



Serie: Atlas Nacional de Riesgos

Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos

Fenómenos Hidrometeorológicos



SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Lic. Carlos María Abascal Carranza
Secretario de Gobernación

Lic. Laura Gurza Jaidar
Coordinadora General de Protección Civil

1ª edición, noviembre 2006

©SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN
Abraham González Núm. 48,
Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc,
C.P. 06699, México, D.F.

©CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES
Av. Delfín Madrigal Núm. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Deleg. Coyoacán, C.P.04360, México, D.F.
Teléfonos:
(55) 54 24 61 00
(55) 56 06 98 37
Fax: (55) 56 06 16 08
e-mail: editor@cenapred.unam.mx
www.cenapred.unam.mx

©Autores:

Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones y avenidas súbitas en zonas rurales, con arrastre de sedimentos

Héctor Eslava Morales, Martín Jiménez Espinosa, Marco Antonio Salas Salinas, Fermín García Jiménez, María Teresa Vázquez Conde, Carlos Baeza Ramírez y David R. Mendoza Estrada

Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por marea de tormenta
Oscar Arturo Fuentes Mariles, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Martín Jiménez Espinosa, David Ricardo Mendoza Estrada y Carlos Baeza Ramírez

Análisis del peligro y vulnerabilidad por bajas temperaturas y nevadas
Martín Jiménez Espinosa, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Fermín García Jiménez, María Teresa Vázquez Conde, David Ricardo Mendoza Estrada y Stefanie Renner

Identificación de trayectorias de ciclones tropicales mediante el uso del programa de cómputo "Busca Ciclones"
Martín Jiménez Espinosa y Carlos Baeza Ramírez

Revisores:

Capítulo I:

Roberto Quaas Weppen, Enrique Guevara Ortiz, Carlos Gutiérrez Martínez y Tomás A. Sánchez Pérez.

Capítulo II, III, y IV:

Carlos Gutiérrez Martínez y Tomás A. Sánchez Pérez.

ISBN: 970-628-905-4

Edición: La edición estuvo a cargo de los autores bajo la coordinación de Violeta Ramos Radilla

Portada: María José Aguas Ovando y Demetrio Vázquez Sánchez

Derechos reservados conforme a la ley

IMPRESO EN MÉXICO. *PRINTED IN MEXICO*

Distribución Nacional e Internacional: Centro Nacional de Prevención de Desastres

EL CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO ES EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

M. en I. Roberto Quaas Weppen
Director General

M. en C. Carlos Gutiérrez Martínez
Director de Investigación

Ing. Enrique Guevara Ortiz
Director de Instrumentación

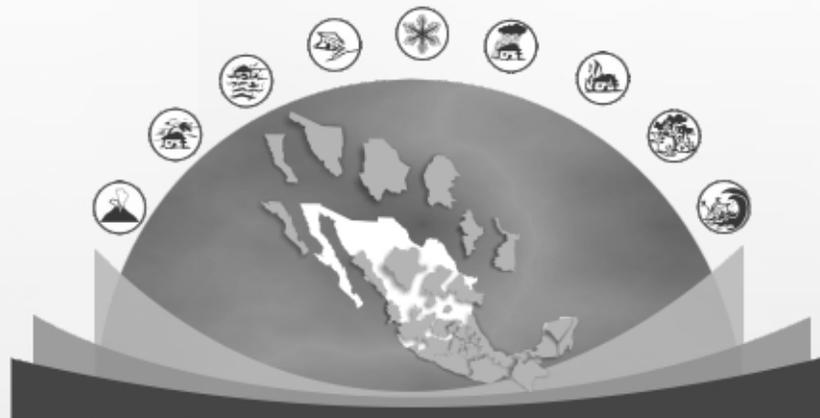
Lic. Gloria Luz Ortiz Espejel
Directora de Capacitación

