.8 y 161 mm y va creciendo en el sentido de Norte a Sur.

En la localidad de Jesús María la precipitación media anual (de acuerdo con la estación climatológica 1090) es de 506.6 mm, siendo los meses de junio a septiembre con mayor precipitación

Tabla 3.12 Precipitación media mensual y anual en la localidad de Jesús María

Mes	Precipitación (mm)	% respecto a la anual
Enero	17.2	3.4
Febrero	12.0	2.4
Marzo	2.6	0.5
Abril	6.1	1.2
Mayo	18.6	3.7
Junio	79.5	15.7
Julio	140.6	27.8
Agosto	100.8	19.9
Septiembre	74.9	14.8
Octubre	31.5	6.2
Noviembre	8.6	1.7
Diciembre	14.0	2.8
Anual	506.6	100

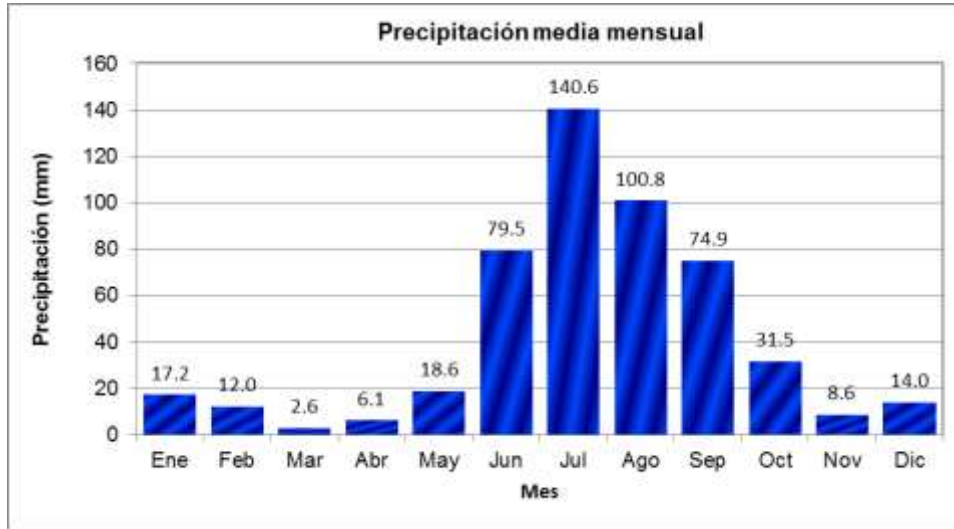


Figura 3.18 Precipitación media mensual y anual en la localidad de Jesús María

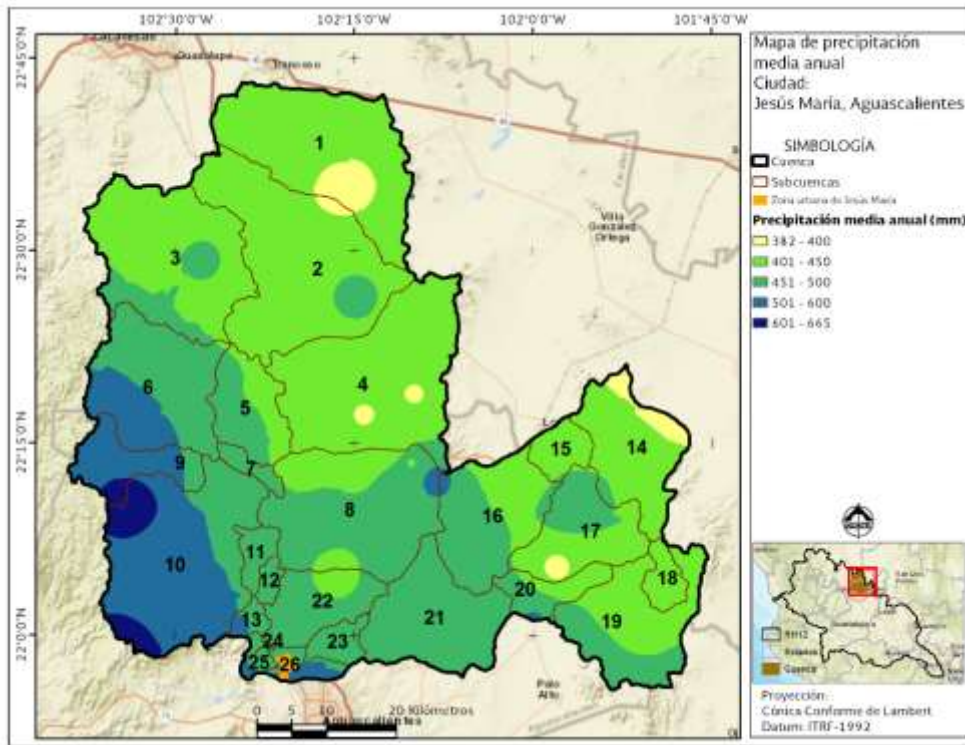


Figura 3.19 Variación de la precipitación media anual (mm) en la cuenca de aportación

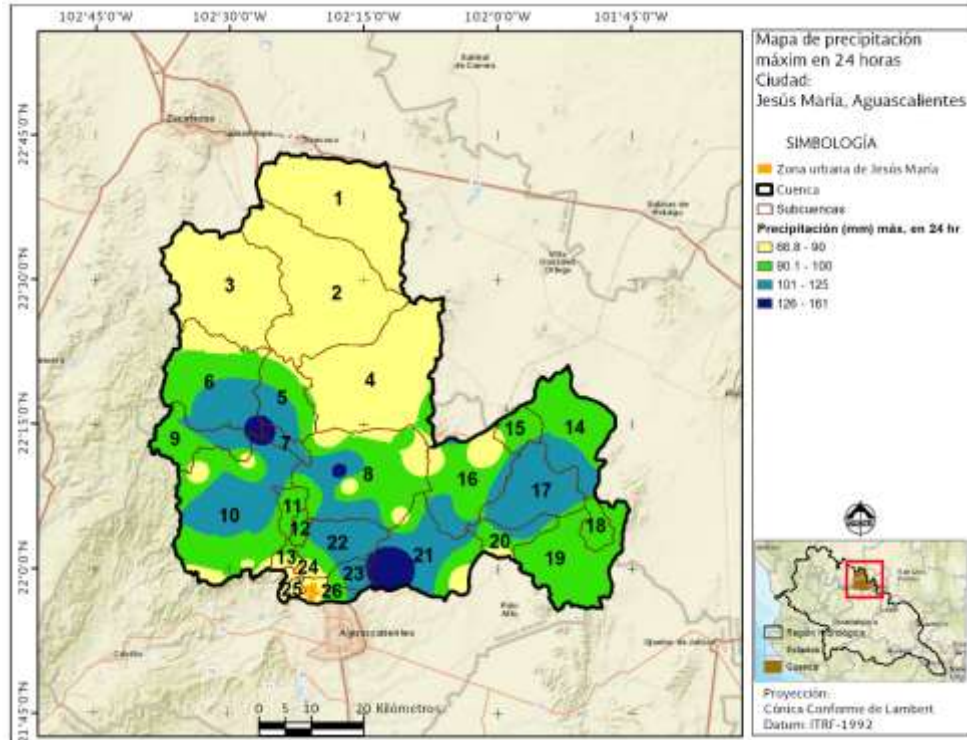


Figura 3.20 Variación de la precipitación máxima registrada en 24 horas

3.3.7. Escurrimientos

Como se mencionó en el subcapítulo 3.3.2 los arroyos los arroyos El Chaveño y La Pradera pasan por la zona urbana de Jesús María, el escurrimiento de estos arroyos es regulado en el bordo el Chaveño y posteriormente se incorpora el escurrimiento al río San Pedro, el cual pasa por los límites (sur) de la localidad.

El río San Pedro río tiene su origen en el estado de Zacatecas, en la Sierra de Barranca Milpillas (en los límites de los estados de Aguascalientes y Zacatecas), al suroeste del cerro de la Ardilla. Los escurrimientos de los arroyos forman la llamada Barranca del río Blanco, llevando ésta un rumbo al oriente. A la mitad del recorrido aproximadamente, recibe las aportaciones derivadas desde la presa Pabellón, que incrementan los volúmenes del propio río e ingresan al vaso de la presa Calles. Esta presa controla los volúmenes y en combinación con la presa derivadora Jocoqui, situada aguas abajo, riegan una extensa zona de riego del distrito de Pabellón. Después de la derivadora, el río toma el nombre de Santiago, denominándose así hasta su confluencia por margen derecha al río San Pedro, en las cercanías de la localidad de San Francisco de los Romo.

El Río San Pedro (o Aguascalientes), es el afluente más importante en el estado de Aguascalientes, y el agua es aprovechada para el riego agrícola, atraviesa el territorio de norte a sur y discurre al occidente de la capital para unirse al Río Verde, afluente del Santiago. Los cauces principales que alimentan al río San Pedro son, por la margen derecha: los ríos: Pabellón, Blanco, Prieto, Santiago y Morcinique, así como los arroyos del Saucillo,

Milpillas, el Pastor y la Virgen; y por la margen izquierda el río Chicalote, y los arroyos Chiquihuite, Ojo Zarco, San Nicolás, el Cedazo, Calvillito y Las Venas.

Estaciones hidrométricas

Dentro de la cuenca de aportación se localizan 9 estaciones hidrométricas, de las cuales una de ellas se ubica en el estado de Zacatecas y el resto en el estado de Aguascalientes. Las 9 estaciones hidrométricas miden flujo controlado, ya sea que se ubiquen aguas abajo de una presa o bien en un túnel o canal.

Aproximadamente a 23 km aguas abajo de la salida de la cuenca de aportación se localiza la estación hidrométrica 12522 “Niagara II” (la cual se ubica aguas arriba de la presa El Niagara). Esta estación solamente tiene 4 años de registro (1958 a 1961).

Tabla 3.13 Estaciones hidrométricas dentro de la cuenca

Clave	Nombre	Cuenca	Corriente	Estado	Periodo con datos
12210	Vertedor Potrerillos	Río San Pedro	Río Pabellón	Ags	1927-1936
12213	Puente F.C. Chicalote	Río Aguascalientes	Río Chicalote	Ags	1927-1933,1970
12218	El Águila	Río Aguascalientes	Río Santiago	Ags	1927-1935
12239	San Pedro Piedra Gorda	Río Aguascalientes	Río San Pedro	Zac	1928-1958
12271	Palmitos	Río Aguascalientes	Río Santiago	Ags	1931-1942
12280	Túnel Numero 2	Río Pabellón	Túnel Derivación	Ags	1932-1985,2000-2001,2003-2006
12281	Km. 1 +400 (Presa Jocoque)	Río Santiago	Canal Principal	Ags	1932-1984,2000-2001,2006
12378	Presa Calles	Río Santiago	Salidas Presa	Ags	1942-1985,2000-2001,2003-2006
12934	Km 0 + 100	Río Santiago	S/D	Ags	
12522	El Niagara II	Río Santiago	Río Aguascalientes	Ags	1958-1961

3.4 Descripción de inundaciones históricas relevantes

Aguascalientes, por su ubicación geográfica en el centro del país, está considerado como de bajo riesgo de inundación por fenómenos hidrometeorológicos, sin embargo, algunos años se ha visto afectado por precipitaciones de origen ciclónico que generan escurrimientos de tipo torrencial los que, al concentrarse en los valles, ocasionan problemas de inundación en zonas agrícolas y áreas urbanas.

Se cuenta con registros de los últimos 92 años de precipitaciones máximas anuales en esta Comisión Nacional del Agua del periodo de 1921 a 2012. Las inundaciones más severas son provocadas por fenómenos meteorológicos extraordinarios, mismas que han sido registradas durante los años: 1958, 1967, 1991, 2004, 1992, 1971, 1976, 1990, 1966, 1973, 1970 y 2008.

Las poblaciones más afectadas por inundaciones, motivadas por las avenidas extraordinarias presentadas en el ciclo pluvial del año de 1991, que es la máxima histórica

ocurrida, fueron: Asientos, municipio de Asientos; Jesús María, Maravillas, Valladolid y Corral de Barrancos en el municipio de Jesús María; El Llano, municipio de El Llano, Aguascalientes y El Niágara en el municipio de Aguascalientes y las cabeceras municipales de Pabellón de Arteaga y San Francisco de los Romo.

Se recurrió a fuentes hemerográficas para obtener información de sobre inundaciones históricas en la zona urbana de Jesús María. Se encontró que en septiembre de 2013 se registraron lluvias atípicas que provocaron inundaciones. Ello aunado a elementos como la insuficiencia del drenaje –por la presencia de basura acumulada–, o a la ubicación de viviendas en el lecho del río, provocaron la contingencia. En la parte norponiente del municipio, principalmente en las colonias El Torito y Ejidal, el agua alcanzó hasta un metro de altura. Las pérdidas materiales ascendieron a varios miles de pesos.

En junio de 2015 las vialidades principales del Ayuntamiento se inundaron en su totalidad, el organismo operador de agua potable y alcantarillado recibió reportes de afectaciones por las alcantarillas tapadas con basura y objetos duros como ropa, latas, botellas, llantas, fierros y demás. Las lluvias registradas dejaron al 30 por ciento del municipio inundado, sobre todo la zona centro, donde por contar con batientes en locales y casas habitación, el agua no pudo seguir su flujo encharcándose. Un promedio de 40 personas se vieron afectadas por la acumulación de 15 centímetros de agua al interior de sus hogares, en ellos se utilizaron motobombas para sacar el líquido.

En octubre de 2015, el paso del Huracán Patricia generó que el río San Pedro se desbordará afectando varias comunidades. El desbordamiento se originó por el agua que llegó de la presa San Blas, misma que sobrepasó su límite afectando a cientos de personas en la comunidad de Pabellón de Hidalgo.

3.5 Obras de protección contra inundaciones y acciones no estructurales existentes

Obras de protección contra inundaciones

Dentro de la cuenca de aportación se localizan 73 presas, de las cuales 64 están en el estado de Aguascalientes, 1 en Jalisco y 8 en el estado de Zacatecas. Las dos presas con mayor almacenamiento al Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO) se usan para riego y se ubican en el estado de Aguascalientes y son: la “Plutarco Elías Calles” con un volumen de 340 Hm³ y la presa derivadora “El Jocoqui” con 10.6 Hm³. Las dos siguientes presas que le siguen en cuanto a su capacidad son para riego y se ubican en el estado de Zacatecas y son “San Pedro Piedra Gorda” y “Artículo 115 “Constitución” con 5.0 y 4.2 Hm³ al NAMO respectivamente.

Los escurrimientos que se generan en la subcuenca que aporta directamente a la localidad está el bordo el Chaveño, mientras que los bordos que aportan al río Santiago y que están inmediatamente aguas arriba de la localidad son “Bordo el Chicahual” y “Los Cuartos”, por lo que se considerarán en la modelación hidráulica, así como las presas de mayor almacenamiento.

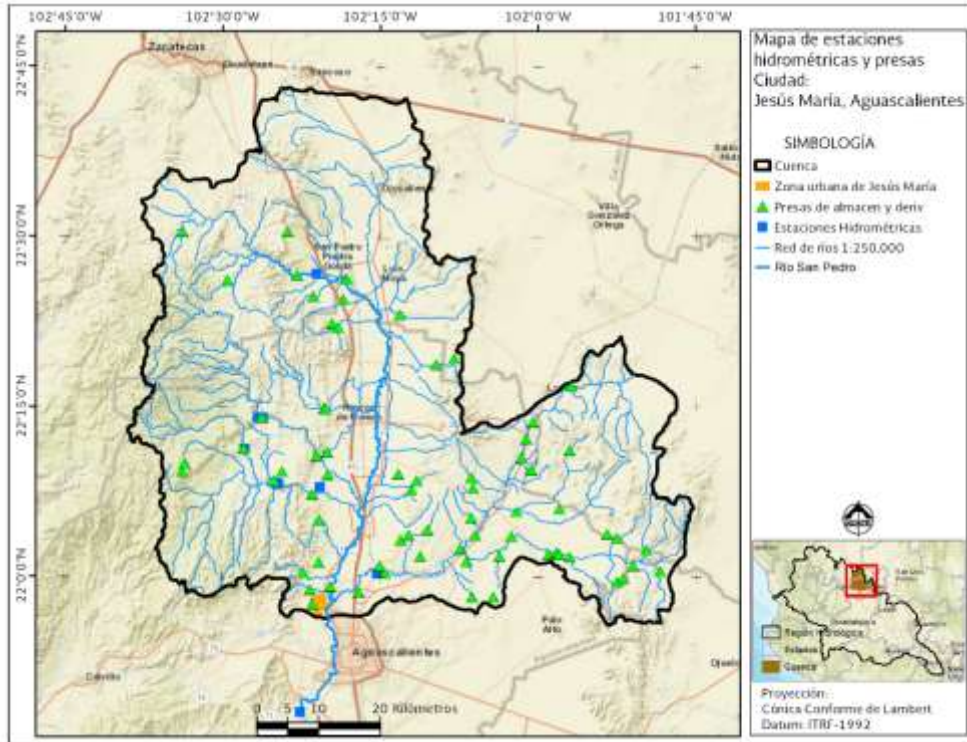


Figura 3.21 Estaciones hidrométricas y presas dentro de la cuenca de aportación

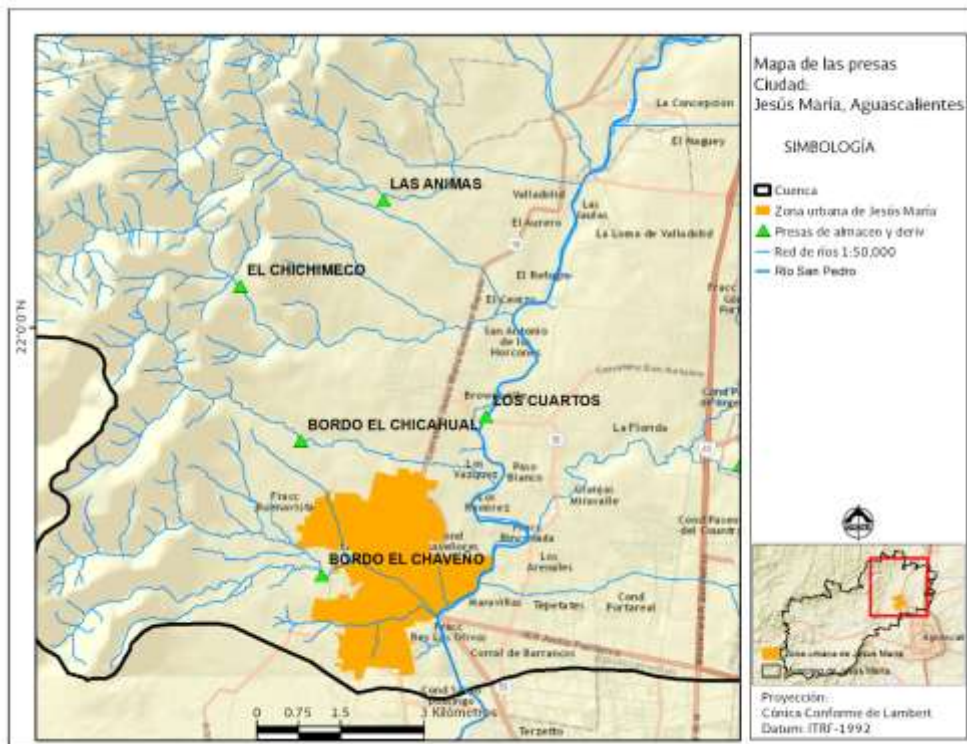


Figura 3.22 Presas dentro y cerca de la localidad de Jesús María

Tabla 3.14 Presas de almacenamiento y derivación

Nombre oficial	Nombre común	Usos	Almacenamiento al NAMO HM ³
AGUASCALIENTES			
PLUTARCO ELIAS CALLES	CALLES	Riego, Abrevadero	340
JOCOQUI		Riego, Abrevadero	10.6
SAN JUAN	LAGUNA DE PABELLON	Riego	3.6
EL SAUCILLO		Riego	3.6
50 ANIVERSARIO	SAN JOSE DE GRACIA	Riego	3.1
GUADALUPE	PRESA MOCHA	Riego	2
S/D		Riego	0.24
PABELLON	POTRERILLOS	Abrevadero, Trasvaso	2.033
PILOTOS	EL TARAY	Riego, Abrevadero	1.3
LAS MERCEDES		Riego	1.2
PILOTES		Riego	1.1
NATILLAS DE ARRIBA	COSIO	Riego	1.1
LA DICHOSA		Riego	1
PRESA MESILLAS	MESILLAS	Riego	1
OJO DE AGUA DEL MEZQUITE	LA PURISIMA	Riego	1
LA PURISIMA	LA PURISIMA	Riego	0.9
BORUNDA		Riego	0.8
CHARCO PRIETO	CHARCO PRIETO	Riego	0.8
SANTA ELENA		Riego	0.722
LORETITO	BIZNAGA	Riego	0.68
CHARCOS VERDES		Riego, Control de Avenidas	0.66
CHARCO DEL TORO		Riego	0.64
SAUCEDA			0.6
EL CHICHIMECO		Riego	0.6
RANCHITO EL		Riego	0.54
SAN BLAS		Riego	0.533
EL GIGANTE		Riego	0.5
EL LLAVERO		Riego	0.5
SAN GIL		Riego	0.39
SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO	Riego	0.36
ALCANTARES		Riego	0.351
LOS CUARTOS	SAN JERONIMO II	Público Urbano, Riego, Recreación	0.233
NATILLAS DE ABAJO	PRESA CHICA	Riego	0.1875
BORDO VIĘEDO RIVIER		Riego, Abrevadero	0.187
JOSE MARIA MORELOS		Abrevadero	0.15
SAUCILLO	LA TOMA	Riego	0.14
EL REFUGIO	TANQUE EL REFUGIO	Riego	0.14
OJO ZARCO	OJO ZARCO	Riego, Abrevadero	0.123

Nombre oficial	Nombre común	Usos	Almacenamiento al NAMO HM ³
LAS ANIMAS	LAS ANIMAS	Abrevadero	0.023
CAJON EL	CAJON EL	Riego	0
TORTILLERO EL	TORTILLERO EL	Riego	0
TANQUE LOS ANGELENOS	LOS ANGELENOS	Riego	0
BORDO EL CHICAHUAL	EL CHICAHUAL	Riego	0
BORDO CA±ADA HONDA	BORDO CA±ADA HONDA	Riego	0
JAGUEY EL	JAGUEY	Riego	0
BORDO EL CHAVEÑO	EL CHAVE±O	Abrevadero	0
BORDO LOS RATONES	LOS RATONES	Riego	0
TANQUE ZACATEQUILLAS	ZACATEQUILLAS	Riego	0
CHIQIHUITE # 2	CHIQIHUITE # 2	Abrevadero	0
GARABATO	GARABATO	Riego	0
PAREDES	LAS BARDAS	Abrevadero	0
LEONEROS LOS	LEONEROS LOS	Abrevadero	0
LA CONGOJA I	LA CONGOJA I	Abrevadero	0
LOS COYOTES	COYOTES	Riego	0
LA CONGOJA II	LA CONGOJA	Abrevadero	0
TANQUE LOS ADEMES	SOLEDAD DE ABAJO	Riego	0
LA CUEVA	LA CUEVA	Abrevadero	0
TANQUE MESILLAS	TANQUE MESILLAS	Riego	0
BORDO TANQUE NUEVO	EL EPAZOTE	Riego	0
TEPETATES	TEPETATES	Abrevadero	0
EL FENIX	EL FENIX	Abrevadero	0
TULE EL	BORDO CALICUE	Abrevadero	0
BAJITO EL	BAJITO EL	Abrevadero	0
LAS GOLONDRINAS	LAS GOLONDRINAS	Riego	0
JALISCO			
DOLORES	DOLORES	Riego	1.5
ZACATECAS			
SAN PEDRO PIEDRA GORDA		Riego	5
ARTICULO 115 CONSTITUCION	MONTORO	Riego	4.2
SAN MARCOS	PRESA GRANDE	Riego	3
CANALEJA	CANALEJA	Abrevadero	0.8
RANCHO NUEVO	RANCHO NUEVO	Riego	0.8
SAN APARICIO	SAN APARICIO	Riego, Abrevadero	0.6
CAPULIN EL	CAPULIN EL	Riego	0
CONCHA LA	CONCHA LA	Riego, Abrevadero	0

Acciones no estructurales

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

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

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

La prensa local publicó que el pasado junio las autoridades estatales de Protección Civil y Bomberos iniciaron un operativo de revisión y previsión de accidentes en los once municipios de Aguascalientes, entre los que está el de Jesús María.

Datos del Programa de Empleo Temporal indican que, en los años 2007, 2008, 2009 y 2012 se realizaron acciones en el municipio que incluyeron limpieza de arroyos, reforestación, limpieza y desazolve de áreas externas e internas de viviendas y localidades afectadas por lluvias atípicas y limpieza de vías.

En agosto de 2011 se realizó el programa “Limpieza de Arroyos”, implementado por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría del Medio Ambiente del Estado que en su primera etapa consistió en dos meses de trabajos de limpieza, recolección de escombros, basura y residuos sólidos, poda de maleza y árboles y la colocación de senderos, cubriendo un aproximado de 6 kilómetros en los arroyos El Molino y La Hacienda.

En 2013, en el marco del programa El agua es mi vida, implementado por el organismo operador de agua municipal (CAPASMJM) se realizó la limpieza y saneamiento integral en el arroyo San Lorenzo. El azolvamiento de la cuenca San Lorenzo tiene sus orígenes en la cubierta vegetal aguas arriba, el crecimiento urbano, la pavimentación, las malas prácticas de los habitantes de las riveras de las cuencas, el asentamiento de casas en los cauces de los ríos. En la jornada se retiraron 270 toneladas de escombros, cascajo, residuos, animales muertos, llantas, logrando así el destape de tuberías, deshierbe, y limpieza de cauces y canales en un trayecto aproximado de 1.5 kilómetros que cruzan las calles Miguel Hidalgo, Guzmán, Morelos, y paralelo sobre calle San Miguel hasta el libramiento a Valladolid y

continuando hasta su desembocadura al Río San Pedro, al oriente del fraccionamiento Jacarandas, zona con mayor riesgo de inundaciones derivado del cauce natural.

Derivado de esta actividad, se planteó la formación de comités comunitarios por el agua en los que se apuesta a la participación ciudadana y de las autoridades para proteger y conservar en buen estado los arroyos que están siendo saneados.

En 2014 se llevó a cabo la Primera Jornada Ciudadana de Cuidado al Medio Ambiente en el municipio de Jesús María, en la cual se realizó la limpieza y el retiro de maleza en el Arroyo de la Cañada, entre las calles Camino Real y Teodoro Olivares en la cabecera del ayuntamiento. La actividad estuvo a cargo de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). Se recolectaron más de 20 metros cúbicos de pasto seco, plástico, vidrio y envolturas de diferentes materiales que generaban contaminación en el arroyo y se traducían en malos olores y agua sucia.

3.6 Identificación de actividades actuales en las planicies de inundación

A nivel estatal, Jesús María es uno de los municipios que presenta una mayor concentración de actividades secundarias, por lo que está entre los tres más industrializados de la entidad, sector en el que concentra una producción bruta del 77.8%, de acuerdo a datos de los censos Económicos, INEGI, 2009. El sector terciario ocupa el segundo lugar con 16.8%.

La fabricación de equipo de transporte es la actividad más importante del municipio, seguida por el comercio al por mayor que desplazó a la fabricación de maquinaria y equipo. A estas actividades le siguen en orden de importancia la industria de productos a base de minerales y metales y la industria alimentaria.

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

De acuerdo a la superficie de la cuenca de aportación la cual es de 4,827.741 km², se tienen operando 36 estaciones climatológicas convencionales (tabla 3.10), lo cual equivale a tener una estación cada 134 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 Jesús María, 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 Jesús María,
- 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 Jesús María,
- 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

Con base en el Inventario Nacional de Obras de Protección (IMTA, 2008) en la cuenca de estudio se detectaron dos presas, la Presa Plutarco Elías Calles cuyo objetivo es el riego y control de avenidas y la Presa Jocoqui construida para fines de derivación y regulación. No se tiene información del estado actual de las presas.

Acciones no estructurales

De las acciones no estructurales relacionadas al problema de las inundaciones en la zona urbana de Jesús María 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 Jesús María, no se encontró información acerca de asociaciones vecinales que hayan organizado o realizado acciones en el marco de episodios por inundaciones.

4.5 Identificación de la vulnerabilidad a las inundaciones

Es ampliamente aceptado que las condiciones de la población mexicana no son homogéneas, y que al interior de ella existen desigualdades que los hacen más o menos vulnerables a los impactos que representan peligro o riesgo y que pueden decantar en un desastre. La vulnerabilidad urbana estará en función de la situación que caracterice a cada grupo de población en todas y cada una de las dimensiones en las que ésta se compone; a saber, física, económica, social, cultural, entre otras. Analizar las condiciones de vulnerabilidad de los grupos afectados es clave para comprender el proceso de construcción de situaciones de riesgo.

En este sentido, se puede establecer una conexión entre vulnerabilidad y marginación, si se considera que ésta última se asocia a la carencia de oportunidades sociales y a la ausencia de capacidades para adquirirlas o generarlas, pero también a privaciones e inaccesibilidad a bienes y servicios fundamentales para el bienestar. De acuerdo a Conapo, las comunidades marginadas enfrentan escenarios de elevada vulnerabilidad social cuya mitigación escapa del control personal o familiar (Conapo, 2011 y 2012), pues esas situaciones no son resultado de elecciones individuales, sino de un modelo productivo que no brinda a todos las mismas oportunidades.

En la literatura especializada se encuentran diversas propuestas para estimar la vulnerabilidad, las cuales están en función de factores diversos, entre ellos el tipo de impacto al que se es vulnerable. Para el caso que nos ocupa, sería la vulnerabilidad a inundaciones. El análisis que aquí se presenta tiene como base el Índice de Marginación Urbana (IMU) correspondiente al 2010 y se complementa con el uso de variables socioeconómicas resultantes del Censo de Población y Vivienda 2010 por manzana

urbana que no están representadas en el IMU. De acuerdo a INEGI, el IMU es una medida-resumen que permite diferenciar AGEB urbanas del país según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, a los servicios de salud, la residencia en viviendas inadecuadas y la carencia de bienes.

Tabla 4.2 Dimensiones e indicadores del índice de marginación urbana por AGEB, 2010

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

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

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

Tabla 4.3 Complemento del IMU

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

En relación al IMU 2010 por manzana, la localidad de Jesús María presenta un predominio de un grado alto de marginación, como se puede observar en la figura. Ello es particularmente cierto en la mayor parte del sector norte de la localidad, y en las zonas periféricas de la parte sur. En algunas manzanas del sector norte y en casi todo el sur, la marginación que se presenta es media, lo que en su conjunto indica condiciones generales adversas en cuanto a distribución de la población, educación, ingresos por trabajo y vivienda. La combinación de insuficiencia de servicios, precariedad en el empleo, bajos niveles adquisitivos y deficientes condiciones de la vivienda apunta a una mayor vulnerabilidad a las inundaciones.

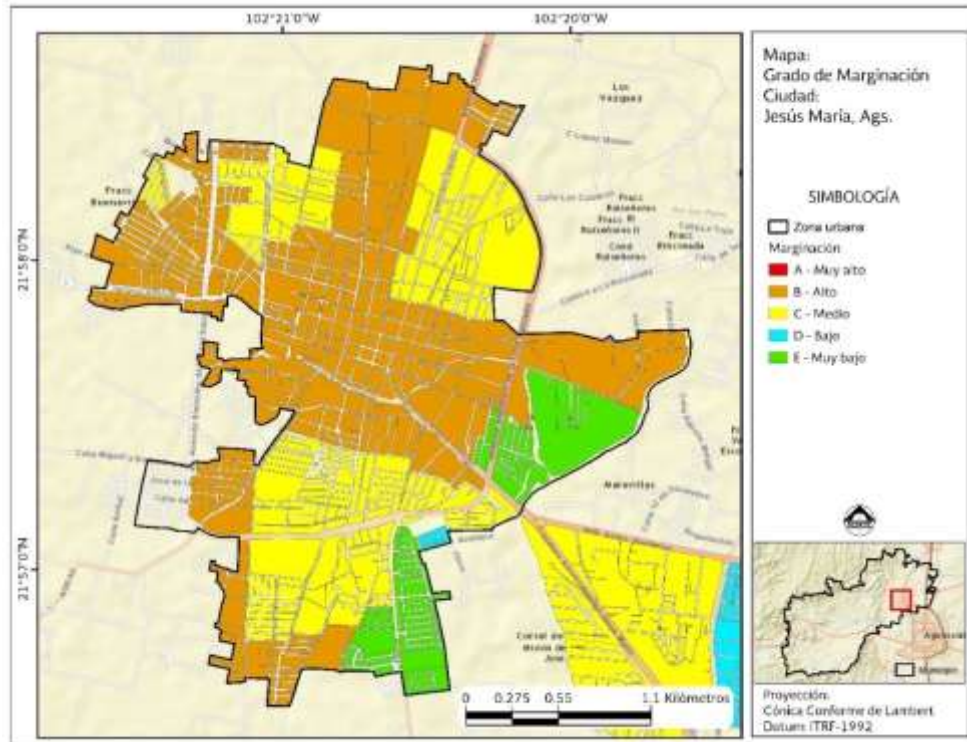


Figura 4.1 Grados de marginación en la zona urbana de Jesús María, Aguascalientes

La información estadística complementaria señala que en la localidad de Jesús María el 13% del total de la población es menor a 5 años, el 2.3 mayor a 65 y el 2.2% de la población tiene limitaciones en la actividad, lo que en conjunto arroja un 17.5% de población altamente vulnerable a la ocurrencia de fenómenos súbitos como lo son las inundaciones. En promedio, hay 5.2 personas con más de 65 años en cada manzana⁵ y 5.4 con limitaciones en la actividad, es decir, gente que tiene dificultades para caminar, moverse, subir o bajar; incapacidad para vestirse, bañarse o comer; incapacidad para poner atención o aprender cosas sencillas. La desocupación laboral de estas manzanas en promedio no es alta (4.2); no obstante, es necesario tenerla presente como indicador que influye en el nivel de vida material de las personas.

Tabla 4.4 Información complementaria de las manzanas urbanas de la localidad de Jesús María, Aguascalientes.

	Población total	Población menor a 5 años	Población mayor a 65 años	Población con limitación en la actividad	Población desocupada
Totales	43,012	37,387	1,024	966	690
Promedio	140.7	s/d	5.2	5.4	4.2
Porcentaje	100	13	2.3	2.2	1.6

⁵ El dato corresponde 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 Jesús María, 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.

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

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

No.	Estado	Área (km ²)	Estaciones pluviométricas		Cobertura Media (km ² /estac)
			Existentes	Usadas	
1	Aguascalientes	5,589	68	46	121.5
2	Baja California	70,113	130	36	1,947.60
3	Baja California Sur	73,667	160	72	1,023.20
4	Campeche	51,833	71	35	1,480.90
5	Coahuila	151,571	108	28	5,413.30
6	Colima	5,455	51	17	320.9
7	Chiapas	73,887	280	84	879.6
8	Chihuahua	247,087	328	58	4,260.10
9	D.F.	1,499	63	30	50
10	Durango	119,648	148	83	1,441.50
11	Guanajuato	21,461	352	108	198.7
12	Guerrero	30,589	160	129	237.1
13	Hidalgo	63,794	220	66	966.6
14	Jalisco	20,987	139	180	116.6
15	México	80,137	282	105	763.2
16	Michoacán	59,864	242	93	643.7
17	Morelos	4,941	68	44	112.3

No.	Estado	Área	Estaciones pluviométricas		Cobertura Media
		(km ²)	Existentes	Usadas	(km ² /estac)
18	Nayarit	27,621	80	25	1,104.80
19	Nuevo León	64,555	167	55	1,173.70
20	Oaxaca	95,364	359	130	733.6
21	Puebla	33,919	206	97	349.7
22	Querétaro	11,769	58	33	356.6
23	Quintana Roo	50,350	43	20	2,517.50
24	San Luis Potosí	62,848	190	102	616.2
25	Sinaloa	58,092	180	51	1,139.10
26	Sonora	184,934	275	79	2,340.90
27	Tabasco	24,661	84	42	587.2
28	Tamaulipas	76,829	198	109	704.9
29	Tlaxcala	3,914	50	20	195.7
30	Veracruz	72,815	352	185	393.6
31	Yucatán	39,340	89	30	1,311.30
32	Zacatecas	75,040	137	51	1,471.40
	TOTAL	1,964,173	5,338	2,243	1,092.90

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 Jesús María se realizó considerando los centroides de cada una de ellas como el punto representativo de la precipitación media y seleccionando el Organismo de cuenca.

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	43.5	60.0
5	56.9	79.1
10	66	91.9
50	86.4	119.3
100	95.1	130.8

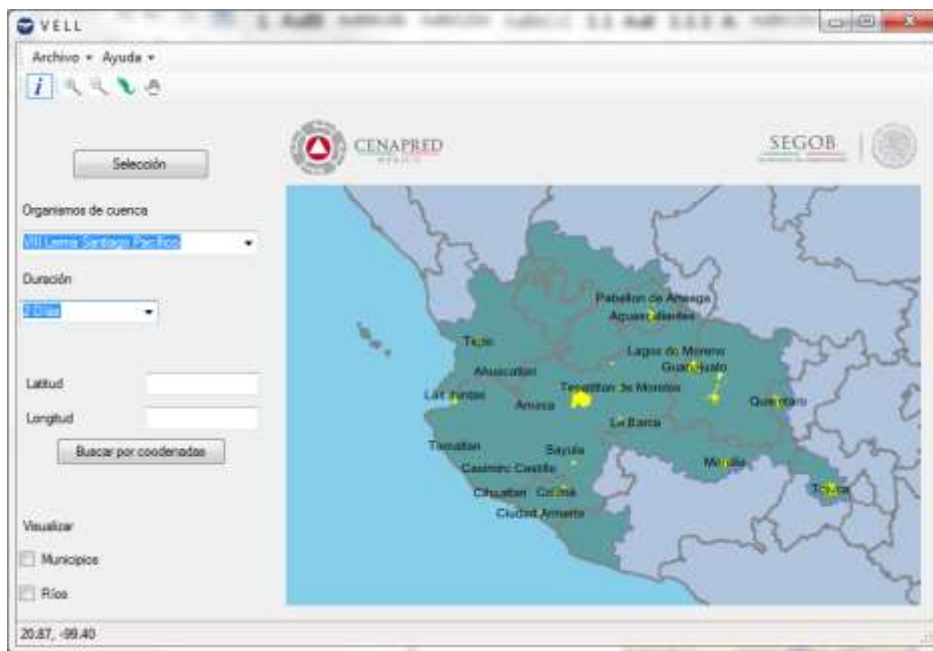


Figura 5.1 Interfaz del programa V.E.L.L. elaborado por el CENAPRED

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	49.0	65.3	75.7	99.2	109.1
	48	64.0	84.4	98.1	127.3	139.6
2	24	48.6	66.4	78.0	104.2	115.5
	48	63.4	86.1	101.8	138.1	154.2
3	24	47.7	63.2	73.3	96.1	105.7
	48	62.2	82.0	95.2	123.7	135.6
4	24	47.8	63.6	73.8	96.7	106.4
	48	65.1	85.8	99.7	129.4	141.9
5	24	52.1	69.3	80.4	105.4	115.9
	48	69.3	91.4	106.1	137.8	151.1
6	24	54.0	72.3	83.9	109.9	120.9
	48	74.0	97.6	113.3	147.1	161.3
7	24	48.3	65.0	75.4	98.8	108.7
	48	64.6	85.2	98.9	128.5	140.9
8	24	48.5	64.7	75.1	98.4	108.2
	48	64.0	84.4	98.0	127.3	139.6
9	24	48.1	64.5	74.8	98.0	107.8
	48	63.7	84.0	97.6	126.7	138.9
10	24	48.0	63.5	73.6	96.5	106.1
	48	62.3	82.2	95.4	123.9	135.9
11	24	50.3	67.1	77.9	102.3	112.6
	48	64.8	85.8	99.8	130.1	142.9
12	24	51.0	71.4	84.7	114.9	128.1
	48	66.3	92.4	111.1	155.9	176.7
13	24	52.4	69.7	80.9	106.0	116.6
	48	72.5	95.6	111	144.2	158.0
14	24	47.6	62.9	72.9	95.6	105.1
	48	64.0	84.4	98.0	127.3	139.5
15	24	48.8	64.9	75.3	98.6	108.5

Subcuenca	Duración (h)	Periodo de retorno (años)				
		2	5	10	50	100
	48	64.2	84.6	98.3	127.6	139.9
16	24	45.3	60.3	70.0	91.7	100.9
	48	61.4	80.9	94.0	122.1	133.8
17	24	43.6	57.9	67.2	88.1	96.9
	48	60.0	79.2	91.9	119.4	130.9
18	24	49.2	65.1	75.5	98.9	108.8
	48	66.5	87.7	101.9	132.3	145.0
19	24	47.9	63.7	73.9	96.9	106.5
	48	62.0	81.8	95.0	123.3	135.2
20	24	49.8	68.5	80.7	108.4	120.4
	48	64.3	88.0	104.7	143.6	161.2
21	24	50.4	67.1	77.9	102.2	112.5
	48	65.5	86.6	100.7	131.2	144
22	24	48.7	64.7	75.0	98.3	108.1
	48	63.5	83.8	97.3	126.3	138.5
23	24	50.6	70.0	82.7	111.4	123.9
	48	65.7	90.4	108	149.5	168.4
24	24	48.1	64.0	74.2	97.3	107.0
	48	64.1	84.6	98.2	127.6	139.8
25	24	49.2	66.0	76.9	101.4	111.8
	48	65.0	86.6	101.1	133.2	147.0
26	24	52.7	71.4	83.6	111.2	123.1
	48	67.2	90.7	106.8	143.5	159.7

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 las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs) Zacatecas (localizada en el municipio de Guadalupe, Zac) y Calvillo (localizada en el municipio de Calvillo, Ags.) ambas estaciones están cerca de la cuenca, la primera al norte y la segunda al Sur-Oeste de la cuenca. Además de estas estaciones existen otras dentro 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 Calvillo	EMA Zacatecas
Periodo de registro	Noviembre 2004 a Julio 2015	Mayo de 2000 a julio de 2015
Número de tormentas analizadas	19 tormentas analizadas de las cuales se descartó 1	28 tormentas analizadas de las cuales se descartaron 3
Precipitación máxima registrada en 24 horas	61.2 mm	76.71 mm

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.