M. en I. Tomás A. Sánchez Pérez
Director de Difusión

Profra. Carmen Pimentel Amador
Directora de Servicios Técnicos

Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos

Fenómenos Hidrometeorológicos



CONTENIDO

PRÓLOGO	07
PRESENTACIÓN	11
I. ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES Y AVENIDAS SÚBITAS EN ZONAS RURALES, CON ARRASTRE DE SEDIMENTOS	13
RESUMEN	13
1.1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO POR INUNDACIONES Y AVENIDAS SÚBITAS, CON ARRASTRE DE SEDIMENTOS	15
1.2.1 Identificación del arroyo.....	15
1.2.2 Visita al sitio.....	15
1.2.3 Identificación de la cuenca del arroyo	16
1.2.4 Clasificación de las cuencas hidrológicas.....	18
1.2.5 Características fisiográficas de la cuenca.....	19
1.2.6 Tipo de suelo	28
1.2.7 Cubierta vegetal	30
1.2.8 Estimación del escurrimiento a la salida de la cuenca	30
1.2.9 Determinación del área hidráulica requerida o permisible	44
1.2.10 Levantamiento topográfico del arroyo	45
1.2.11 Comparación entre el área hidráulica requerida y el área geométrica	51
1.2.12 Determinación de las zonas inundables	53
1.3 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA.....	55
1.3.1 Tipología de la vivienda	55
1.3.2 Funciones de vulnerabilidad para el menaje de casa	58
1.4 EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	67
1.5 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y AVENIDAS SÚBITAS EN ZONAS RURALES, CON ARRASTRE DE SEDIMENTOS: CASO SANTA MARÍA JAJALPA, MUNICIPIO DE TENANGO DEL VALLE, EDO. DE MÉXICO	79
1.5.1 Marco fisiográfico de Santa María Jajalpa, Estado de México	79
1.5.2 Antecedentes históricos de inundaciones en la población.....	82
1.5.3 Aplicación para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones y avenidas súbitas, con arrastre de sedimentos	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
GLOSARIO	137
BIBLIOGRAFÍA.....	139
ANEXOS.....	141

II.	ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES COSTERAS POR MAREA DE TORMENTA.....	221
	RESUMEN.....	221
2.1	INTRODUCCIÓN.....	221
2.1.1	Identificación del peligro por inundaciones costeras.....	222
2.2	MAREA DE TORMENTA.....	223
2.2.1	Vientos de un ciclón tropical.....	223
2.2.2	Aspectos físicos del lugar que influyen en la marea de tormenta.....	230
2.2.3	Método simplificado para calcular la marea de tormenta.....	231
2.3.	PROBABILIDAD DE PRESENTACIÓN DE CICLONES TROPICALES	238
2.4.	MAPA DE PELIGRO PARA EL FENÓMENO DE MAREA DE TORMENTA	249
2.4.1	Metodología para elaborar el mapa de peligro por marea de tormenta.....	249
2.5.	EJEMPLO DE APLICACIÓN PARA CALCULAR LA ALTURA DE LA MAREA DE TORMENTA	256
2.5.1	Primer plano	256
2.5.2	Segundo plano	258
2.5.3	Tercer plano	260
2.5.4	Cuarto plano	262
2.5.5	Quinto plano	264
2.5.6	Sexto plano.....	266
2.6.	FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD PARA LA MAREA DE TORMENTA.....	269
2.6.1	Cálculo de la vulnerabilidad de las viviendas por inundaciones	269
2.6.2	Determinación de la profundidad de inundación de las viviendas	269
2.6.3	Costo de la inundación para el grupo de viviendas desplantadas en cierto intervalo de elevación topográfica.....	271
2.7.	ELABORACIÓN DEL MAPA DE RIESGO	274
	CONCLUSIONES	277
	RECOMENDACIONES PARA REDUCIR DAÑOS POR MAREA DE TORMENTA.....	278
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	279
	ANEXOS	281
	GLOSARIO	291
III.	ANÁLISIS DEL PELIGRO Y VULNERABILIDAD POR BAJAS TEMPERATURAS Y NEVADAS	295
	RESUMEN.....	295
3.1	INTRODUCCIÓN.....	295
3.1.1	Características de los parámetros de las bajas temperaturas y nevadas	298
3.1.2	Instrumentación para medir variables meteorológicas	302
3.1.3	Formación de las nevadas.....	309

3.2	PELIGRO POR BAJAS TEMPERATURAS	311
3.2.1	Temperatura	312
3.2.2	Umbral	312
3.2.3	Duración de un evento de baja temperatura.....	313
3.2.4	Función de peligro por bajas temperaturas	313
3.2.5	Mapeo de las zonas de peligro por bajas temperaturas	316
3.2.6	Función de peligro por la presencia de nevadas	317
3.3	VULNERABILIDAD.....	324
3.3.1	Impacto de las bajas temperaturas en la salud de la población	324
3.3.2	Métodos para evaluar el posible grado de afectación a la salud de las personas debido a las bajas temperaturas y determinadas condiciones meteorológicas.....	334
3.3.3	Vulnerabilidad por bajas temperaturas en México.....	337
3.3.4	Función de vulnerabilidad por nevadas	346
3.4	RIESGO POR BAJAS TEMPERATURAS: APLICACIÓN AL NEVADO DE TOLUCA.....	363
3.4.1	Peligro por bajas temperaturas.....	363
3.4.2	Probabilidad de un evento de baja temperatura con una duración específica en el Nevado de Toluca.....	364
3.4.3	Determinación del riesgo para la salud por bajas temperaturas en el Nevado de Toluca	368
3.4.4	Peligro por nevadas: aplicación al Nevado de Toluca	373
3.5	MEDIDAS DE MITIGACIÓN POR BAJAS TEMPERATURAS.....	387
3.5.1	Caso Alemania	387
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	391
	AGRADECIMIENTOS.....	394
	REFERENCIAS	395
	BIBLIOGRAFÍA.....	396
	ANEXOS.....	399
IV.	IDENTIFICACIÓN DE TRAYECTORIAS DE CICLONES TROPICALES MEDIANTE EL USO DEL PROGRAMA DE CÓMPUTO “BUSCA CICLONES” ..	461
	RESUMEN.....	461
4.1	INTRODUCCIÓN.....	461
4.2	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA BUSCA CT	464
4.2.1	Instalación e Inicio del programa.....	464
4.2.2	Descripción rápida de la pantalla inicial del programa Busca CT	464
4.2.3	Descripción de las funciones principales del programa	467
4.3	EJEMPLOS	474
4.3.1	Búsquedas en la base de datos	474
4.3.2	Búsqueda dentro del visualizador.....	481
	CONCLUSIONES	484
	BIBLIOGRAFÍA.....	485