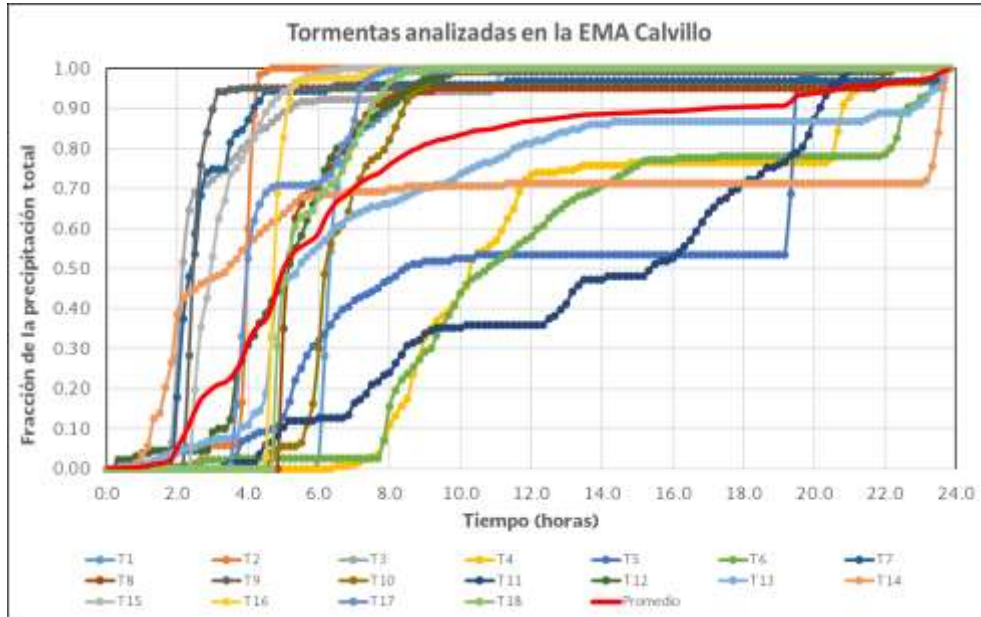


Figura 5.2. Patrón de distribución temporal de la lluvia en la EMA Calvillo

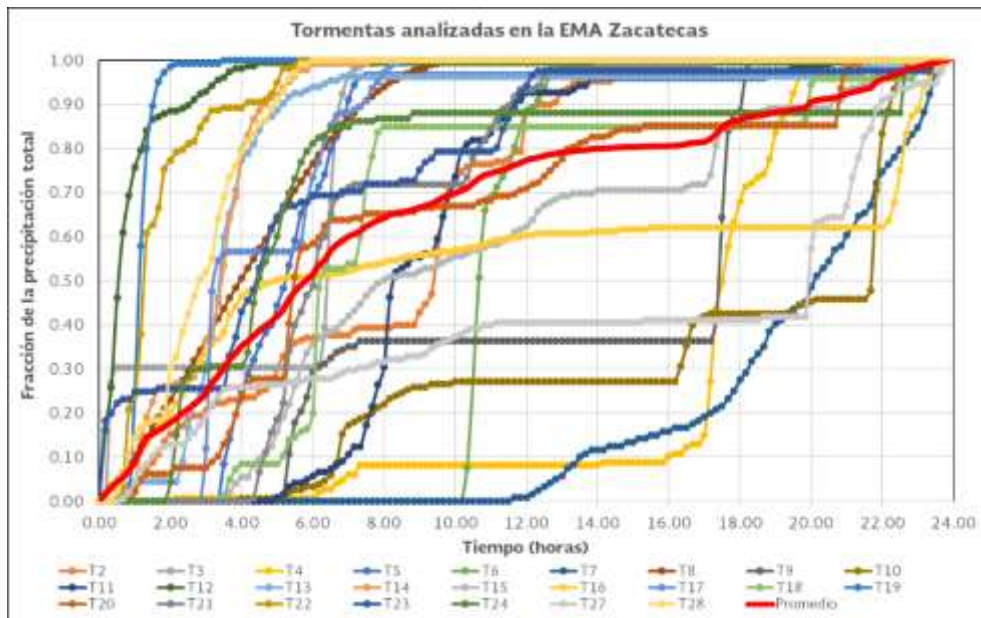


Figura 5.3. Patrón de distribución temporal de la lluvia en la EMA Zacatecas

5.1.3. Modelo lluvia-escurrencimiento

Una vez que se han calculado las características fisiográficas de la cuenca y la precipitación para los diferentes periodos de retorno en cada una de las subcuencas se procede a determinar los gastos para los diferentes periodos de retorno mediante la modelación del proceso lluvia- escurrimiento. Esto es necesario ya que en la cuenca no se cuenta con información suficiente de escurrimientos en las 10 estaciones hidrométricas existentes en la cuenca.

Cabe mencionar que se los resultados obtenidos de las avenidas corresponderán a periodos de retorno de precipitación.

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 26 subcuencas, pero en el formato del HEC-HMS, además de incluir las 17 presas y 3 bordos pequeños.

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) Precipitación efectiva (Loss Precipitation)

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

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

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

donde

P = Precipitación, en cm.

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 siguiente figura.

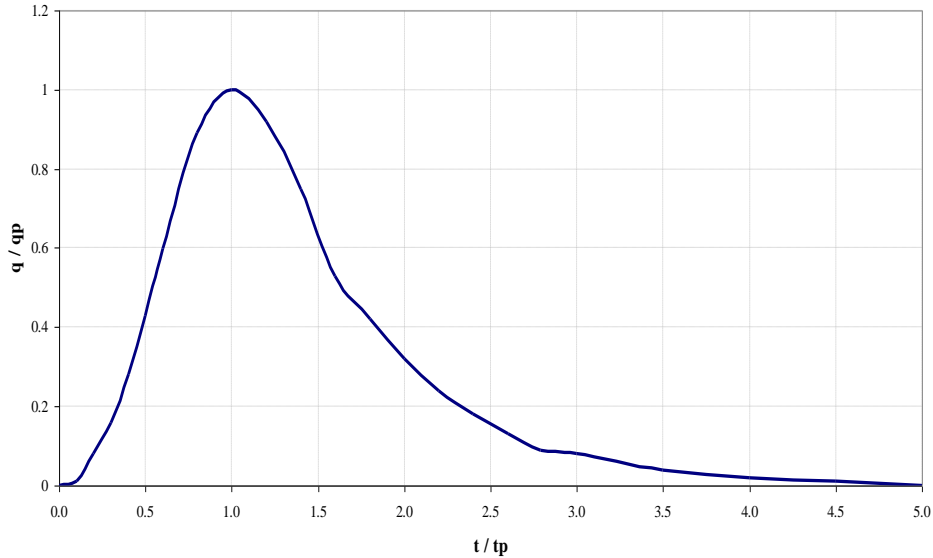


Figura 5.4. Hidrograma curvilíneo adimensional del SCS.

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

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

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

donde

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

t_p =tiempo pico de la cuenca

Finalmente es necesario dar la forma completa a la avenida, ya que la ecuación anterior calcula el gasto máximo de la misma. Para poder determinar el hidrograma completo, el cual se muestra en la figura 5.4, 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 siguiente figura se presenta el modelo hidrológico construido en el software HEC-HMS.

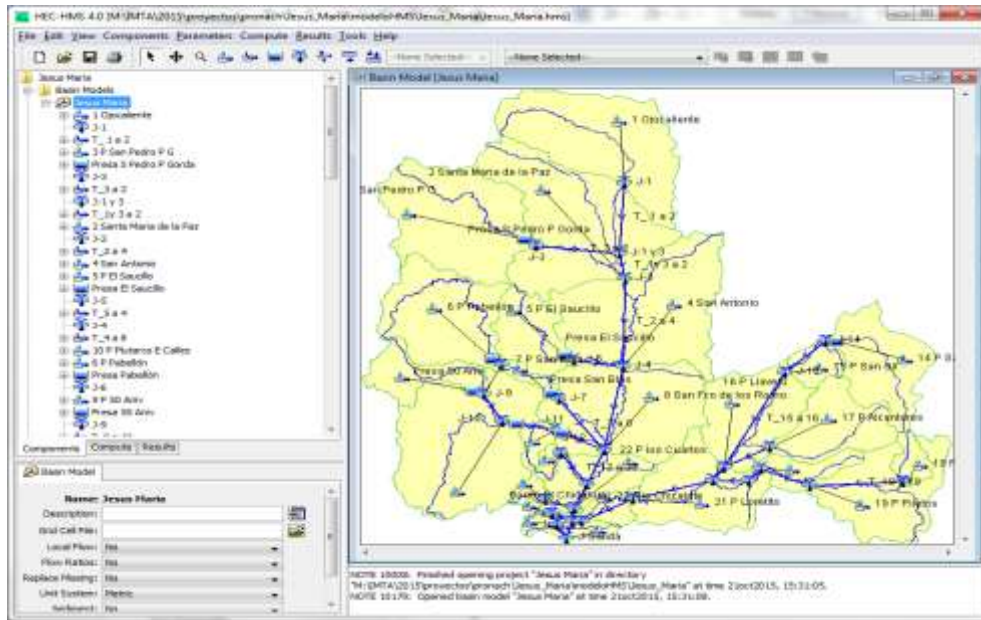


Figura 5.5. Pantalla que muestra el modelo de cuenca construido hasta la ciudad de Jesús María

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 de los funcionamientos diarios de las presas Plutarco Elías Calles y la presa El Niagara.

Punto de calibración a la salida de la cuenca

Para realizar la calibración a la salida de la cuenca se trasladó la información, mediante el factor de áreas de los gastos que ingresan a la Presa el Niagara.

Los gastos diarios que ingresan a la Presa El Niagara se determinaron a partir de la ecuación de continuidad, la cual es:

$$I - S = V$$

Donde

I es volumen diario que ingresa a la presa en el intervalo de tiempo utilizado

S = Volumen de salida de la presa en el intervalo de tiempo utilizado

V = La variación del almacenamiento en el intervalo de tiempo utilizado

Si se aplica la ecuación de continuidad utilizando como intervalo de tiempo un día, y se despeja el volumen de entrada I y además dividimos entre 86,400 segundos (segundos de un día) se obtiene el gasto de entrada a la presa.

$$Q_i = \frac{(V_i - V_{i-1})}{86400} + \frac{(S_i)}{86400}$$

Donde Q es el gasto correspondiente al día i .

De la información que se encuentra en la base de datos del BANDAS, se aplicó la ecuación anterior, obteniendo para cada año el gasto diario máximo para cada año, a continuación, se presentan los resultados.

Tabla 5.5. Gastos máximos diarios de entrada a la presa El Niagara

Año	Gasto máximo diario (m ³ /s)	Año	Gasto máximo diario (m ³ /s)
1991	440.0	1984	19.0
1976	284.6	2008	18.8
1992	157.5	2009	18.5
1971	123.1	1968	18.5
1967	116.5	1998	18.3
1973	108.7	1996	16.9
2005	91.7	1979	16.1
1970	78.3	2011	14.1
1986	64.5	1987	13.7
1988	62.8	1981	13.2
1983	60.7	1989	12.9
2006	54.7	1980	12.3
1975	54.5	1994	10.8
1990	48.4	1977	10.7
2007	46.6	2000	10.5
1978	42.8	1974	10.1
2003	42.2	1964	9.5
2001	39.9	1999	9.4
1966	36.9	2002	8.8
1995	35.5	1993	8.2
1965	35.0	1982	8.1
2004	34.1	1997	8.0
2010	28.0	1969	5.3
1985	24.7	1972	4.8

Por otra parte, de acuerdo con la estación hidrométrica (EH) Niagara II (la cual solo funcionó 4 años) localizada aguas arriba de la presa se obtuvo la relación entre el gasto diario y máximo instantáneo, siendo los siguientes valores.

Tabla 5.6. Relación entre los gastos diarios y los máximos instantáneos en la EH El Niagara II

Fecha	Gasto máximo instantáneo en un día Qm (m ³ /s)	Gasto diario Qd (m ³ /s)	Relación Qm/Qd
04-jul-57	172.0	48.8	3.53
26-sep-57	71.4	59.3	1.20
27-sep-57	50.5	26.3	1.92
26-jun-56	14.9	8.9	1.67
27-jun-56	25.6	17.2	1.49
23-jul-58	34.5	25.4	1.36

Si se descarta el valor más grande del factor Qm/Qd que es de 3.53, entonces el valor medio del factor es 1.53. Entonces los valores mostrados en la tabla 5.5 se multiplican por 1.53 con lo cual se obtienen los gastos instantáneos máximos que ingresan a la presa.

Por otra parte, el área de la cuenca de aportación hasta la Presa El Niagara es de 5,584.3 km², y el área hasta la salida de la cuenca de la zona de estudio es de 4,827.741 km², entonces el factor de área es de 0.864. Por lo que los gastos a la salida de la cuenca de la ciudad de Jesús María se obtendrán multiplicando los gastos diarios de la presa Niagara por 1.53 y por 0.864.

En la siguiente tabla se presenta el cálculo de los gastos máximos a la salida de la cuenca de la localidad de Jesús María los cuales deben utilizarse para calibrar el modelo de cuenca construido en el software HEC-HMS. Además, en la misma tabla se presenta el periodo de retorno correspondiente a cada gasto.

El gasto a la salida de la cuenca de la ciudad de Jesús María que se utilizará para calibrar el modelo de cuenca es el correspondiente al periodo de retorno de 50 años, es decir del orden de los 580 m³/s.

Tabla 5.7. Gastos instantáneos de entrada a la presa El Niagara y los gastos de salida en la cuenca de estudio

Año	Gasto diario en la presa Niagara (m ³ /s)	Gasto instantáneo en la presa Niagara (m ³ /s)	Gasto a la salida de la cuenca de Jesús María (m ³ /s)	Orden m	Periodo de retorno (años) Tr
1991	440.0	672.93	581.71	1	51.0
1976	284.6	435.20	376.20	2	25.5
1992	157.5	240.83	208.18	3	17.0
1971	123.1	188.31	162.78	4	12.8
1967	116.5	178.16	154.01	5	10.2
1973	108.7	166.26	143.72	6	8.5
2005	91.7	140.25	121.24	7	7.3
1970	78.3	119.76	103.53	8	6.4
1986	64.5	98.61	85.25	9	5.7
1988	62.8	96.05	83.03	10	5.1
1983	60.7	92.89	80.30	11	4.6
2006	54.7	83.69	72.34	12	4.3

Año	Gasto diario en la presa Niagara (m ³ /s)	Gasto instantáneo en la presa Niagara (m ³ /s)	Gasto a la salida de la cuenca de Jesús María (m ³ /s)	Orden m	Periodo de retorno (años) Tr
1975	54.5	83.36	72.06	13	3.9
1990	48.4	74.00	63.97	14	3.6
2007	46.6	71.34	61.67	15	3.4
1978	42.8	65.43	56.56	16	3.2
2003	42.2	64.48	55.74	17	3.0
2001	39.9	60.95	52.69	18	2.8
1966	36.9	56.43	48.78	19	2.7
1995	35.5	54.28	46.93	20	2.6
1965	35.0	53.50	46.25	21	2.4
2004	34.1	52.15	45.08	22	2.3
2010	28.0	42.80	36.99	23	2.2
1985	24.7	37.77	32.65	24	2.1
1984	19.0	29.09	25.14	25	2.0
2008	18.8	28.72	24.83	26	2.0
2009	18.5	28.29	24.45	27	1.9
1968	18.5	28.24	24.41	28	1.8
1998	18.3	28.02	24.22	29	1.8
1996	16.9	25.82	22.32	30	1.7
1979	16.1	24.55	21.23	31	1.6
2011	14.1	21.50	18.58	32	1.6
1987	13.7	20.95	18.11	33	1.5
1981	13.2	20.17	17.44	34	1.5
1989	12.9	19.75	17.07	35	1.5
1980	12.3	18.87	16.31	36	1.4
1994	10.8	16.58	14.34	37	1.4
1977	10.7	16.42	14.19	38	1.3
2000	10.5	16.13	13.94	39	1.3
1974	10.1	15.41	13.32	40	1.3
1964	9.5	14.55	12.58	41	1.2
1999	9.4	14.38	12.43	42	1.2
2002	8.8	13.49	11.66	43	1.2
1993	8.2	12.48	10.79	44	1.2
1982	8.1	12.44	10.75	45	1.1
1997	8.0	12.30	10.63	46	1.1
1969	5.3	8.13	7.03	47	1.1
1972	4.8	7.30	6.31	48	1.1
1963	4.0	6.14	5.31	49	1.0

Punto de Calibración de la presa Plutarco Elías Calles

Al igual que en la presa El Niagara, en la Presa Plutarco Elías Calles (PPEC) se calcularon los gastos diarios que ingresaron a la presa para los 76 años de registro que se encuentra en la base de datos BANDAS (1932 a 2011), resultando lo siguiente:

Tabla 5.8. Gastos máximos diarios de entrada a la presa Calles

Año	Gasto máximo diario (m ³ /s)	Año	Gasto máximo diario (m ³ /s)
1991	225.5	1962	54.1
1996	217.6	1955	46.8
1986	186.0	1932	46.8
1999	177.4	1938	44.0
1995	176.3	1972	42.3
1992	176.1	1941	42.1
1935	166.2	2010	42.1
1987	163.1	1943	39.7
1973	143.1	1939	39.3
1998	142.2	2007	37.0
2001	139.5	1940	31.6
1967	134.5	1951	29.9
1971	121.0	1963	27.7
1997	118.6	1994	27.3
1968	111.9	1974	26.9
1976	111.6	1942	25.7
1958	103.3	2009	25.2
1970	97.9	1977	24.5
2006	96.2	1950	23.6
2008	95.8	1947	22.5
1990	87.0	1989	20.6
2003	86.7	1965	20.1
1944	73.1	1948	19.6
2004	70.3	1993	19.2
1975	68.9	1949	18.9
2000	68.0	1946	18.1
2002	67.3	1953	17.9
1937	66.0	1957	17.1
1966	65.5	1960	16.8
1933	63.8	1964	16.8
1934	61.1	1961	15.2
1956	60.5	1952	14.4
1988	59.9	1959	13.8
1982	58.5	1945	13.3
1983	58.3	1981	11.3
2005	57.6	1969	11.3
1984	56.8	1954	9.8
1936	55.9	2011	7.5

A Los gastos diarios obtenidos se le aplicó un análisis de frecuencias, ajustándose a los datos la función de distribución de probabilidad Gamma 3 parámetros por el método de momentos dando un error estándar de ajuste de 9.93 mm. Los gastos diarios para los diferentes periodos de retorno obtenidos con el análisis de frecuencias, se multiplicaron por el factor de 1.53 el cual relaciona los gastos instantáneos con los gastos diarios, dicho factor, debido a que no hay hidrometría en la PPEC, se consideró el mismo que en la presa Niagara. En la siguiente tabla se muestran los resultados.

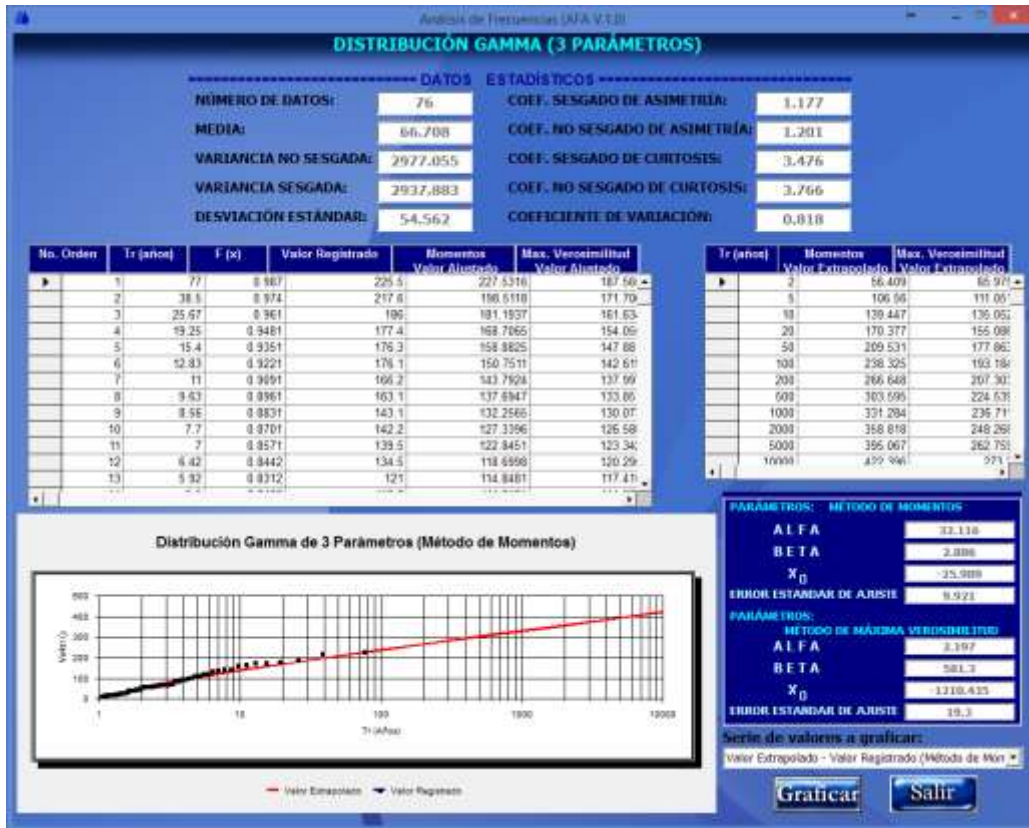


Figura 5.6. Resultado del análisis de frecuencias de gastos máximos diarios

Tabla 5.9. Valores de los gastos máximos de entrada a la presa Calles para los periodos de retorno

Periodo de retorno Tr (años)	Gasto diario de entrada en la presa Calles (m ³ /s)	¹ Gasto instantáneo en la presa Calles (m ³ /s)
2	56.4	86.3
5	106.6	163.0
10	139.4	213.4
50	209.5	320.6
100	238.3	364.6

Nota: 1. Se calcularon multiplicando el gasto medio diario de entrada a la presa por el factor que relaciona el gasto máximo instantáneo con el gasto medio diario, el cual es de 1.53

Los valores de los gastos de entrada a la presa que se utilizarán para calibrar el modelo hidrológico son los correspondientes al periodo de retorno de 100 años, es decir 364.6 m³/s.

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 se fueron ajustando hasta lograr realizar la calibración en los puntos mencionados en el subcapítulo 5.1.4.

Resultados en la Presa Plutarco Elías Calles (PPEC)

La calibración siempre se realiza a partir de las cuencas de cabecera y se va avanzando hacia aguas abajo, por lo que el primer punto calibrado fue la presa Calles obteniendo como resultado un gasto de 303.17 m³/s y de 364.95 m³/s para los periodos de retorno de 50 y 100 años respectivamente. Estos gastos son muy similares a los gastos obtenidos mediante con análisis de frecuencias (tabla 5.9) los cuales son de 320.6 y 364.6 m³/s para los periodos de retorno de 100 y 50 años respectivamente.

Resultados a la salida de la cuenca

El siguiente paso fue calibrar a la salida de la cuenca de estudio, al igual que en la presa Calles se hizo variar el número de escurrimiento en cada una de las subcuencas, manteniendo fijos los valores del número de escurrimiento obtenidos en la calibración en el punto de la presa Calles. En este punto se calibró el periodo de retorno de 50 años obteniendo con la simulación del proceso lluvia escurrimiento un gasto de 582.81 m³/s. este valor es muy similar al deducido a la salida de la cuenca a partir de los ingresos calculados en la presa Niagara, el cual fue de 580.11 m³/s.

El gasto obtenido a la salida de la cuenca mediante la modelación del proceso lluvia escurrimiento para el periodo de retorno de 10 años resultó de 288.5 m³/s el cual es mayor al deducido a partir de los ingresos de la presa El Niagara (151.01 m³/s), sin embargo, se considera como correcto el de 288.5 m³/s, debido a que en la PPEC el gasto de ingreso para ese periodo de retorno es de 213.4 m³/s, es decir mayor a 151.01 m³/s.

En el siguiente cuadro se presentan los valores finales de los números de escurrimiento una vez efectuada la calibración.