PRÓLOGO

En la agenda nacional de la protección civil, la prevención de desastres ha tomado una gran relevancia, debido principalmente a la diversidad de fenómenos que pueden causar desastres en nuestro territorio. Así, se reconoce la importancia de establecer estrategias y programas de largo alcance enfocados a prevenir y reducir sus efectos, y no sólo focalizar recursos para la atención de las emergencias y la reconstrucción.

Sin duda en los últimos años se ha avanzado en este sentido; sin embargo, los logros son aún insuficientes y es indispensable invertir más recursos para transitar lo más pronto posible de un esquema fundamentalmente reactivo a uno preventivo. Esta nueva filosofía permitirá garantizar no sólo una sociedad más preparada y segura, sino un país menos vulnerable frente a los fenómenos potencialmente destructivos, sean éstos de origen natural o antropogénico.

La estrategia de la prevención establece tres pasos fundamentales. Primero, conocer los peligros y amenazas para saber dónde, cuándo y cómo nos afectan. Segundo, identificar y establecer en el ámbito nacional, estatal, municipal y comunitario, las características y los niveles actuales de riesgo ante esos fenómenos. Por último, diseñar acciones y programas para mitigar y reducir oportunamente estos riesgos a través del reforzamiento y adecuación de la infraestructura, mejorando normas y procurando su aplicación, y finalmente, preparando e informando a la población para que sepa cómo actuar antes, durante y después de una contingencia.

Modernas tecnologías, combinadas con nuevas visiones y esquemas de coordinación y comunicación, permiten ahora monitorear y detectar muchos de los fenómenos perturbadores y prevenir anticipadamente sus efectos, facilitando la toma de decisiones y la implementación de medidas para disminuir sus efectos, particularmente en evitar la pérdida de vidas humanas. Esta transición hacia la prevención se ha sustentado fundamentalmente en el conocimiento sobre el origen, manifestación e impacto de los fenómenos. Este conocimiento permite actuar para algunos fenómenos en forma temprana, con más eficacia operativa, buscando minimizar la pérdida de vidas humanas y bienes materiales. Sin embargo, apenas se han dado los primeros pasos en la prevención, aunque firmes, de ninguna manera son suficientes. El siguiente paso decidido que se tiene que dar es en la valoración más rigurosa del riesgo.

Equivocadamente se tiene la percepción de que los desastres se deben exclusivamente a los peligros. Se suele señalar, por ejemplo, al huracán o al sismo como el responsable de las pérdidas durante un desastre o emergencia. En realidad es la sociedad en su conjunto la que se expone con su infraestructura física, organización, preparación y cultura característica al encuentro de dichos fenómenos, manifestando usualmente diversos grados de vulnerabilidad en estos aspectos. Se concluye por tanto, que los desastres no son naturales, es decir, son producto de condiciones de vulnerabilidad y exposición derivados en gran medida por aspectos socioeconómicos y de desarrollo no resueltos, como elevados índices de construcciones informales, marginación, pobreza, escaso ordenamiento urbano y territorial, entre otros.

Hablar de prevención necesariamente es hablar de riesgo. Los desastres se dan por la presencia de una condición de riesgo, como resultado de la acción de un fenómeno perturbador sobre un bien expuesto.