Tabla 5.10. Valores de los números de escurrimiento (N) calibrados

No	Subcuenca	N inicial	N Condiciones secas	N calibrado
1	Ojo Caliente	84.52	69.64	59.68
2	Santa María de la Paz	82.73	66.79	57.24
3	Presa San Pedro Piedra Gorda	80.64	63.63	54.53
4	San Antonio	83.33	67.74	58.05
5	Presa El Saucillo	78.90	61.10	52.36
6	Presa Pabellón	77.46	59.08	66.99
7	Presa San Blas	76.82	58.19	49.87
8	San Francisco de los Romo	82.81	66.93	57.36
9	Presa 50 Aniversario	76.10	57.21	64.88
10	Presa Plutarco Elías Calles	81.15	64.39	73.02
11	Presa Jocoqui	83.06	67.32	57.69

No	Subcuenca	N inicial	N Condiciones secas	N calibrado
12	Presa el Garabato	81.96	65.61	56.23
13	Presa El Chichimeco	80.76	63.81	73.30
14	Presa San Marcos	84.09	68.95	59.09
15	Presa San Gil	82.46	66.39	56.89
16	Presa Llaverero o la Diosa	82.28	66.11	56.65
17	Presa Alcantares	82.58	66.56	57.05
18	Presa Art 115 Constitución	83.32	67.72	58.04
19	Presa Pilotos	83.14	67.43	57.79
20	Bordo Cañada Honda	76.80	58.17	49.85
21	Presa Loretito	79.18	61.50	52.71
22	Presa Los Cuartos	81.66	65.16	55.84
23	Río Chicalote	80.71	63.73	54.61
24	Bordo el Chichahual	80.12	62.86	72.82
25	Bordo el Chaveño	80.04	62.75	72.77
26	Río San Pedro-Jesús María	82.78	66.88	74.83

Los resultados de la calibración del número de escurrimiento disminuyeron respecto a los valores iniciales debido a que en la cuenca existen varias presas pequeñas o bordos los cuales retienen agua, y al no contar con información suficiente para su incorporación al modelo hidrológico, los valores del número de escurrimiento calibrado de cierta forma contemplan dicho impacto.

En la siguiente tabla se presentan los valores de los gastos en cada una de las subcuencas, y a la entrada de la presa Calles y a la salida de la cuenca.

Tabla 5.11. Gastos máximos (m³/s) para diferentes periodos de retorno en las subcuencas

Subcuenca	Periodo de retorno (años)				
	2	5	10	50	100
1 Ojocaliente	22.184	48.174	68.073	114.800	137.303
2 Santa María de la Paz	18.031	47.948	72.488	137.230	168.892
3 P San Pedro P G	9.307	28.094	43.158	80.622	97.737
4 San Antonio	20.552	47.209	67.963	117.746	140.293
5 P El Saucillo	4.038	11.650	17.709	32.622	39.437
6 P Pabellón	40.416	69.357	98.226	177.099	214.385
7 P San Blas	0.420	2.291	3.812	7.649	9.429
8 San Fco. de los Romo	24.075	56.732	81.715	141.437	168.229
9 P 50 Aniversario	13.439	25.127	33.707	56.184	70.843
10 P Plutarco E Calles	58.733	104.351	147.804	256.909	307.746
11 P Jocoqui	2.420	5.583	8.003	13.798	16.408
12 P El Garabato	1.461	4.002	6.133	11.866	14.716
13 P El Chichimeco	7.927	13.675	19.977	36.011	43.439
14 P San Marcos	11.511	25.476	36.132	61.494	72.744
15 P San Gil	2.680	6.444	9.369	16.340	19.476
16 P Llaverero	8.304	21.652	32.175	57.602	69.035

Subcuenca	Periodo de retorno (años)				
	2	5	10	50	100
17 P Alcantares	6.156	16.319	24.220	43.505	52.221
18 P A115 Constitución	3.439	7.555	10.685	18.048	21.313
19 P Pilotos	9.483	23.115	33.709	59.153	70.703
20 B Cañada Honda	0.755	4.641	8.166	17.928	22.865
21 P Loretito	5.485	17.600	27.445	52.126	63.502
22 P los Cuartos	5.833	15.157	22.370	39.738	47.603
23 Río Chicalote	1.640	4.927	7.707	15.168	18.844
24 Bordo El Chicahual	2.280	3.752	5.003	9.880	12.139
25 Bordo el Chaveño	4.372	7.283	10.218	20.199	24.982
26 R San Pedro -JM	10.360	19.751	29.145	54.397	66.678
Entrada a la presa Calles	74.200	121.797	172.426	303.175	364.946
Salida de la cuenca	62.348	181.447	288.524	582.807	730.062

En la siguiente tabla se presentan los gastos para los diferentes periodos de retorno en cada uno de los puntos que se considerarán como ingreso al área de la modelación hidráulica en dos dimensiones a través del software IBER.

Tabla 5.12. Gastos máximos (m^3/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
Río San Pedro	40.448	113.812	181.856	372.946	470.260
Río Chicalote	24.290	69.186	107.956	210.815	260.614
Bordo el Chicahual	1.798	3.102	4.239	8.550	10.527
Bordo El Chaveño	4.241	7.091	10.224	19.766	24.265

A continuación, se presentan figuras con algunos resultados

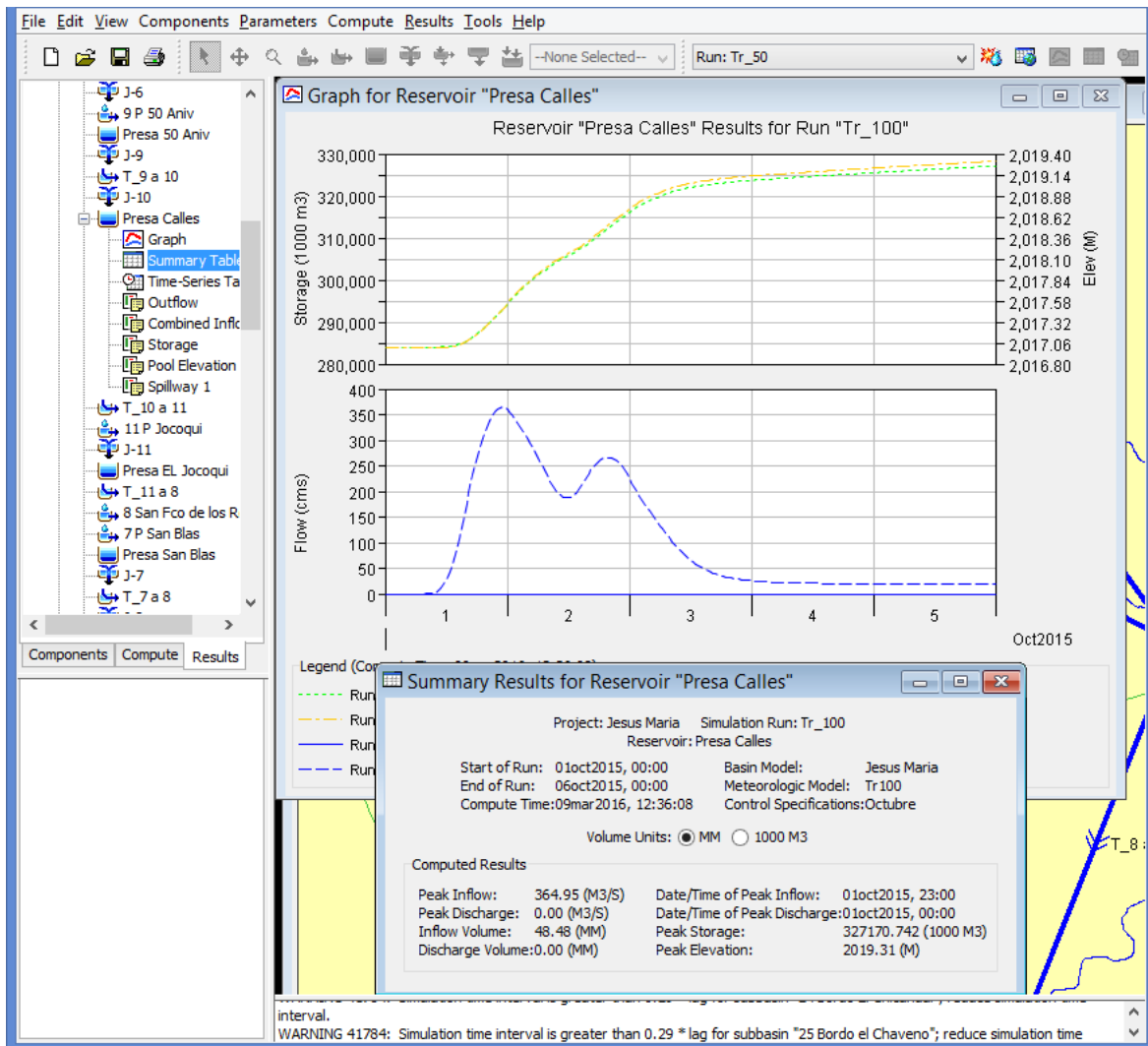


Figura 5.7. Resultados del modelo hidrológico para el periodo de retorno de 100 años en la presa Plutarco Elías Calles.

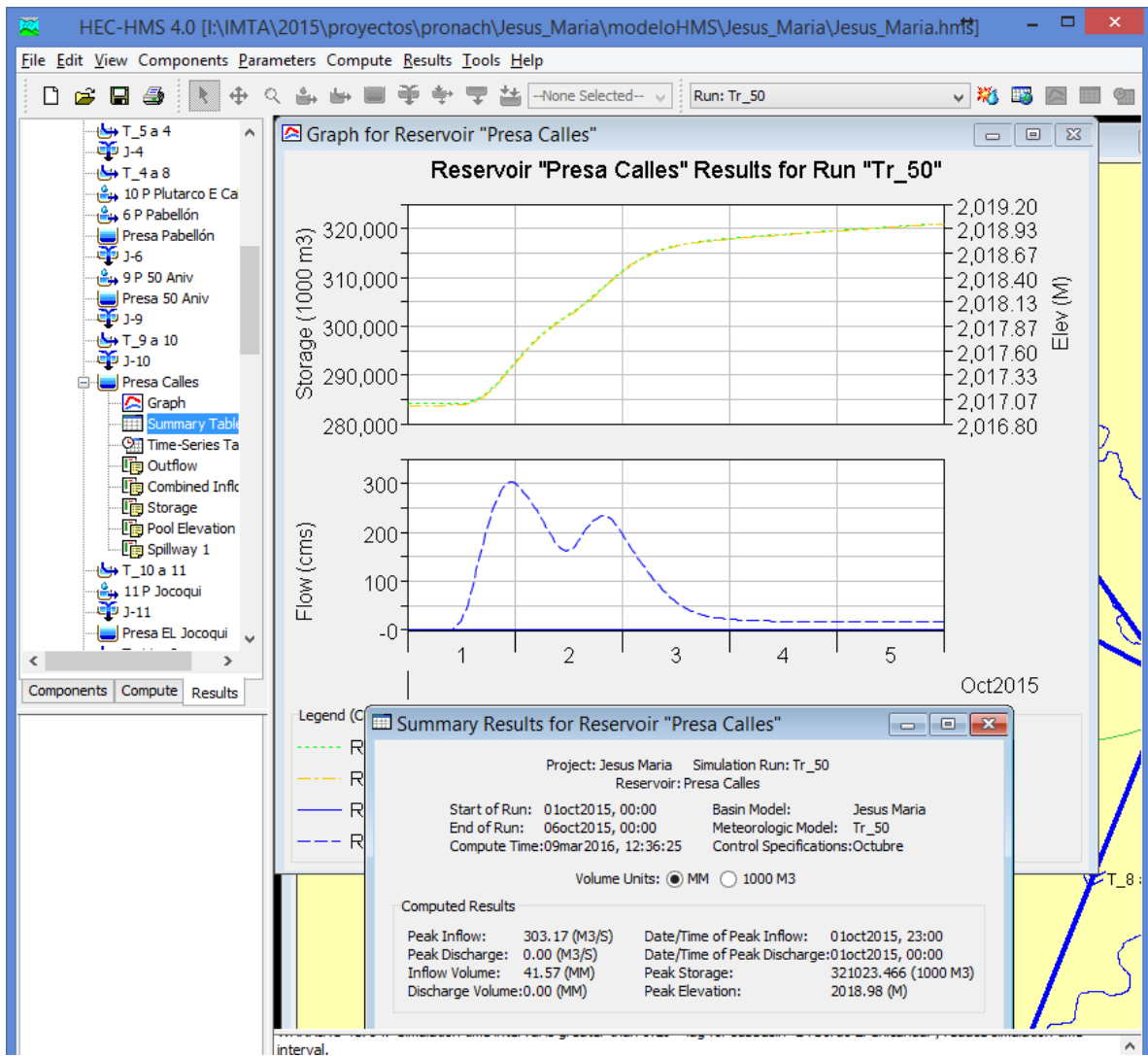


Figura 5.8. Resultados del modelo hidrológico para el periodo de retorno de 50 años en la presa Plutarco Elias Calles.

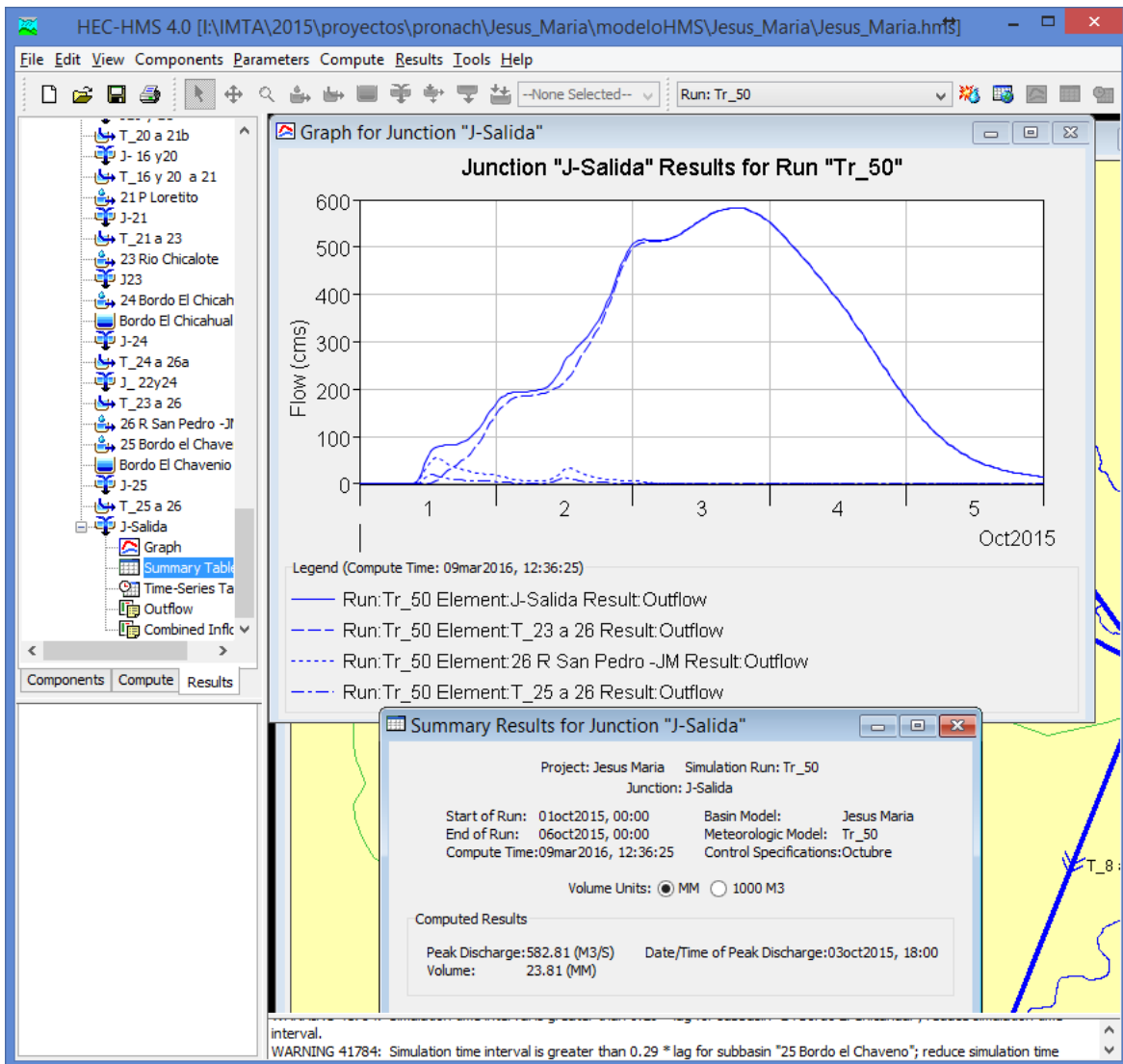


Figura 5.9. Resultados del modelo hidrológico para el periodo de retorno de 50 años a la salida de la cuenca

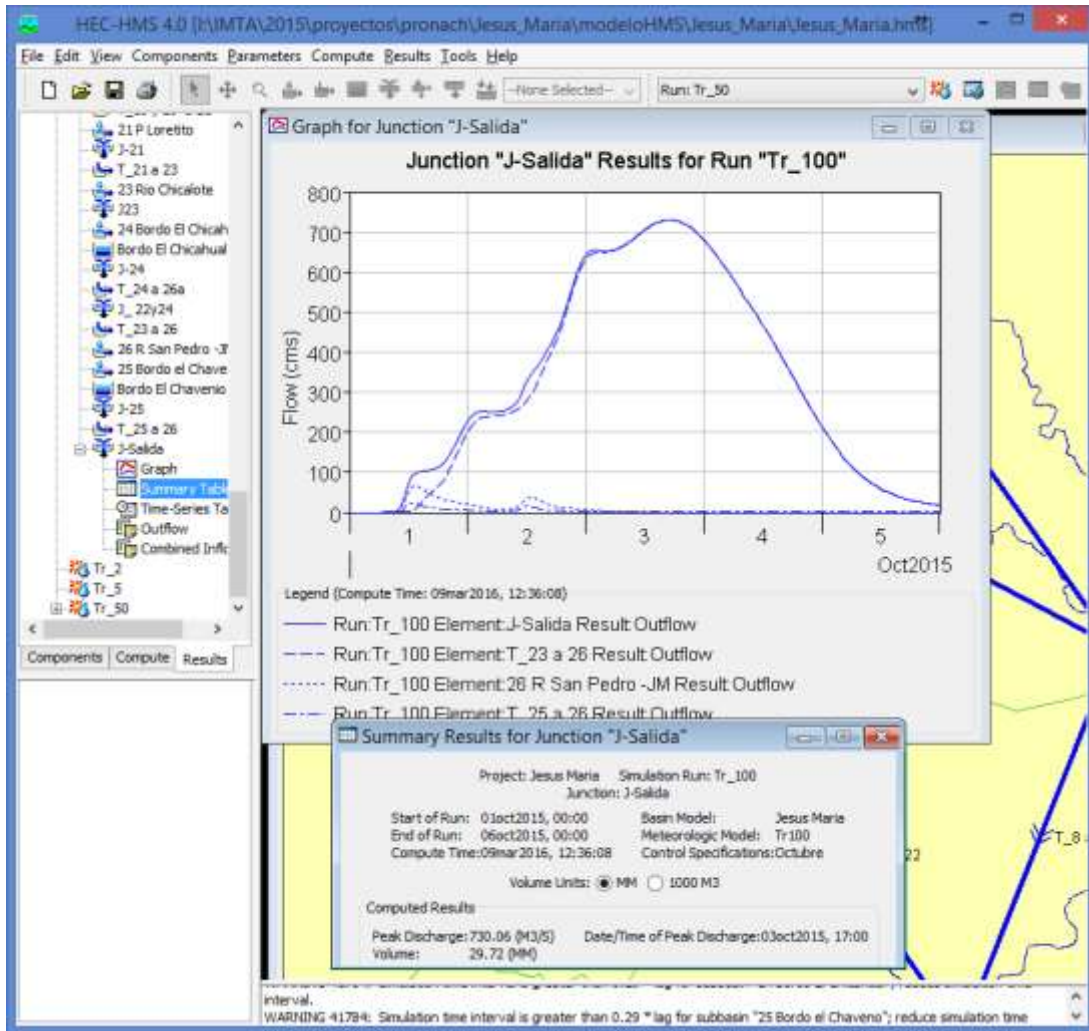


Figura 5.10. Resultados del modelo hidrológico para el periodo de retorno de 100 años a la salida de la cuenca

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 2.3.2⁶.

⁶Bladé, 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 incluye la zona urbana de la ciudad de Jesús María.

La zona a modelar es de 38.4 km² y corresponde a la subcuenca 26 utilizada en el estudio hidrológico. Una vez definida la zona se procedió a recopilar la información topográfica de la misma, la cual consiste en modelos digitales de elevación (MDE) con levantamiento LIDAR escala 1:10,000 y con tamaños de celdas de 5 metros.

Las claves de las cartas que cubren la zona que se simulará son: F13D18C2, F13D19CA y F13D19A2, y una vez recopilada la información se procedió a unir los MDE y posteriormente se recortó el modelo al contorno de la zona a simular.

Una vez que se recopiló la información, el siguiente paso es unir las tres cartas y posteriormente recortar el modelo digital de elevación a la zona a simular.