El riesgo de desastres, entendido como la probabilidad de pérdida, depende de dos factores fundamentales que son el peligro y la vulnerabilidad. Comprender y cuantificar los peligros, evaluar la vulnerabilidad y con ello establecer los niveles de riesgo, es sin duda el paso decisivo para establecer procedimientos y medidas eficaces de mitigación para reducir sus efectos. Es por ello prioritario desarrollar herramientas y procedimientos para diagnosticar los niveles de peligro y de riesgo que tiene nuestro país a través de sistemas organizados de información como se plantea en la integración del Atlas Nacional de Riesgos, ANR, basado éste en los atlas estatales y municipales.

Como brazo técnico del Sistema Nacional de Protección Civil, al Centro Nacional de Prevención de Desastres se le ha encomendado el desarrollo del ANR. Éste se concibe como una herramienta estratégica que permita la integración de información sobre peligros y riesgos a nivel estatal y municipal en una plataforma informática homogénea, dinámica y transparente.

Por analogía con un atlas geográfico, el ANR pudiera entenderse como un conjunto de mapas o cartas encuadradas en un voluminoso libro que muestra de una manera gráfica información de peligro o amenaza para una cierta área o región. El primer atlas que se publicó en 1994 por la Secretaría de Gobernación, tenía estas características el cual fue ampliado en 2000 por el Cenapred en una publicación más completa con un diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México.

El riesgo es una variable muy compleja y continuamente cambiante en el tiempo que es función de la variabilidad de las amenazas que nos circundan y de la condición también dinámica de la vulnerabilidad y grado de exposición. Por tanto, para la mayoría de los fenómenos, no es posible representar al riesgo mediante una simple gráfica o mapa, éste debe ser estimado de acuerdo con las circunstancias y condiciones específicas del lugar o área de interés. Por lo anterior, conceptualmente el ANR ha evolucionado de un conjunto estático de mapas, a un sistema integral de información sobre riesgos de desastres, empleando para ello bases de datos, sistemas de información geográfica, cartografía digital, modelos matemáticos y herramientas para visualización, búsqueda y simulación de escenarios de pérdidas.

Bajo este nuevo enfoque, el Cenapred continúa promoviendo diversas investigaciones y publicaciones vinculadas con el Atlas Nacional de Riesgos con el objetivo de transmitir a los usuarios, particularmente del ámbito de la protección civil, información y orientación relativos a los avances, conocimientos y desarrollos tecnológicos en la materia. Busca asimismo, guiar a los interesados en el tema sobre cómo proceder metodológicamente para establecer sus atlas locales y motivándolos a utilizarlos como un instrumento cotidiano de trabajo y consulta, indispensable para valorar el riesgo y establecer las medidas de mitigación y preparación necesarias.

En este sentido, el presente documento encabeza una nueva serie de publicaciones titulada “Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos” que engloba, como su nombre lo indica, diversas herramientas metodológicas para orientar y ayudar a evaluar los peligros y riesgos a los que estamos expuestos. En este primer conjunto de publicaciones se discuten y analizan conceptos generales sobre riesgos y cartografía, evaluación de la vulnerabilidad y análisis de peligros y riesgos de algunos fenómenos geológicos, hidrometeorológicos y también químicos. Estos documentos integran las recientes experiencias y trabajos de investigación desarrollados en el Centro, así como revisiones y ampliaciones de documentos anteriores.

Los documentos son una contribución orientada a clarificar conceptos, formular esquemas sencillos y accesibles utilizando un lenguaje lo menos técnico posible, para que los usuarios integren, paso a paso y con metodologías uniformes, información sobre algunos de los principales

peligros y riesgos a los que están expuestos en sus entidades. Por la complejidad y gran variedad de fenómenos que integra un atlas que se pretende tenga una cobertura nacional; muchos de éstos se irán incorporando en futuros documentos conforme se avance en las investigaciones y se desarrollen las bases metodológicas que faciliten posteriormente su aplicación en forma sistemática. Es necesario tomar en cuenta que los trabajos que se presentan por las distintas áreas del Centro, en su mayoría son novedosos y pioneros, como es el tema del Atlas Nacional de Riesgos, integrado como rompecabezas por los atlas estatales y municipales, considerada herramienta central de una Protección Civil preventiva en el que México, sin lugar a duda, está haciendo un trabajo innovador y de vanguardia.

El paso importante que ahora habrá que dar con estas guías, es integrar grupos locales de trabajo para aplicar y calibrar las metodologías, quizá a través de proyectos piloto y retroalimentar con la experiencia de campo a los especialistas que las diseñaron. De lograrse esta dinámica, se habrán dado pasos firmes para avanzar en la unificación de criterios para la integración de los atlas municipales, luego estatales y finalmente el atlas a nivel nacional.

Este Centro seguirá trabajando intensamente en la consecución del Atlas Nacional de Riesgos, proyecto sin duda toral y estratégico para el Sistema Nacional de Protección Civil, para el desarrollo del País, para la Seguridad Nacional y principalmente, para el bienestar de la sociedad que está expuesta a los fenómenos perturbadores. Para alcanzar esta deseada y ambiciosa meta, es necesario la activa participación y colaboración de todos, particularmente de aquellos que tenemos una responsabilidad en el ámbito de la Protección Civil y la Prevención de Desastres. Para ello el Cenapred pone a las órdenes de las entidades estatales y municipales y también a la población en general, todos sus recursos tecnológicos y humanos disponibles.

Recordemos, los desastres no son naturales, se derivan de una condición de riesgo. Consecuentemente los Atlas de Riesgo son el vehículo y a la vez guía estratégica indispensable para incidir, a través de la prevención, de manera efectiva en la mitigación de los riesgos y consecuentemente en la reducción de los desastres.

Roberto Quaas W.

PRESENTACIÓN

Los fenómenos hidrometeorológicos tienen grandes repercusiones, positivas y negativas, en nuestro país debidas, entre otros factores, a su ubicación geográfica, su orografía y a los diversos sistemas meteorológicos que la afectan, pero principalmente a la distribución de su población, los grandes contrastes que ésta presenta y a su dinamismo, debido a que tiene un crecimiento, en algunas partes intenso, o bien, está en movimiento debido a fenómenos migratorios.

Lo anterior supone un reto importante para las autoridades de Protección Civil de todo el país, en sus tres niveles, federal, estatal y municipal, por lo que éstos deben trabajar de manera coordinada, teniendo los mismos objetivos y hablando un mismo lenguaje, ya que los fenómenos hidrometeorológicos afectan por igual a cualquier región o sector social; incluso, en ocasiones un desastre de tipo hidrometeorológico puede tener alcance nacional. Por ejemplo, un huracán que afecte tanto la península de Yucatán como la región noreste del país; o los daños ocasionados en Chiapas por ciclones tropicales o lluvias intensas que ameriten ayuda inmediata de parte de diversos sectores del país.

El presente documento representa, por tanto, un esfuerzo encaminado a lograr, en primer lugar, una comprensión por parte del lector, acerca del origen y comportamiento de los efectos producidos por los fenómenos hidrometeorológicos, tales como inundaciones fluviales y costeras, vientos intensos, ondas de frío y de calor, nevadas, granizadas, etc. En segundo lugar, con base en este conocimiento y en las metodologías presentadas, obtener una estimación del riesgo de la población y sus bienes. Finalmente, se explica cómo presentar dichas estimaciones, de manera que sean también entendidas por otros y asimiladas para la aplicación de medidas de mitigación del riesgo.

Este esfuerzo es compartido por todas las áreas del Centro, de modo que este tomo, y los que le acompañen respecto a otros temas, o bien sus futuras actualizaciones, tienen el mismo objetivo: conocer el peligro y el riesgo asociados a fenómenos naturales y antropogénicos, para aplicar medidas que lo reduzcan y lograr un mejor nivel de vida para todos los mexicanos.

Este tomo en particular, comprende algunos de los fenómenos hidrometeorológicos más importantes en el país, desde el punto de vista de los daños que ocasionan. Particularmente, se estudian las inundaciones fluviales y las costeras, es decir, aquellas producidas por lluvias intensas y ciclones tropicales. Por otra parte, aunque es un fenómeno que sólo afecta a ciertas regiones del país o únicamente se presenta en la temporada invernal, se estudian las bajas temperaturas y las nevadas, ya que implican un gran perjuicio para la población más vulnerable. Finalmente, se pone a disposición de los usuarios un programa de cómputo sobre el estudio de trayectorias ciclónicas, tanto del golfo de México y mar Caribe, como del océano Pacífico, al cual se podrá acceder a través del sitio web del Centro. Esto permitirá efectuar estudios locales, regionales o nacionales sobre la presencia de estos fenómenos, por lo que va dirigido a tomadores de decisiones, estudiosos del tema o a estudiantes.

Del estudio y aplicación de las metodologías propuestas se pueden desprender las siguientes acciones:

- Iniciar estudios de riesgo a escala local, por parte de las unidades estatales y municipales de protección civil,
- Utilizar estas metodologías como lineamientos para que terceros efectúen los estudios de riesgo conducentes,
- Iniciar una discusión sobre la aplicabilidad o mejora de dichas metodologías, con las autoridades de Protección Civil o con otras instituciones,
- Proponer mecanismos para la capacitación sobre las metodologías, e

- Iniciar el contacto de personal de protección civil de los estados con los especialistas en cada ramo.

Como se puede ver, estas metodologías son un detonador de acciones diversas, algunas directas en el campo, otras de estudio y análisis, esperando que este material no sea objeto de la indiferencia. En este sentido, el Centro está a disposición de aquellas personas que se interesen en estos temas, ya sea para aclarar dudas o proporcionar asesoría.