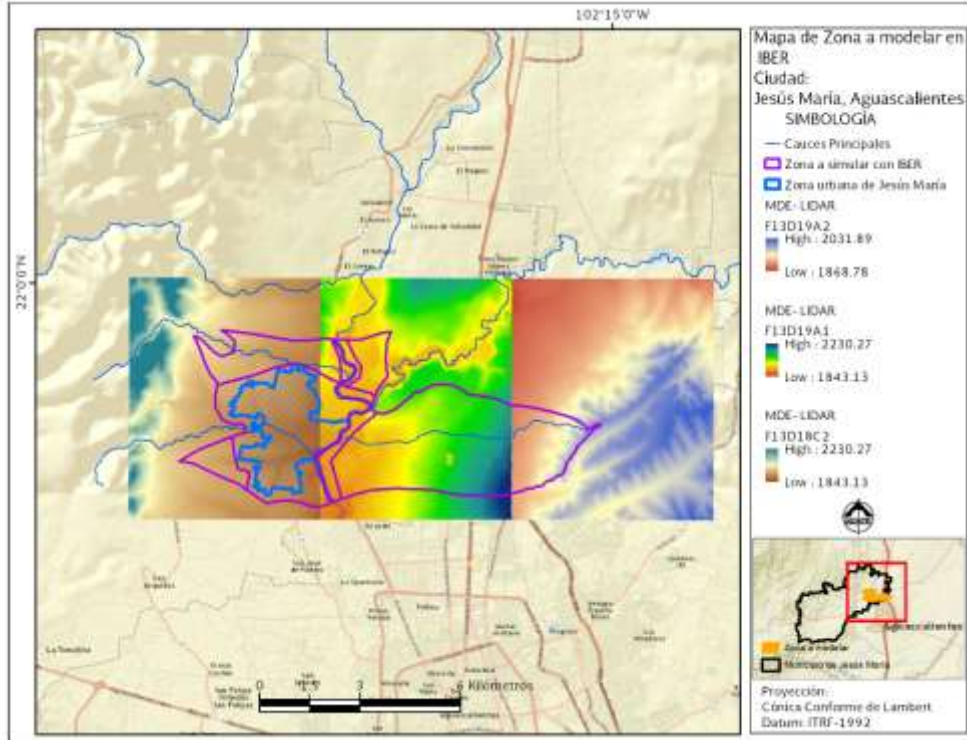


Figura 5.11. Esquema de las cartas topográficas de LIDAR

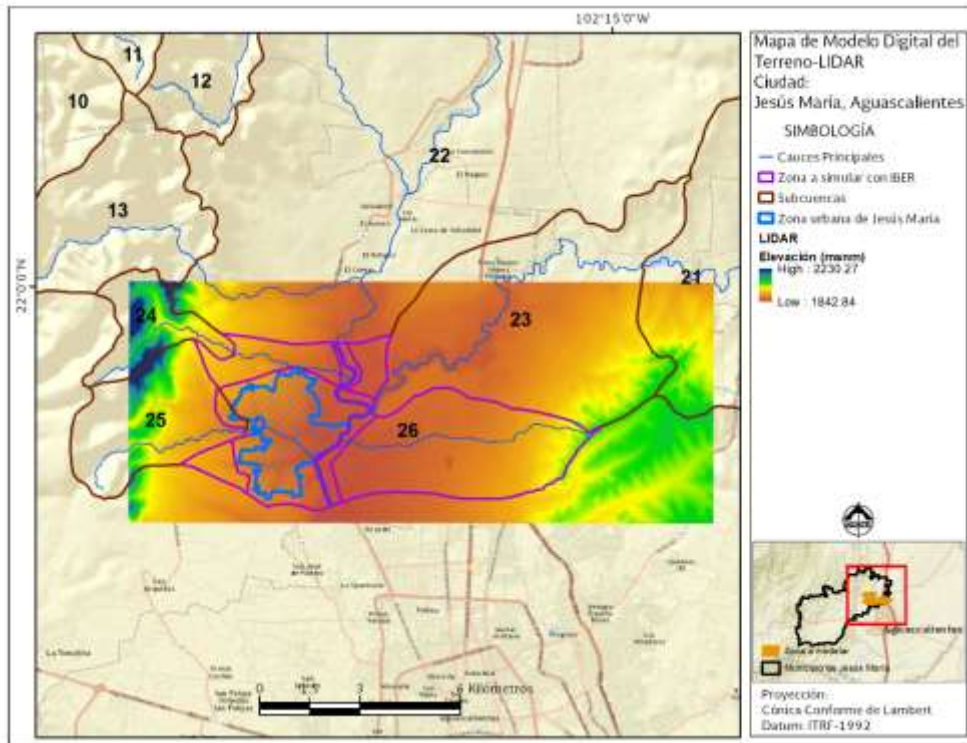


Figura 5.12. Unión de las 3 cartas de LIDAR

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.

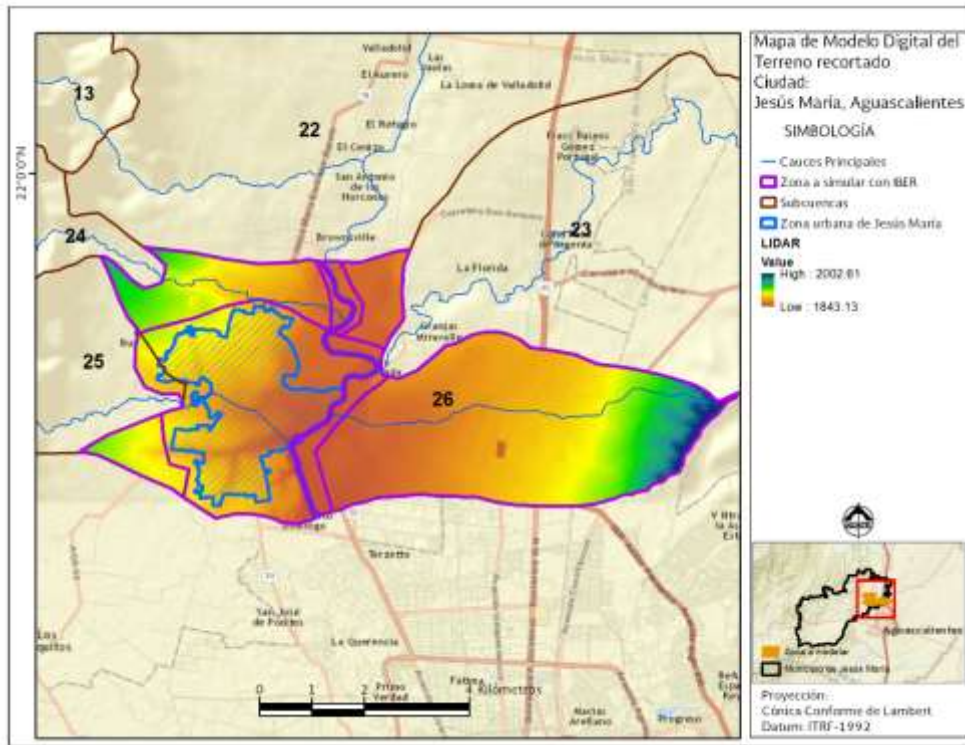


Figura 5.13. LIDAR recortado a la zona a modelar en IBER

Además del procesamiento descrito, también se realizó un dragado del MDE para el río San Pedro (figura 5.14) esto con el objeto de asegurar que el ancho y profundidad del río sea lo más cercano a la realidad.

5.2.2. Infraestructura

En el modelo hidráulico de la zona de Jesús María, 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.

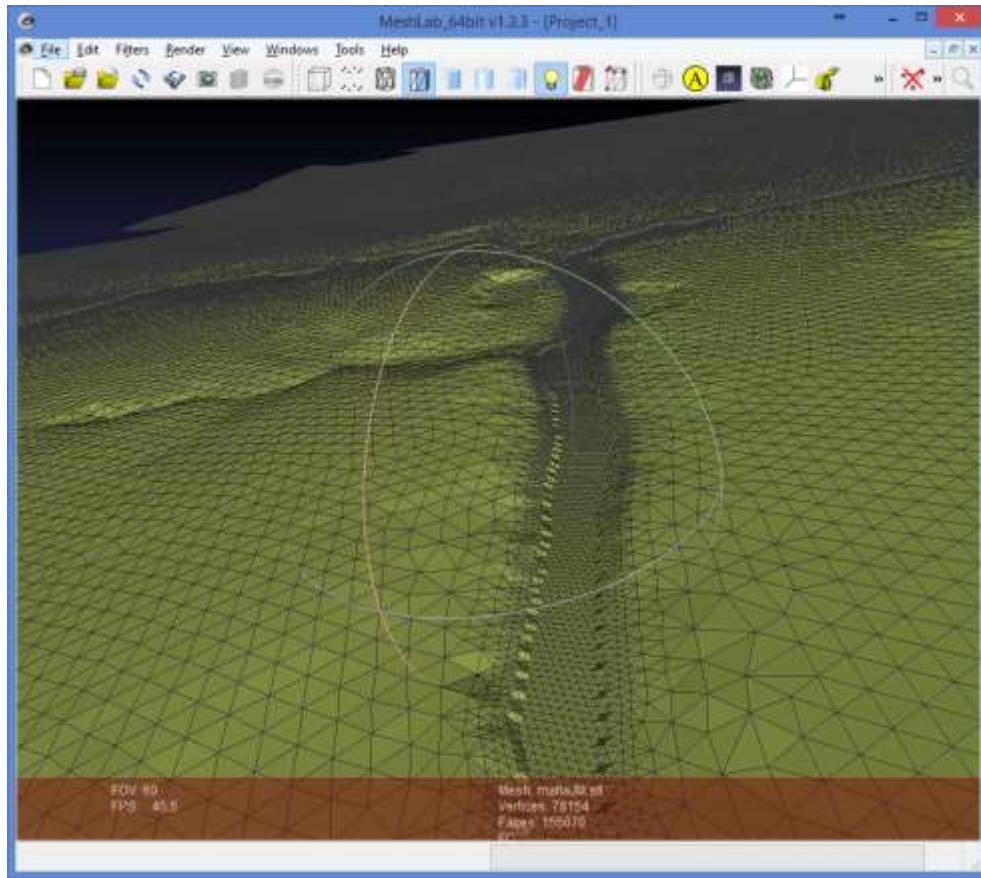


Figura 5.14. Dragado del río San Pedro visto con el software MeshLab

5.3 Simulación en las condiciones actuales

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

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

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

- Utilización de modelos con mallas no estructuradas de triángulos, con longitudes de arista de 5 m en los cauces, 20 metros la zona urbana y 40 metros en la zona no urbana.
- Tiempo máximo de simulación: 1518,400 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

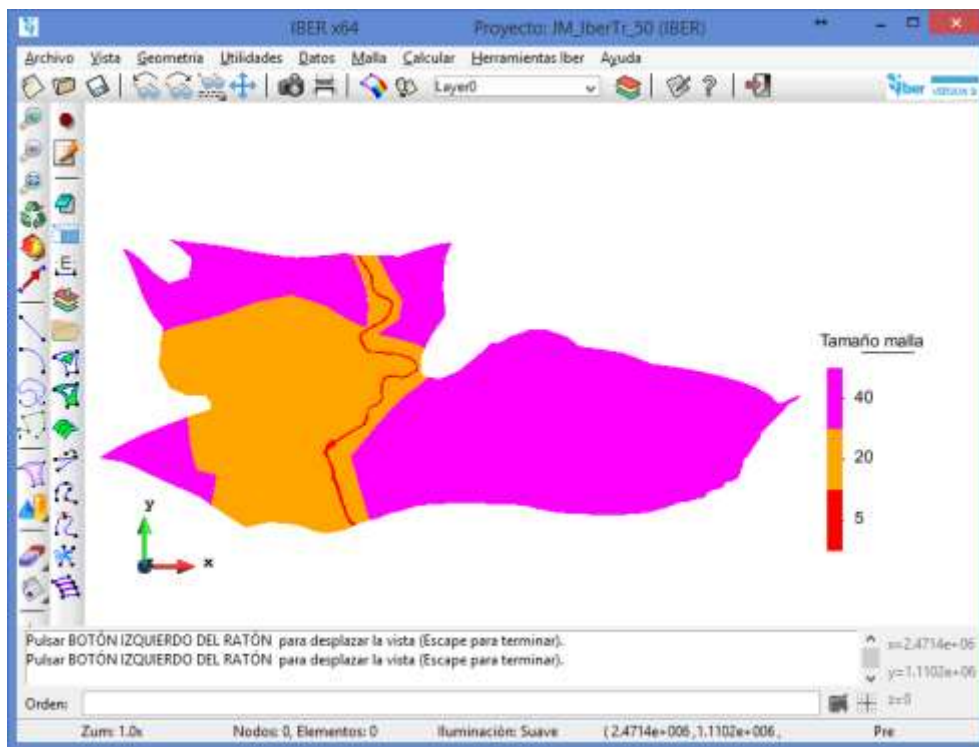


Figura 5.15. Figura que muestra los tamaños de los elementos de la Malla para el análisis hidráulico con IBER

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: Arroyo Rancho Seco (Bordo el Chicahual), Arroyo el Chaveño, río San Pedro, y el río el Chicalote. En la tabla 5.11 del subcapítulo 5.1.5 se presentan los valores de los gastos máximos en los arroyos mencionados para los diferentes periodos de retorno.

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 5.1.5).

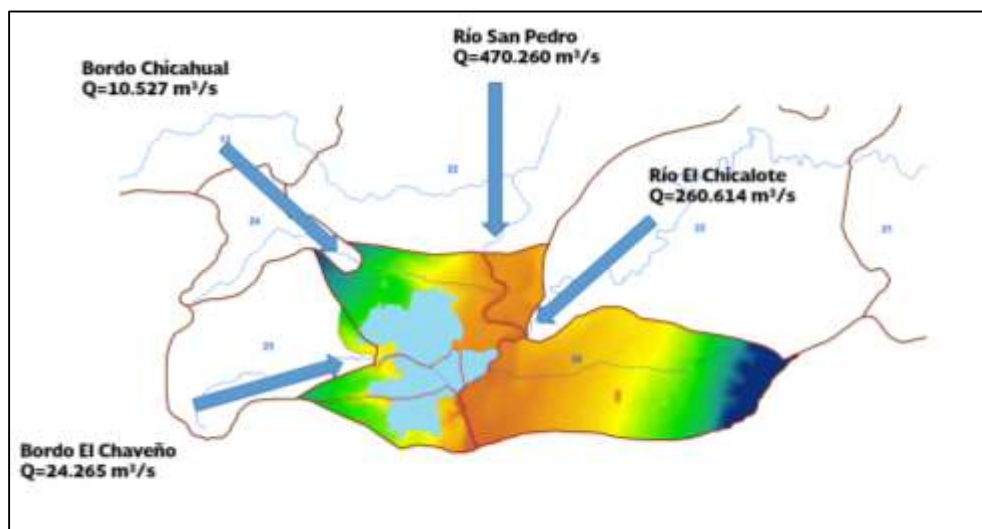


Figura 5.16. Esquema de los gastos máximos de entrada al modelo del IBER (Condiciones de frontera) para el periodo de retorno de 100 años.

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 5.13. Precipitación en la zona de modelación hidráulica para una duración de 48 horas

Precipitación	Periodo de retorno (años)				
	2	5	10	50	100
Total (mm)	67.2	90.7	106.8	143.5	159.7
Efectiva	29.3	48.3	62.1	95.1	110.1

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.

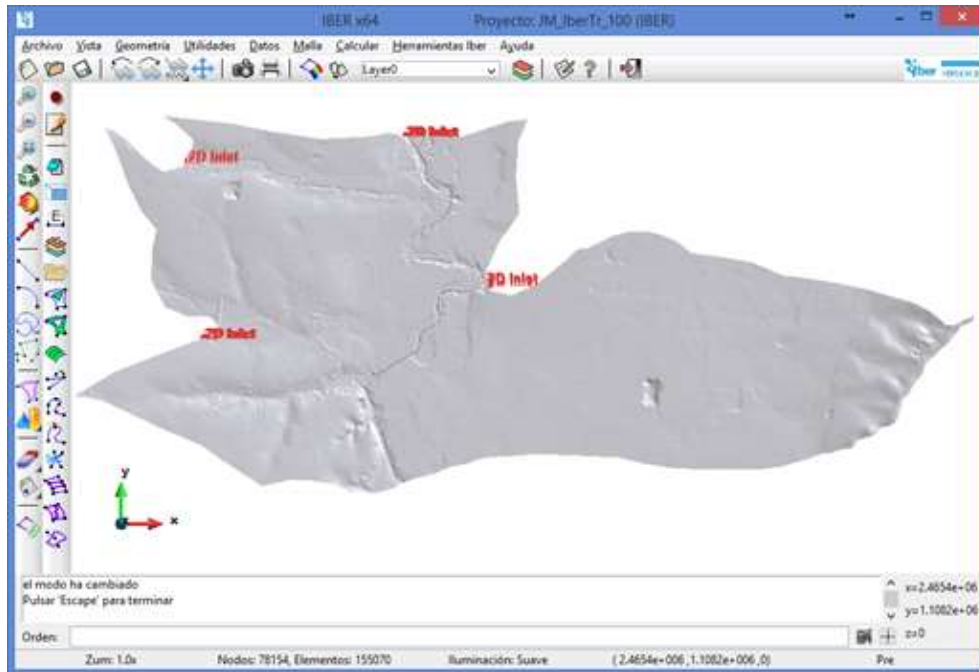


Figura 5.17. Modelo en IBER donde se indica las condiciones de frontera (entradas)

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.

Coefficiente 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 5.14).

Tabla 5.14. Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning “n” de acuerdo con el uso del suelo

Cobertura vegetal o uso del suelo	Coefficiente de rugosidad de Manning
Agricultura	0.040
Arbustos	0.060
Bosque	0.120
Cuerpo de agua	0.005

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

En las figuras 5.18 y 5.19 se presenta la variación espacial del uso del suelo para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning en el software ArcGIS.y en IBER respectivamente.

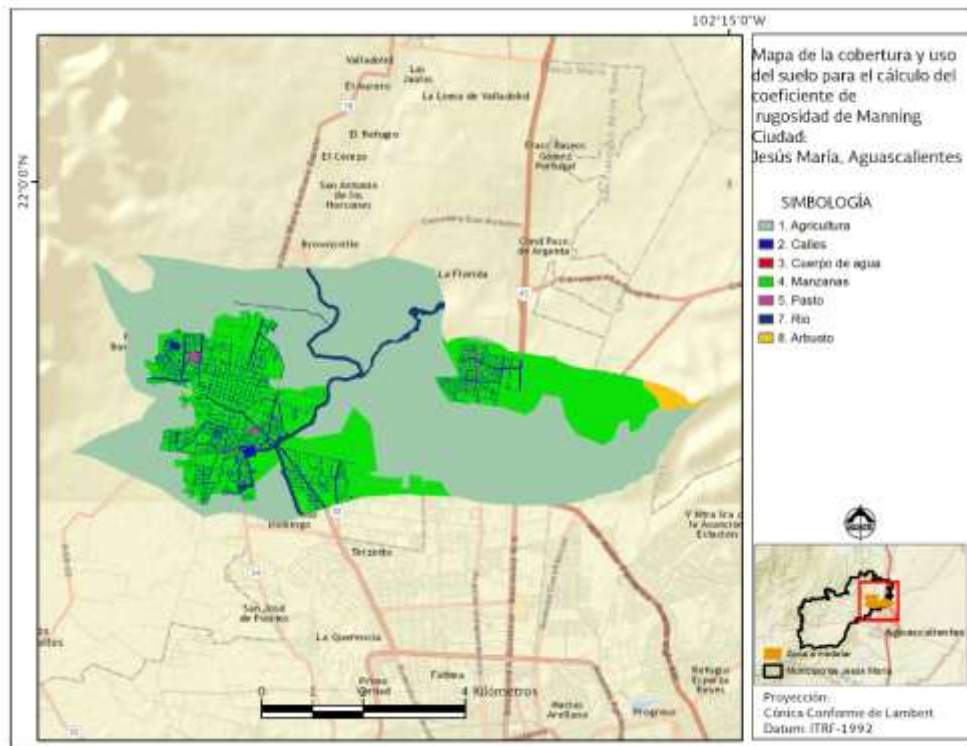


Figura 5.18 Mapa con el uso del suelo para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning

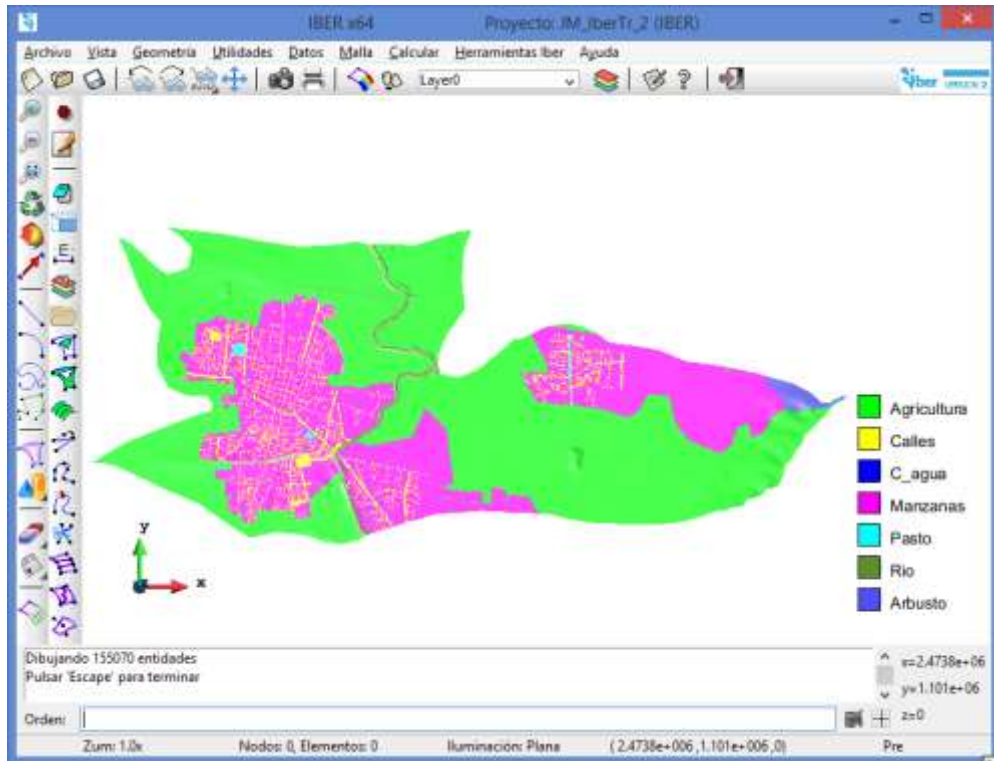


Figura 5.19. Figura que muestra la variación de la cobertura vegetal en el modelo IBER

5.4 Resultados

Los resultados de este estudio, son los niveles 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 5.7 se presentarán los valores de la severidad

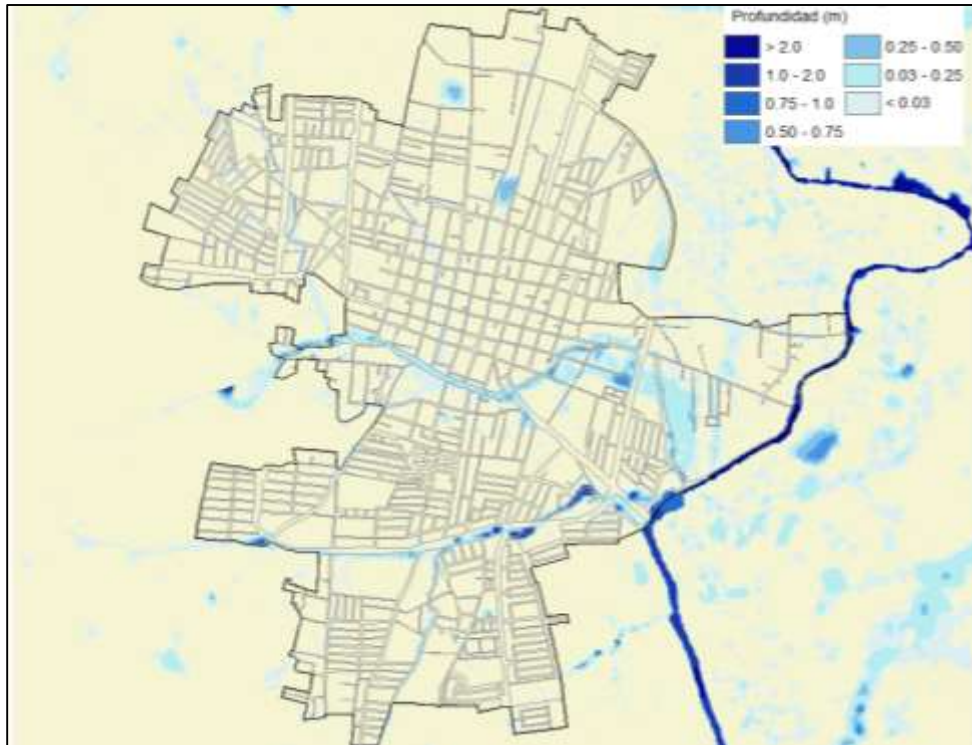


Figura 5.20 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 2 años

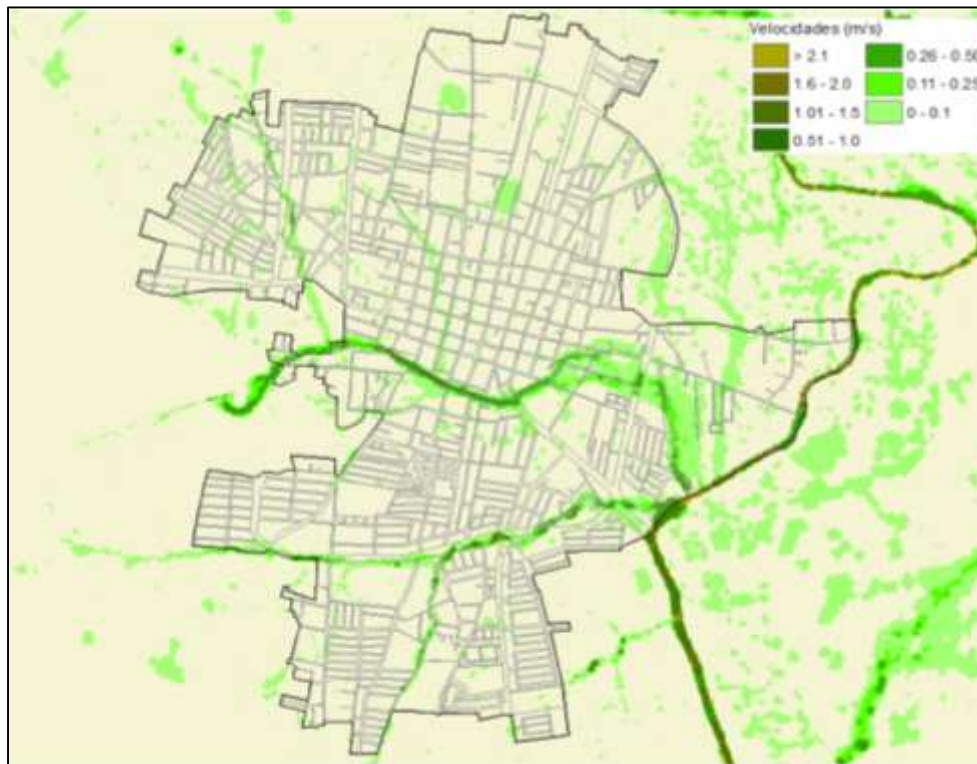


Figura 5.21 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 2 años

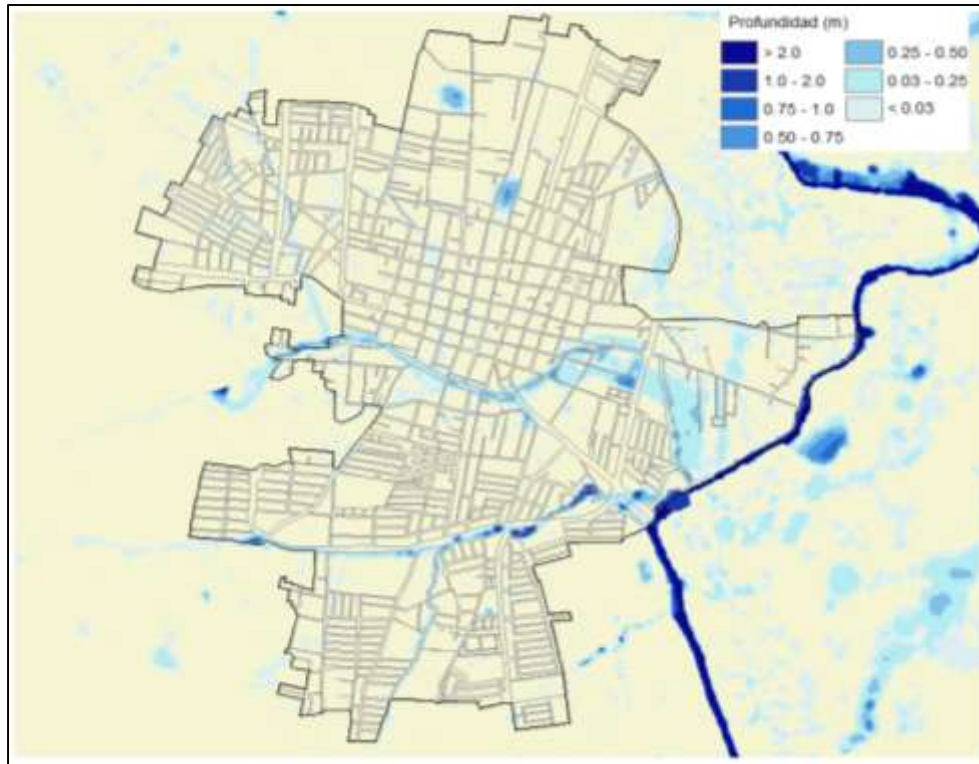


Figura 5.22 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 5 años



Figura 5.23 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años

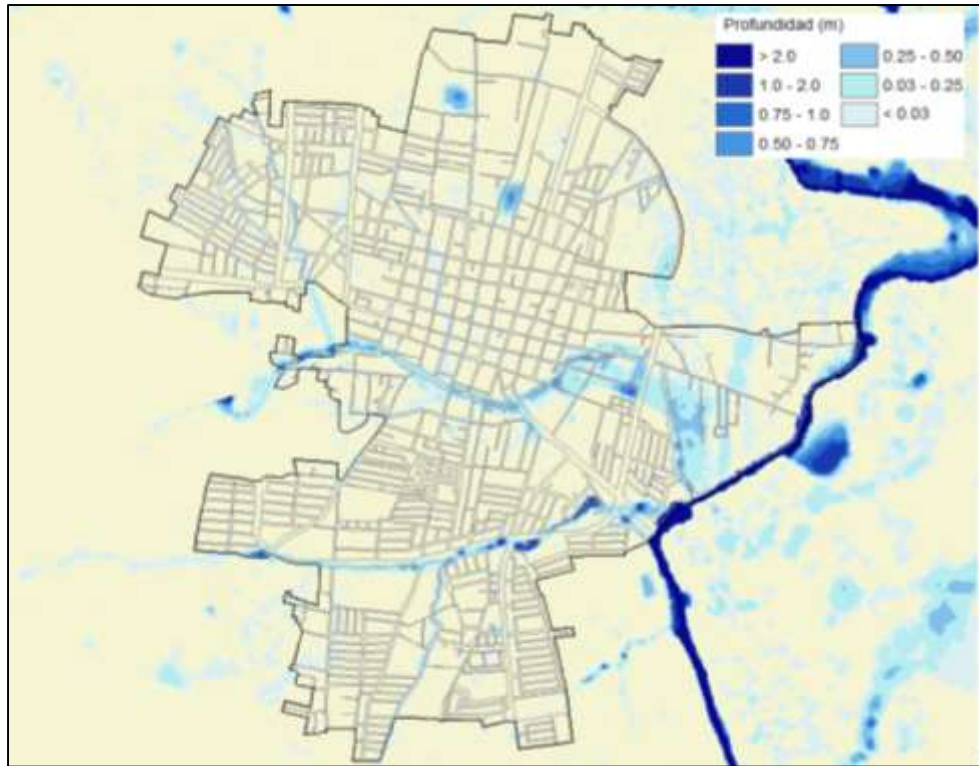


Figura 5.24 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 10 años

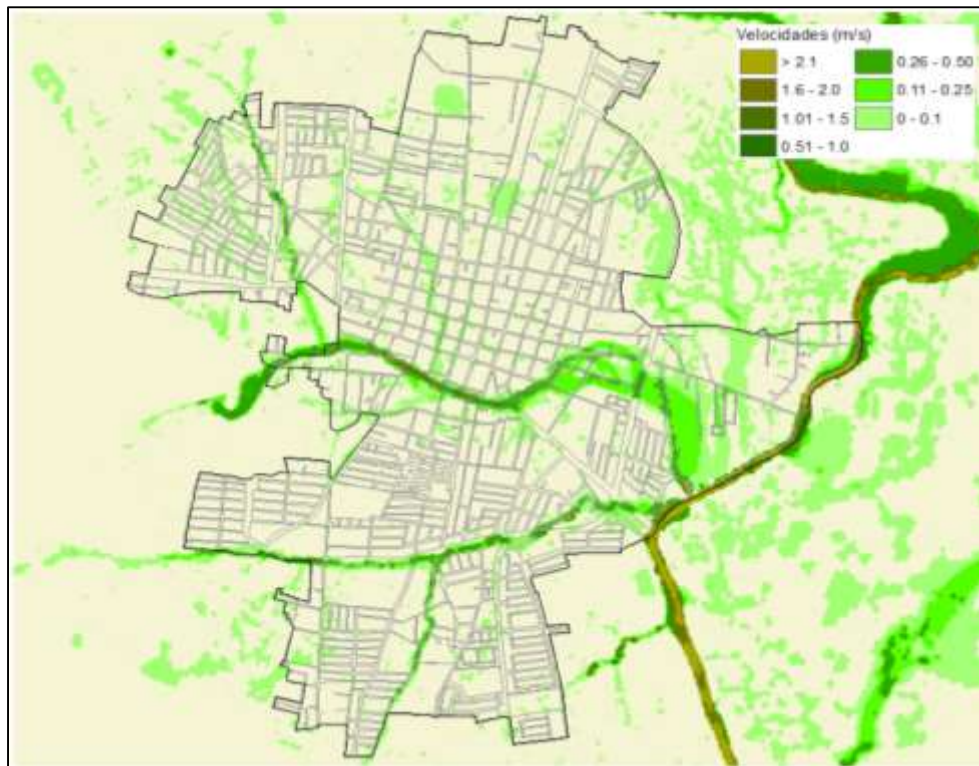


Figura 5.25 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 10 años

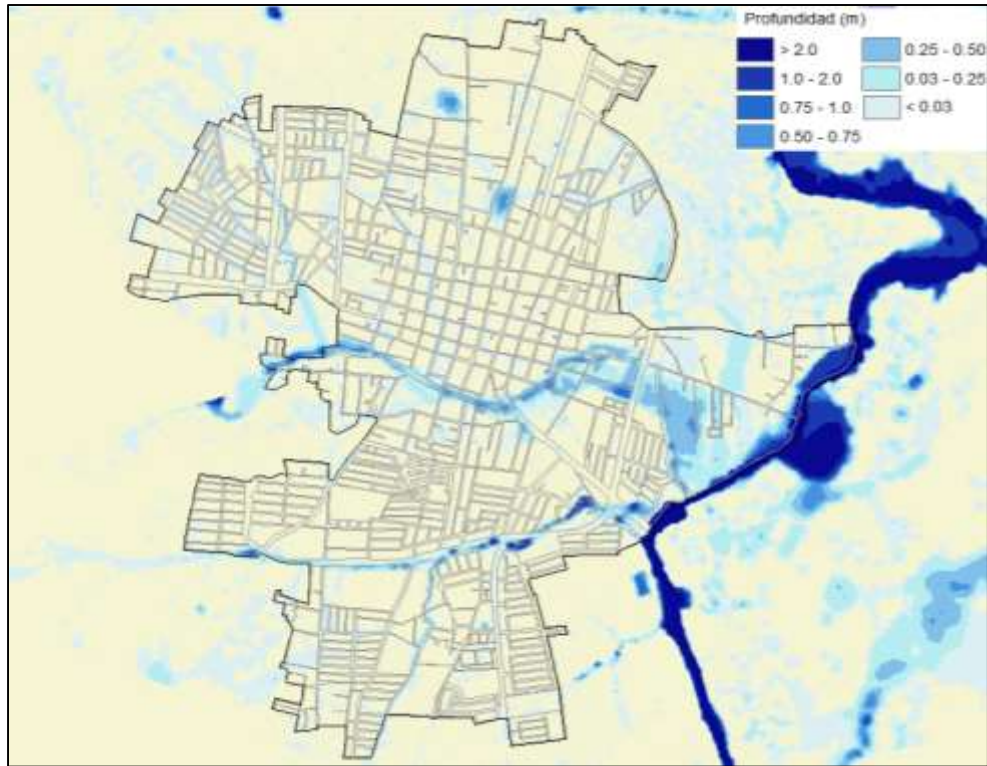


Figura 5.26 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 50 años

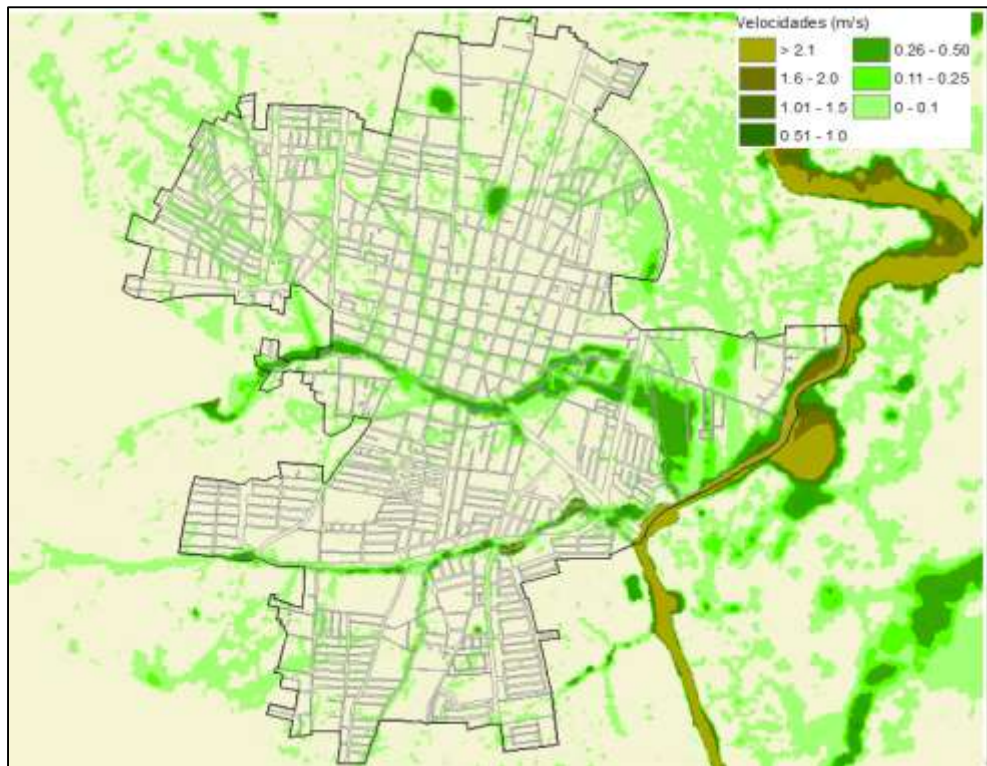


Figura 5.27 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 50 años

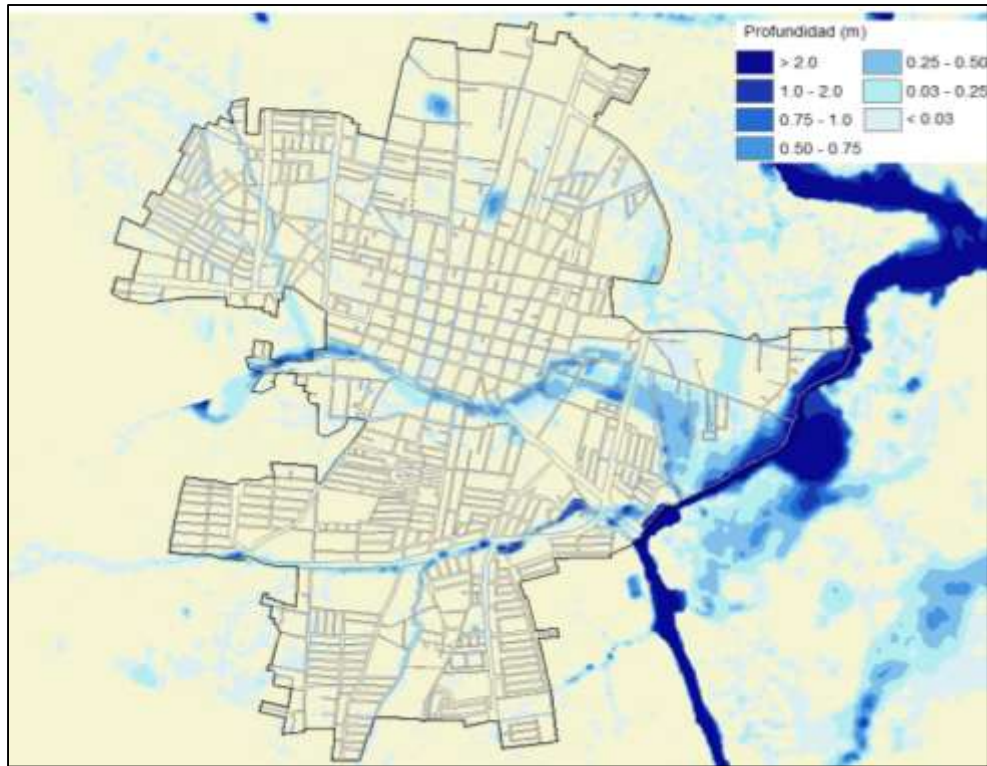


Figura 5.28 Mapa de tirantes máximos alcanzados para un periodo de retorno de 100 años

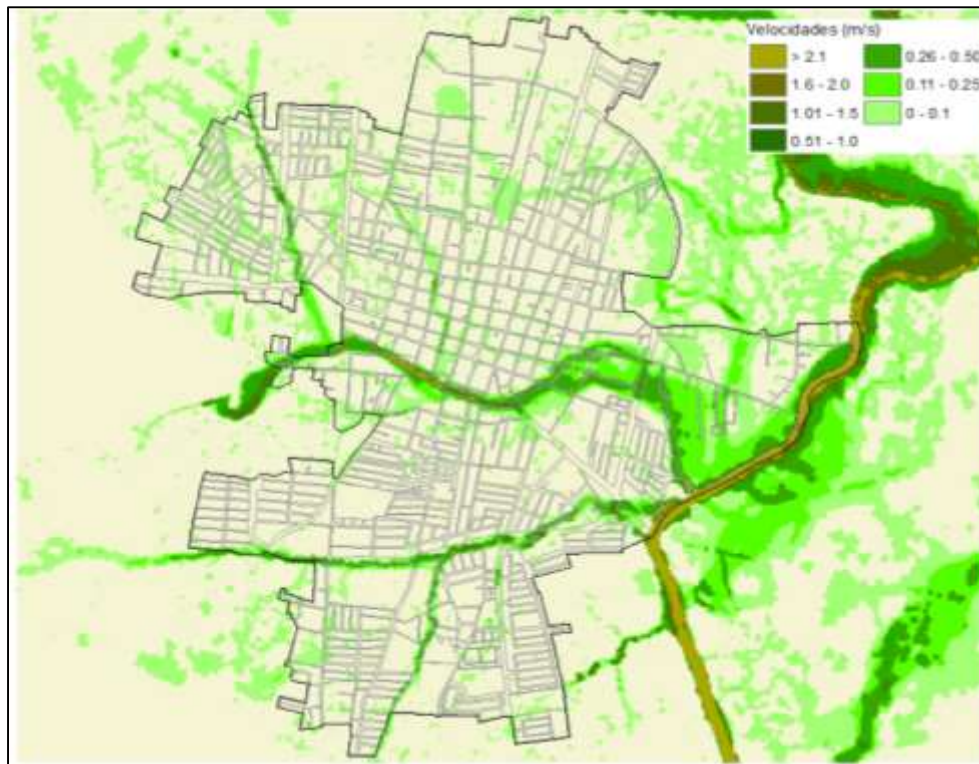


Figura 5.29 Mapa de velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años

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 5.67 m a 9.72 m los cuales corresponden a los periodos de retorno de 2 y 100 años respectivamente.

Los mayores tirantes se presentan en el río San Pedro cerca de la confluencia con el río Chicalote, y aproximadamente 300 metros aguas arriba del cruce del río San Pedro con la Avenida Miguel de la Madrid.

Resultados en dos zonas dentro de la mancha urbana

Existen dos áreas donde ya no tiene influencia el desbordamiento del río San Pedro y se encharca el agua debido a la precipitación presentada en la cuenca. La primera área se localiza entre las avenidas Circunvalación (Solidaridad) y Eugenio Garza Sada, y la segunda área entre las avenidas Miguel de la Madrid y Circunvalación (Solidaridad). En estos sitios, para el periodo de retorno de 2 años (figura 5.30) alcanzan tirantes del orden de los 2.1 m, fuera de eso, los tirantes llegan alcanzar 1 metro en algunos arroyos y en el resto de la zona los tirantes son menores a 40 centímetros. Para el periodo de retorno de 100 años (figura 5.31) se alcanzan tirantes de 2.4 metros. Como puede observarse en las 2 siguientes figuras, la parte donde se presentan los mayores encharcamientos (tirantes mayores a 50 centímetros) hay muy pocas viviendas.