Finalmente, se hace patente el hecho de que las metodologías no terminan con su publicación, sino que será objetivo de este Centro mejorarlas con la participación de quien tiene experiencia e información de primera mano, es decir las unidades estatales y municipales de Protección Civil, así como las diferentes universidades y centros de enseñanza del país. Por lo anterior, no existe duda de que en un futuro se tendrán no únicamente lectores de ellas, sino colaboradores.

I. ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES Y AVENIDAS SÚBITAS EN ZONAS RURALES, CON ARRASTRE DE SEDIMENTOS

Héctor Eslava Morales, Martín Jiménez Espinosa, Marco Antonio Salas Salinas, Fermín García Jiménez, María Teresa Vázquez Conde, Carlos Baeza Ramírez y David R. Mendoza Estrada

RESUMEN

En este documento se propone una guía metodológica para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones, con arrastre de sedimentos, así como para la identificación de avenidas súbitas, con la que las Unidades Estatales y Municipales de Protección Civil de toda la República Mexicana tendrán una herramienta útil para llevar a cabo esta tarea en aquellas localidades con problemas recurrentes de inundación.

La implementación de esta metodología en la población de Santa María Jajalpa, municipio de Tenango del Valle en el estado de México, ilustra su aplicación, paso a paso, utilizando conceptos muy básicos y los recursos disponibles. Finalmente, se muestra como resultado de esta aplicación los mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación de esta población.

1.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la protección civil en México es la prevención de desastres de origen natural, en el caso que nos ocupa, de carácter hidrometeorológico. Para lograr lo anterior, se deben llevar a cabo diversas medidas de mitigación, tanto estructurales como no estructurales, que procuren reducir o minimizar los efectos de desastres provocados por ciclones tropicales o lluvias intensas. Dentro de las medidas no estructurales destaca la elaboración de mapas de riesgo como una herramienta útil, para autoridades de protección civil, de desarrollo urbano y ordenamiento territorial, en la delimitación de áreas de peligro para la población.

Para la elaboración de mapas de riesgo hidrometeorológico, específicamente de inundaciones, avenidas súbitas, flujos de escombros, depósitos de sedimentos, marea de tormenta, oleaje y viento, incluso sequía y heladas, es necesario contar con metodologías por cada uno de estos fenómenos, que permitan, de manera clara y relativamente sencilla, su obtención a través de una combinación de mapas de peligro y de vulnerabilidad de la vivienda, especialmente del menaje, y de la integridad física de las personas, principalmente durante avenidas súbitas.

Las inundaciones frecuentemente vienen acompañadas de material sólido proveniente de las partes altas de la cuenca, cuya cantidad depende de las características de la cubierta vegetal, tipo de suelo y pendiente, las cuales definen las áreas de depósito del material de arrastre.

Por otra parte, los tiempos de concentración de los escurrimientos en cada una de las cuencas y sus pendientes, definen si las inundaciones son súbitas o de proceso lento. Las avenidas súbitas se presentan generalmente en cuencas ubicadas en zonas con montaña de fuerte pendiente, donde existen pequeños valles, barrancas, y abanicos aluviales al pie de éstas. También pueden presentarse debido al rompimiento de un bordo, presa o represa, o en ciudades cuyo suelo, o piso, presenta un alto coeficiente de escurrimiento, es decir, son muy impermeables. Su característica y peligrosidad más importante es que ocurren de manera imprevista, lo que dificulta alertar con tiempo de antelación. Como consecuencia de ello, este fenómeno puede cobrar una mayor cantidad de vidas humanas, en comparación con una inundación lenta.

En este trabajo se incluyen en una misma metodología los fenómenos de inundación, arrastre de sedimento y avenidas súbitas en zonas rurales, ya que estos tres fenómenos están relacionados entre sí.

Para la elaboración de estos mapas se puede aprovechar de prestadores de servicio social de carreras como ingeniería civil, arquitectura, sociología o psicología e incluso de alumnos de bachillerato técnico, para trabajar junto con las unidades de protección civil municipal, así como con la asesoría del CENAPRED.

La metodología contempla lo siguiente: definición de conceptos básicos, tales como peligro, vulnerabilidad y riesgo; aspectos geográficos, tales como escalas recomendadas, proyecciones, integración de la información y fuentes de información fundamental. Adicionalmente se analizará la manera de identificar el peligro, el criterio de evaluación de la vulnerabilidad y el de riesgo. Finalmente se presentará un caso práctico de aplicación de esta guía en la población de santa María Jajalpa, municipio de Tenango del Valle en el estado de México.