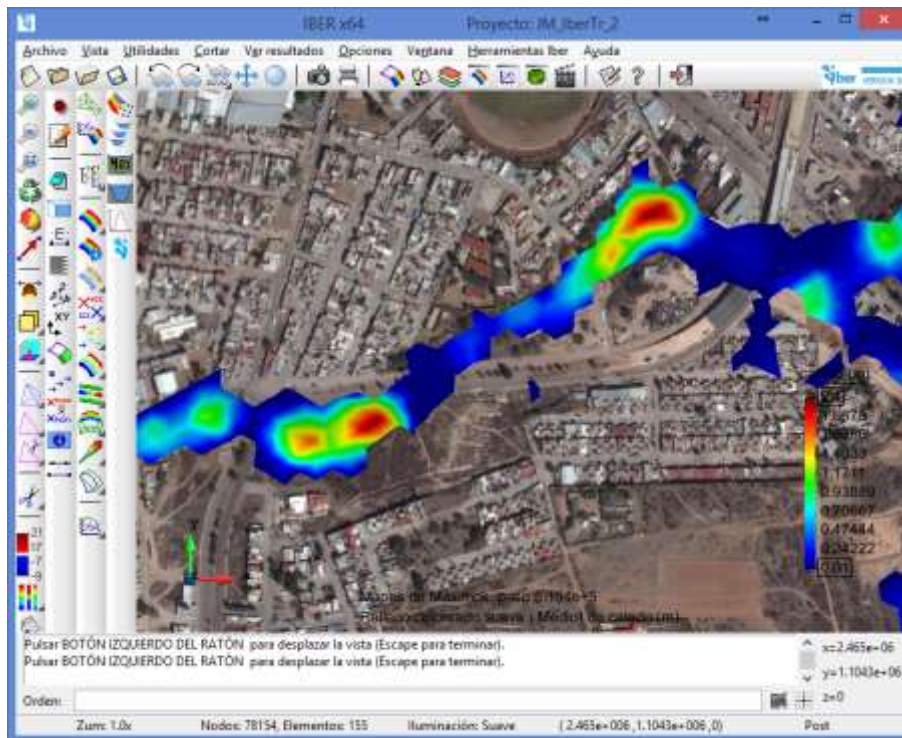


Figura 5.30 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María con los valores de los tirantes máximos alcanzados para el periodo de retorno de 2 años

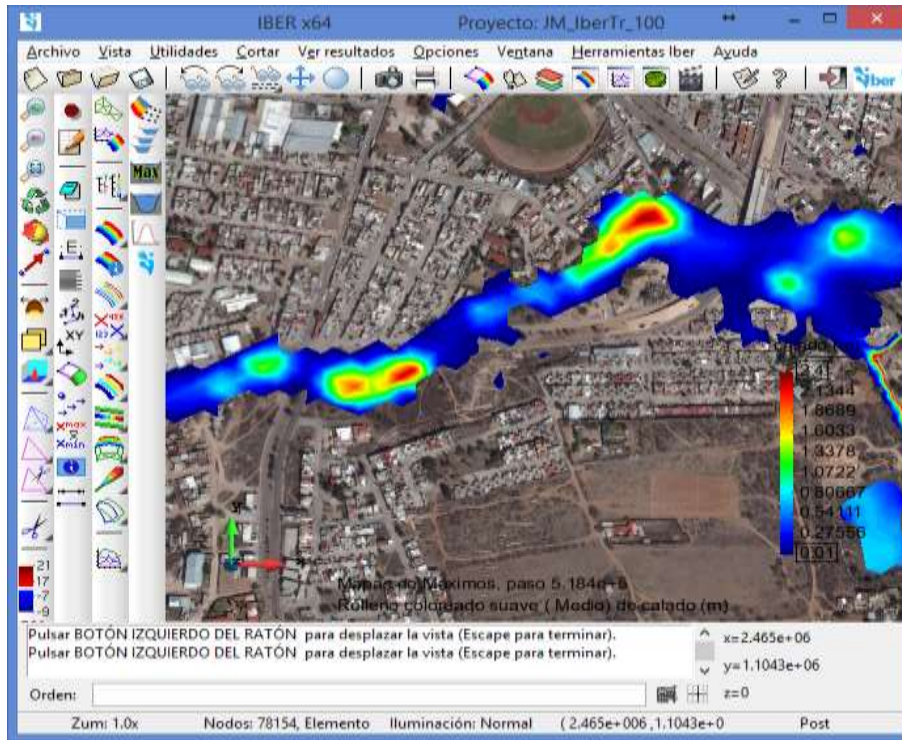


Figura 5.31 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María con los valores de los tirantes máximos alcanzados para el periodo de retorno de 100 años

Resultados relevantes sobre y en las márgenes del Río San Pedro

De acuerdo con los resultados de la simulación, por la margen izquierda del río San Pedro se genera una corriente la cual confluye al río mencionado (figura 5.32), pero aguas abajo de la zona de estudio, generándose un gasto máximo a la salida de la zona de $5.3 \text{ m}^3/\text{s}$ y tirante máximo del orden de 0.5 m para el periodo de retorno de 2 años, y un gasto de $16.47 \text{ m}^3/\text{s}$ con tirante máximo de 1.0 m para el periodo de retorno de 100 años.

Inmediatamente aguas arriba del cruce entre la Avenida Miguel de la Madrid y el río San Pedro (figura 5.33), para el periodo de retorno de 100 años el tirante máximo es de 5.4 metros por lo que el río no desborda en el cruce, ya que la profundidad del río en esa zona varía entre 7 y 8 metros.

Aproximadamente a 300 metros, medidos en línea recta, aguas arriba del cruce del río San Pedro con la Avenida Miguel de la Madrid para el periodo de retorno de 2 años se presentan tirantes en el río del orden de los 3.7 m (figura 5.34), es decir el río no desborda, ya que la profundidad del mismo varía entre los 7 y 8 metros.

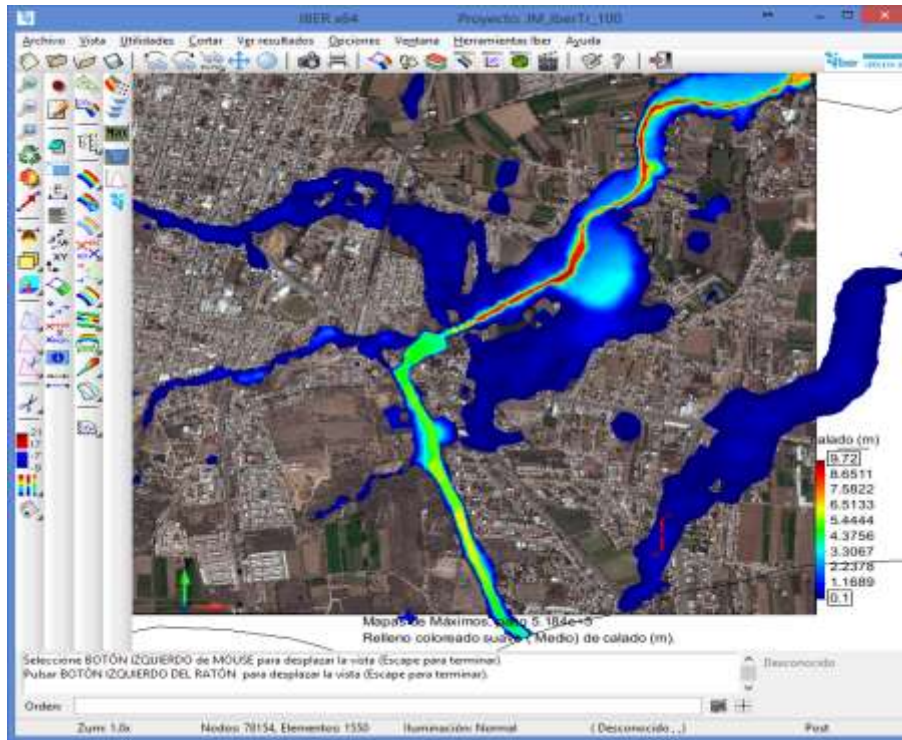


Figura 5.32 Resultados que muestran una corriente que confluye al río San Pedro, pero aguas abajo de la zona simulación.

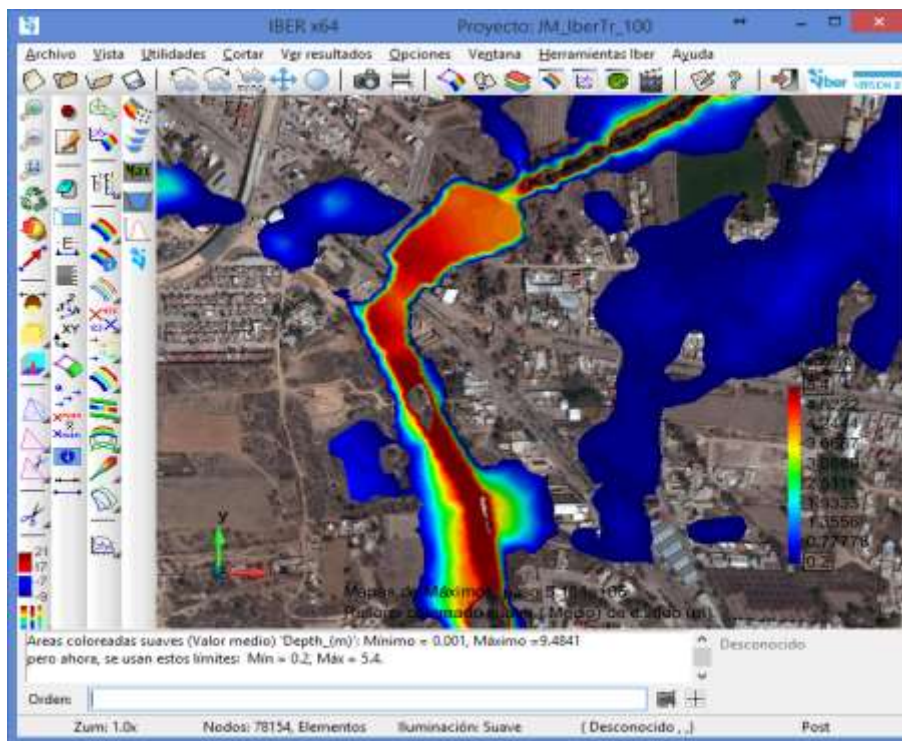


Figura 5.33. Resultados inmediatamente aguas arriba del cruce del río San Pedro con la Avenida Miguel de la Madrid para el Tr=100 años

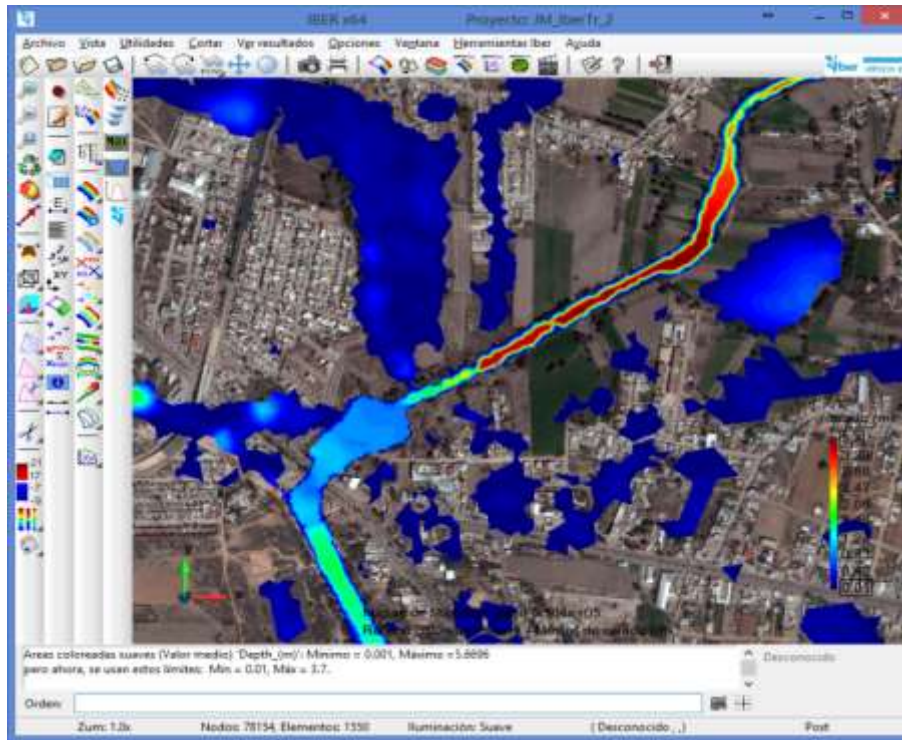


Figura 5.34. Tirantes máximos para un $T_r=2$ años 300 m aguas arriba del cruce entre Miguel de la Madrid y el río San Pedro

Para el periodo de retorno de 100 años, a 300 m, aguas arriba del cruce mencionado el tirante máximo es del orden de 9.2m (figura 5.35) por lo cual existe desbordamiento en el mismo sin embargo las zonas inundadas en la mayoría no tienen infraestructura.

Por la margen izquierda también desborda el río San Pedro, las afectaciones no corresponden a la zona urbana de Jesús María, si no a la ciudad de Aguascalientes.

Si se cambia el límite inferior de la escala de colores de los tirantes mostrados en la figura anterior, se puede observar que la parte que tiene infraestructura, los tirantes máximos son menores a 1 metro (figuras 5.36 y 5.37), entre 40 y 70 centímetros. Sin embargo, la zona donde se presentan tirantes de 70 centímetros no contiene viviendas

En las figuras 5.38 y 5.39 se muestran los resultados de los tirantes máximos para el periodo de retorno de 100 años a la altura entre la confluencia del río San Pedro y el río Chicalote. Donde se puede observar que el tirante máximo alcanzado es de 9.72m, lo cual ocasiona que el río San Pedro desborde por ambas márgenes, sin embargo, se puede observar que en la zona inundada existe muy poca infraestructura.

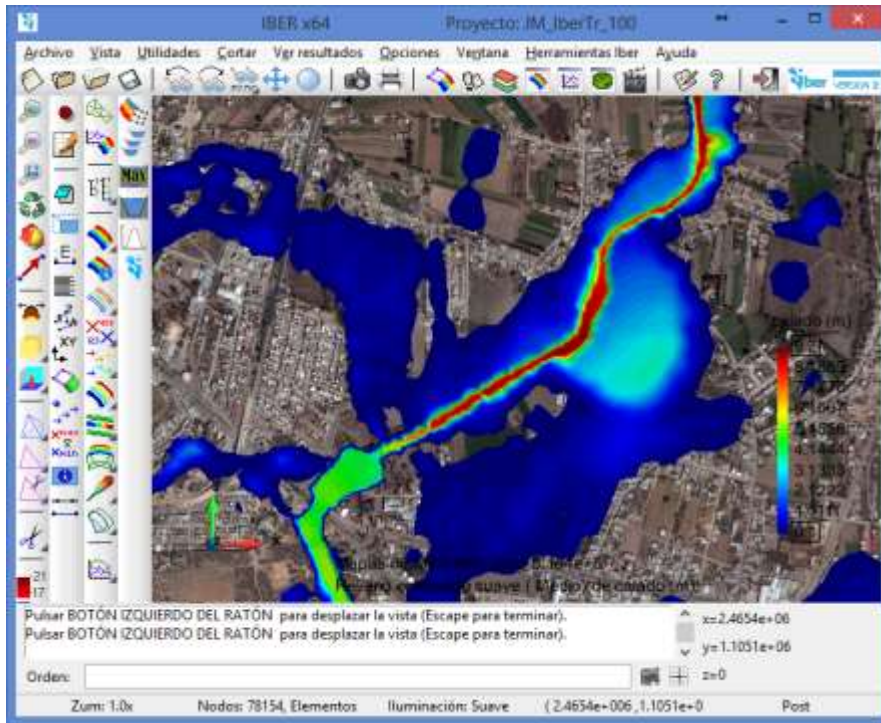


Figura 5.35 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María a 300 m aguas arriba del cruce de la AV. Miguel de La Madrid y el río San Pedro y los tirantes máximos correspondientes al periodo de retorno de 100 años

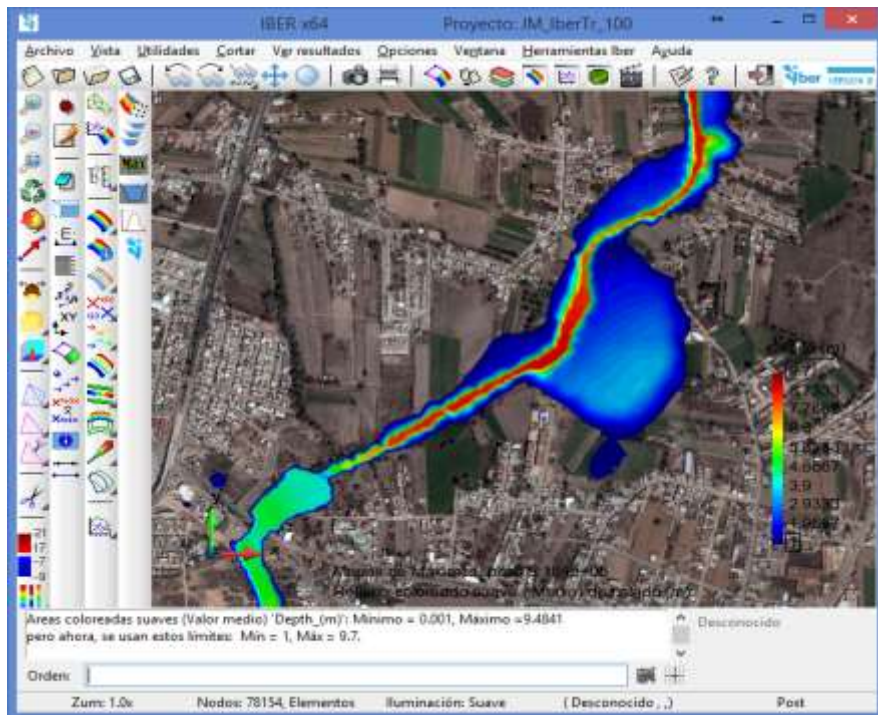


Figura 5.36 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María a 300 m aguas arriba del cruce de la AV. Miguel de la Madrid y el río San Pedro y los tirantes máximos correspondientes al periodo de retorno de 100 años. Ajustando la escala mínima a 1m.

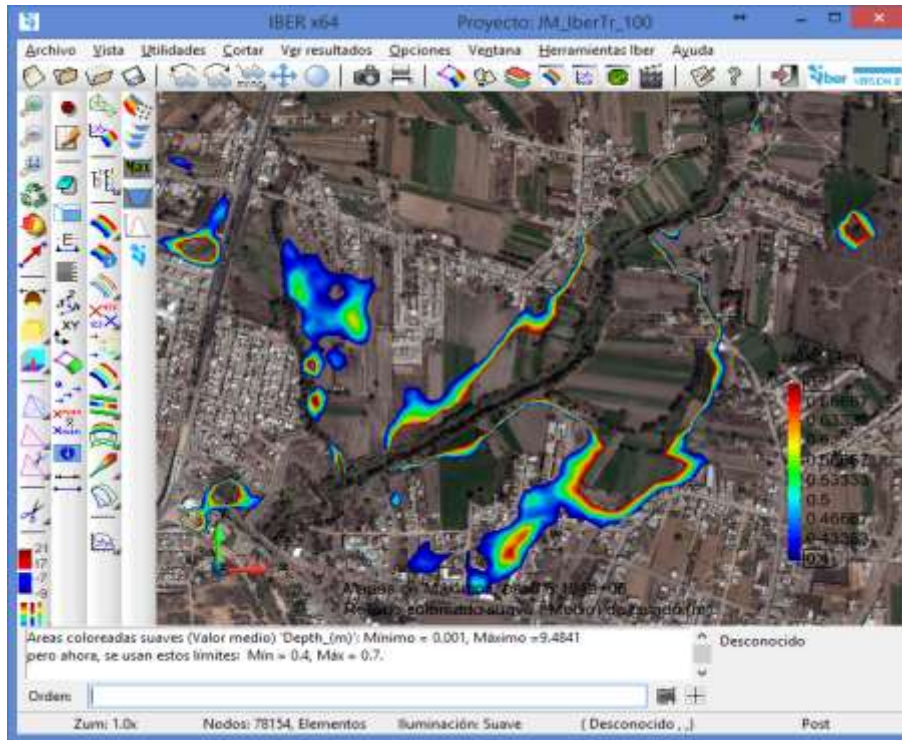


Figura 5.37 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María a 300 m aguas arriba del cruce de la AV. Solidaridad y el río San Pedro y los tirantes máximos correspondientes al periodo de retorno de 100 años. Escala máxima de 0.70 m y escala mínima de 0.40 m.

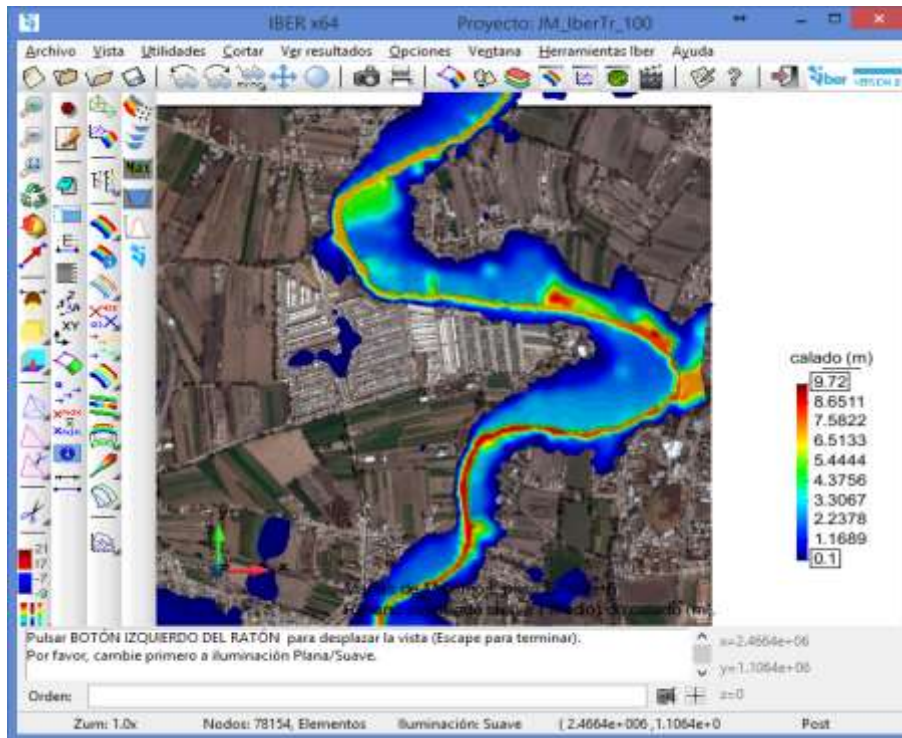


Figura 5.38 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María en la confluencia entre el río Chicalote y el río San Pedro y los tirantes máximos.



Figura 5.39 Mapa que muestra parte de la zona urbana de Jesús María en la confluencia entre el río Chicalote y el río San Pedro y los tirantes máximos. Ajustando la escala máxima a 1 metro y la mínima a 0.2 m.

En la siguiente figura 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 50 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 582.807 m³/s, mientras que el obtenido con el IBER es 587.964 m³/s.

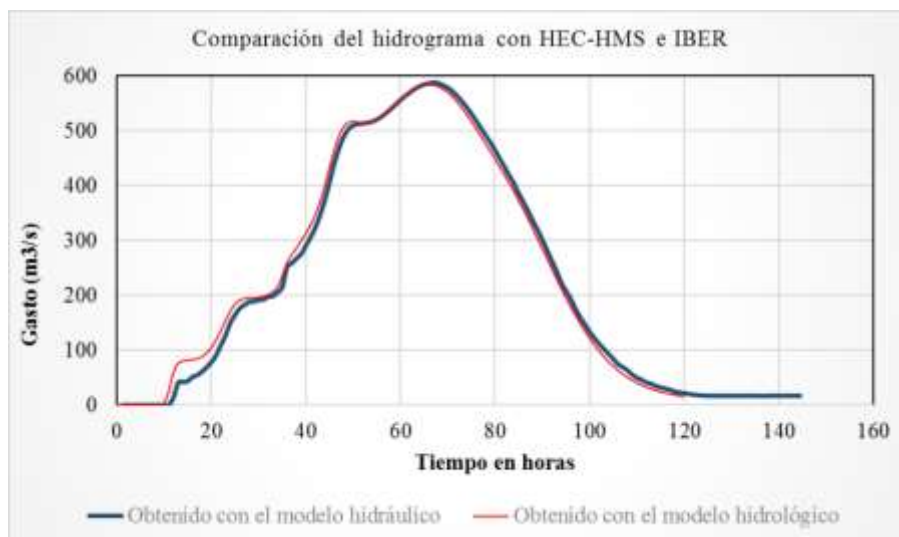


Figura 5.40 Comparación de los hidrogramas resultantes a la salida de la cuenca obtenidos con la modelación hidrológica y la modelación hidráulica.

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 son prácticamente los mismos.

Tabla 5.15. Comparación de los gastos máximos (m^3/s) obtenidos con la modelación hidrológica e hidráulica a la salida de la cuenca sobre el río San Pedro

Periodo de retorno (años)	Modelo hidrológico	Modelo hidráulico
2	62.348	63.895
5	181.447	189.733
10	288.524	289.081
50	582.807	587.964
100	730.062	741.242

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 5.41, 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.

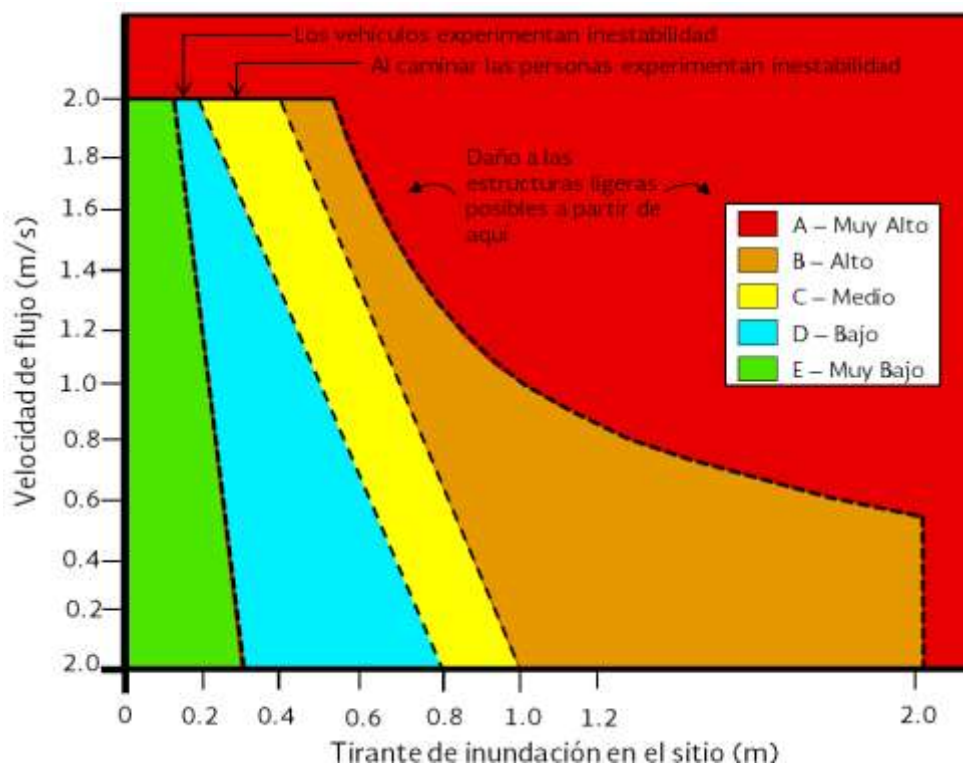


Figura 5.41 Diagrama de Dórrigo

El Diagrama de Dórrigo 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 5.42 se observa el criterio adoptado para clasificar la severidad ante una inundación.



Letra	Índice	Color
A	Muy Alto	Rojo
B	Alto	Naranja
C	Medio	Amarillo
D	Bajo	Azul
E	Muy Bajo	Verde

Figura 5.42 Código de colores para elaborar mapas de severidades

El mapa de severidad permite que toda la zona afectada por la inundación sea clasificada en función de los efectos generados por la combinación del tirante y la velocidad estimados a través de la modelación hidráulica. Puede ser útil para restringir aquellas zonas que no deben ser utilizadas, o bien, reglamentar los usos del suelo que comprometan menos a la población o a la misma infraestructura, en función de esa severidad.

La elaboración de un mapa de severidad por inundación requiere los resultados de un modelo bidimensional (tirantes y velocidades calculadas en cada celda de la zona modelada). Estas variables se almacenan en archivos ráster (matrices de valores de velocidad por un lado y matrices de valores de tirantes por el otro), que se conforman a partir de la extracción del valor de ambas variables en cada celda y para cada tiempo de cálculo de la modelación, es decir:

- a. en la primera iteración se genera un archivo con el valor que resulte de cada variable en la matriz de tirantes y en la matriz de velocidades,
- b. en el paso siguiente se compara el resultado obtenido para las variables tirante y velocidad en toda la zona de análisis, con el valor existente (del primer paso de tiempo) en la matriz de tirantes y en la de velocidades y, en caso de que el nuevo valor sea mayor al existente, se sustituye y se guardan las nuevas matrices de tirantes y velocidades,
- c. para el resto de los pasos de cálculo, y hasta el final de la simulación, se realiza la misma comparación entre el valor obtenido en cada paso de tiempo y los de las matrices de tirantes y velocidades existentes y cada vez que algún nuevo valor sea mayor a su antecesor, se sustituye,

- d. al final del proceso, la matriz velocidad y la matriz de tirantes contendrán el valor máximo alcanzado por cada variable en la zona de estudio, es decir, representarán la envolvente de tirantes máximos y la envolvente de velocidades máximas (figuras 5.20 a 5.29 del subcapítulo 5.5).
- e. Por último, el mapa de severidades resulta de identificar la pareja de valores (y,v) para cada elemento de la matriz y verificar en qué zona del Diagrama de Dórrigo se ubica, procediendo a clasificar cada elemento. Este mapa, de severidades, puede ser útil para que con base en el grado de severidad identificado en las diferentes zonas que conforman el área de estudio, se definan posibles usos de suelo cuyo objetivo sea minimizar los daños que puedan presentarse en ellas.

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

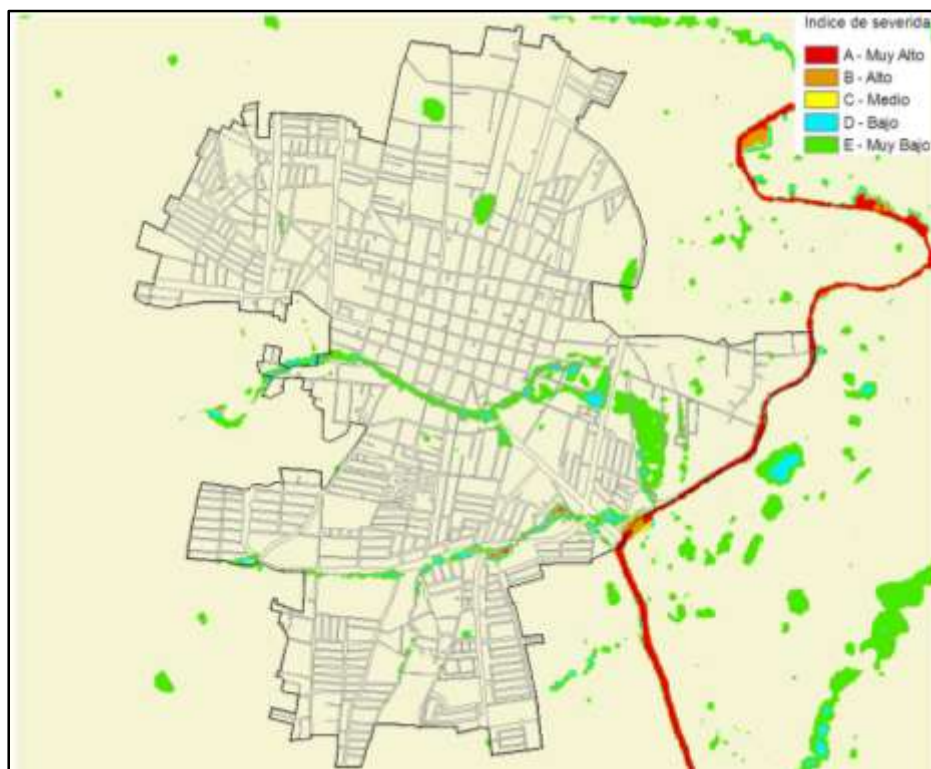


Figura 5.43 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 2 años

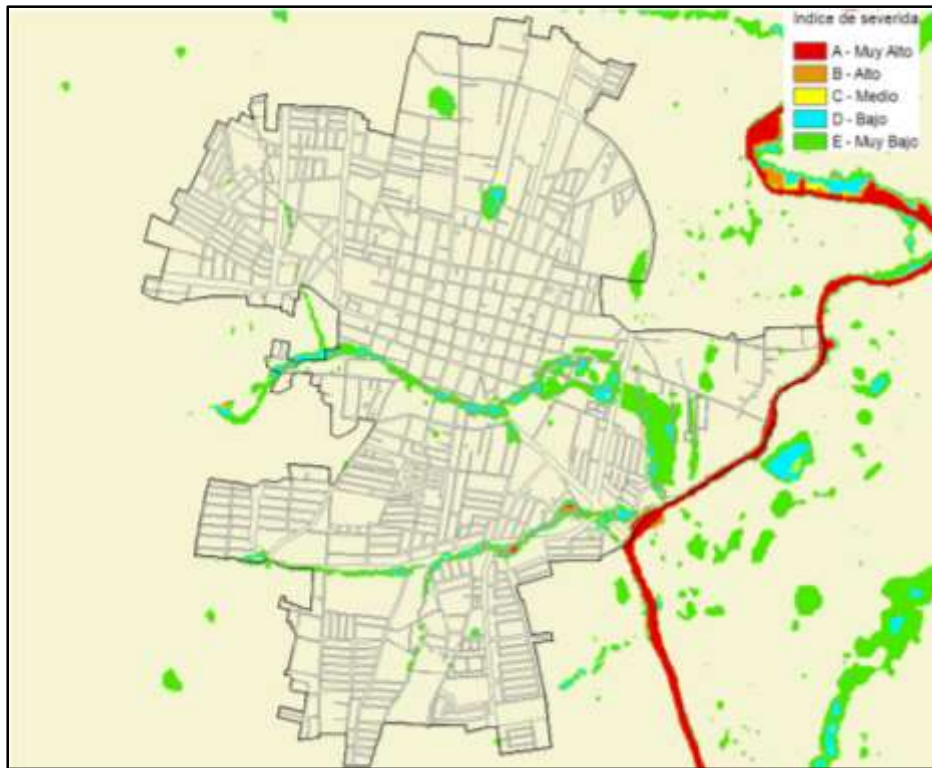


Figura 5.44 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 5 años

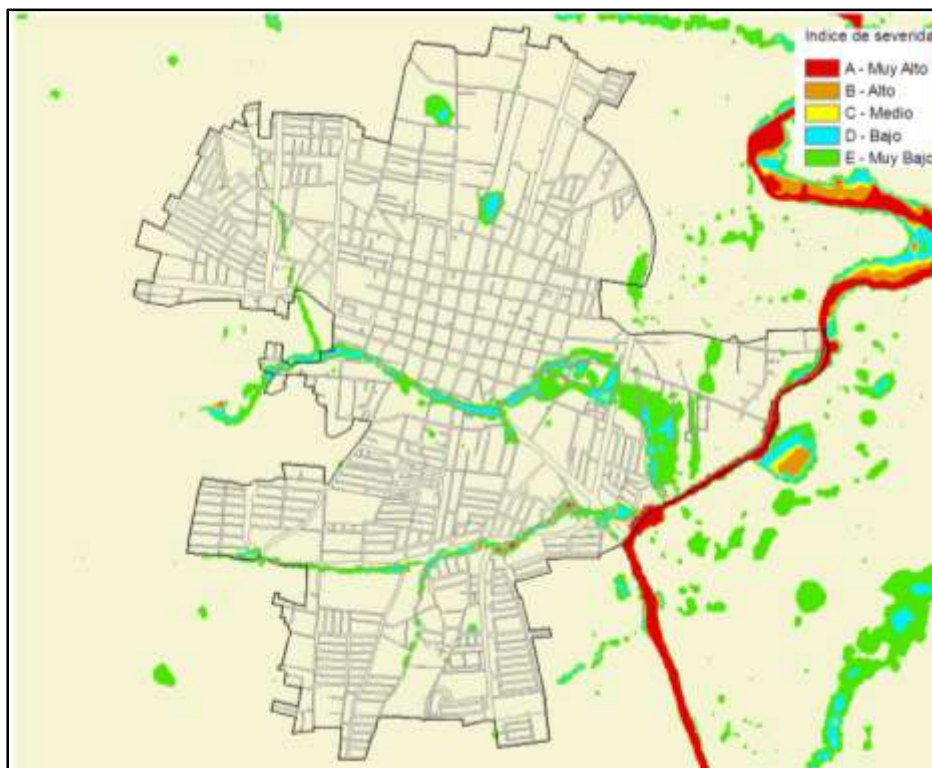


Figura 5.45 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 10 años

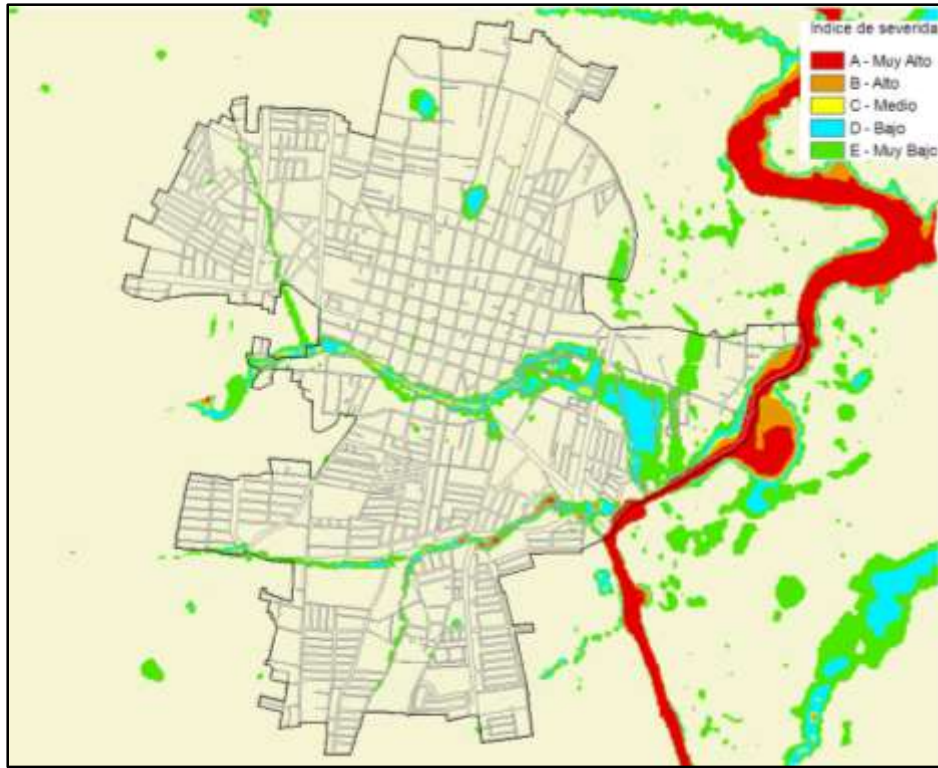


Figura 5.46 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 50 años

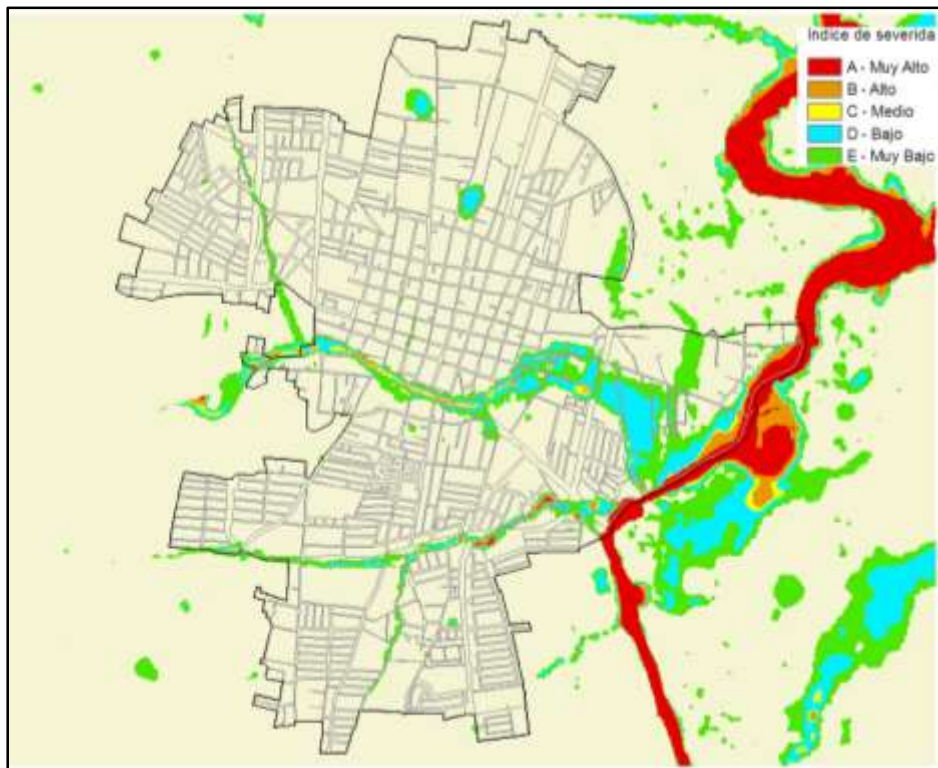


Figura 5.47 Mapa de severidad para un periodo de retorno de 100 años

En general los niveles de severidad en la zona urbana de Jesús María son en su mayor parte muy bajos. Los niveles altos y muy altos se presentan dentro en el río San Pedro.

Para los periodos de retorno de 2 a 100 años, dentro de la zona urbana, existen algunas zonas muy pequeñas y puntuales con niveles de severidad medios, altos y muy altos, sin embargo, en dichas zonas existen muy pocas viviendas.

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. (2014). "Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos". Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, Vol.30(1) pp.1-10
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Mapas de Precipitación para Diferentes Duraciones y Periodos de Retorno. Octubre 2013.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). "Lineamientos para la elaboración de mapas de peligro por inundación". 2014a.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Programa Nacional de Prevención Contra Contingencias Hidráulicas. 13 Organismos de Cuenca. Primera Versión. 2014b
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2011. Manual para el control de inundaciones.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instructivo de hidrología para determinar la avenida máxima ordinaria, México, D.F. 1987.
- Chow, Ven Te. Hidráulica de Canales Abiertos, pág. 108, Valores para el coeficiente de rugosidad de Manning "n". Mc Graw Hill. 2004.
- De la Cruz L. F. Presentación de avance de proyecto del Instituto de Ingeniería ante CONAGUA. Septiembre de 2013. Participantes Faustino De la cruz Luna, Laura Vélez Morales, Griselda.
- Diccionario de datos de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250,000. Noviembre (2009). Recuperado el 20 de noviembre de 2015 de: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recreat/usuarios/doc/dd_usyv_v1_250k.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, ed. (2016). «Censo de población y vivienda 2010». Consultado el 11 de noviembre de 2015 de: http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=27770
- Meyer V. et all. (2012) Economic evaluation of structural and non-structural flood risk management measures: examples from the Mulde River. Nat Hazards (2012) 62:301-

324. DOI 10.1007/s11069-011-9997-z. Received: 21 April 2011 / Accepted: 25 September 2011 / Published online: 14 October 2011_ Springer Science+Business Media B.V. 2011.

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

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

Salas S. M. A. Conferencia: Indicadores ambientales y el riesgo climático. Atlas de riesgo climático. 3er Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático. UNAM. Consultado en <http://www.pincc.unam.mx/congresonacional2013/presentaciones.html> Fecha de consulta: Septiembre, 2013.

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

Uribe-Alcántara, Edgar Misael, et al, Mapa Nacional de Índice de Inundación. Agroasemex, S. A., Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México, vol. I, núm. 2, abril-junio de 2010, pp. 73-85.

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