1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO POR INUNDACIONES Y AVENIDAS SÚBITAS, CON ARRASTRE DE SEDIMENTOS

El objetivo de esta sección es presentar una metodología que permita identificar en una primera aproximación, las secciones de mayor peligro en un arroyo que esté cerca o dentro de una población y por otro lado, determinar las áreas más propensas a presentar inundaciones con arrastre de sedimentos. Asimismo, se incluye un procedimiento para analizar aquellas cuencas que por sus características fisiográficas, sean capaces de producir avenidas súbitas.

Esta metodología no pretende sustituir los estudios hidrológicos con los que se deben detallar diversos factores que determinan el tipo de medidas de mitigación más adecuadas, sino que brinde elementos que permitan discernir la gravedad de los problemas a los que se enfrentan las autoridades de protección civil, así como iniciar el proceso de análisis necesario para la reubicación de viviendas o el diseño de obras sencillas de protección.

Dada la importancia de identificar el peligro de inundación con arrastre de sedimentos, es conveniente considerar la participación de otras instituciones, tales como el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). De esta manera, el INEGI coadyuvaría a la obtención de cartografía básica, la CNA y sus gerencias regionales y estatales, brindarían apoyo técnico en hidrología e hidráulica, y la SEDESOL, junto con sus oficinas regionales, facilitaría el apoyo técnico para la determinación de la vulnerabilidad de la población y la vivienda.

El procedimiento que se describe a continuación permite estimar el peligro a partir de la determinación de las características fisiográficas de la cuenca del arroyo que se encuentra cercano o cruza una población rural con ayuda de mapas topográficos escala 1:50,000 o con mayor detalle, así como también de la capacidad hidráulica de los arroyos y de la distribución de las lluvias con diferentes probabilidades de ocurrencia y duración.

Para elaborar un mapa de peligro por inundación, es necesario identificar primeramente las áreas potenciales a inundarse en las localidades rurales de interés.

1.2.1 Identificación del arroyo

El primer paso es la adquisición de un plano topográfico que contenga el arroyo que se analizará, para lo cual se requiere uno de una escala 1:50,000 o menor, el cual se puede conseguir en las oficinas del INEGI o de planeación urbana del estado. Dicho plano servirá para identificar cuál es la zona que aporta el escurrimiento, su área y la pendiente del arroyo.

1.2.2 Visita al sitio

Se requerirá de una visita al lugar para recorrer el arroyo desde su nacimiento hasta su desembocadura. Se deberán tomar fotos en todo el trayecto con el fin de cotejarlas en análisis posteriores, para lo cual se deberá identificar su posición con ayuda de alguna referencia. Mediante el uso de un flexómetro se podrán establecer las dimensiones de las secciones y las pendientes de los tramos del arroyo. Lo ideal sería contar con un sistema de posición global (GPS) para marcar las coordenadas geográficas de estos lugares.

1.2.3 Identificación de la cuenca del arroyo

Con el objetivo de que se entiendan de forma clara y sencilla varios conceptos que se verán a lo largo de este apartado, se describirá la metodología con un caso teórico en el que se tiene una población expuesta a inundaciones debido a la cercanía con un arroyo.

Una vez que se tiene el plano topográfico, se procede a la identificación de la cuenca del arroyo, la cual es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera completamente impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida (figura 1.1). Para identificar la cuenca se requiere trazar su parteaguas, que son los puntos más altos de la topografía que rodean al arroyo o río analizado y que es la frontera que separa a una cuenca de las cuencas colindantes. Para ello es necesario seguir los siguientes pasos:

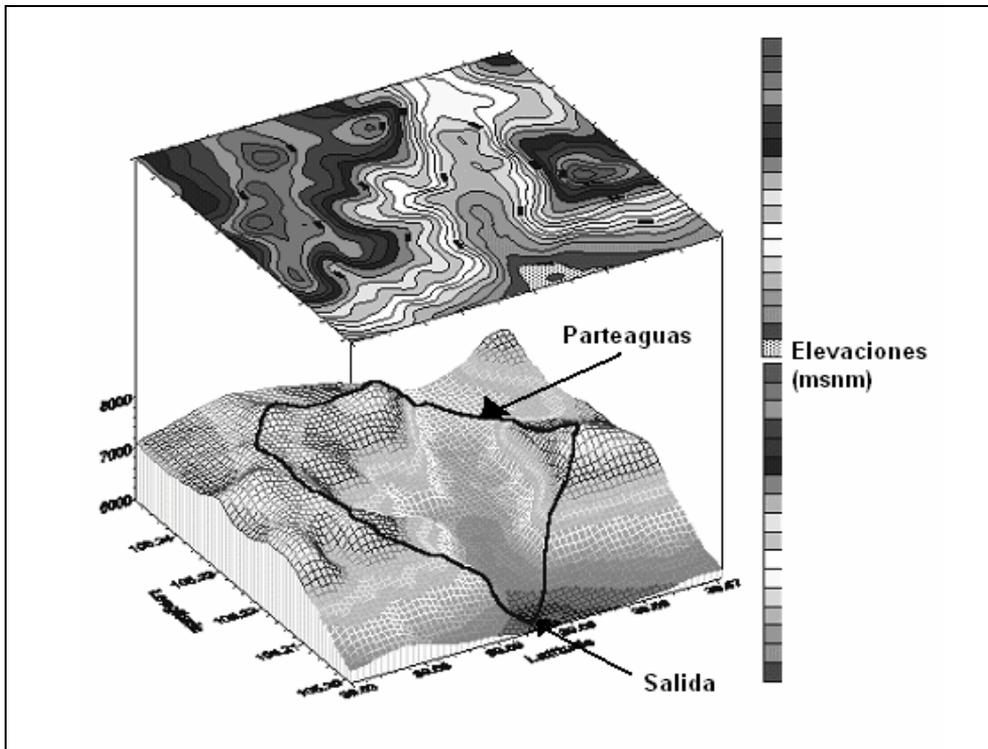


Figura 1.1 Cuenca hidrológica

- 1) Identificar en el plano la comunidad y el arroyo de interés. Con ayuda de un lápiz de color azul se marcará el cauce principal, así como todos los pequeños arroyos que a su vez confluyen hacia él, desde su nacimiento hasta un punto de interés (salida de la cuenca), el cual puede estar antes o dentro de la zona rural analizada. Esta identificación de la red de drenaje puede incluir áreas fuera de la población, hacia cerros o montañas, que es donde se originan los escurrimientos que dan origen a dicho arroyo (figura 1.2). Para el ejemplo se utilizó un plano topográfico escala 1:50,000 de INEGI.

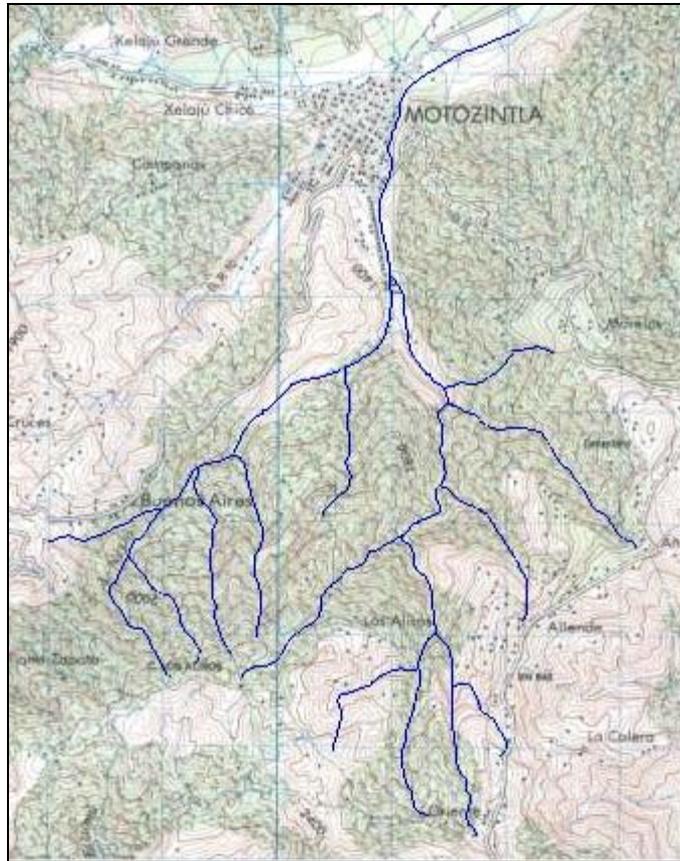


Figura 1.2 Identificación del arroyo y sus afluentes

- 2) Identificación del parteaguas de la cuenca. El parteaguas es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de interés de las cuencas vecinas (figura 1.3).

Para trazar esta línea imaginaria es necesario estudiar las curvas de nivel, identificando dónde sube y baja el terreno. Se iniciará el trazo en el punto de interés (figura 1.3), imaginándose que uno mismo está en el sitio y caminará, en sentido de las manecillas del reloj, por los puntos más altos que rodean el arroyo y sus tributarios (red de drenaje). Se debe caminar según las curvas de nivel, por la parte en la cual los dos flancos, a la derecha y a la izquierda, muestren que el terreno descende y al frente, asciende. El flanco derecho siempre apuntará hacia la red de drenaje de la cuenca, mientras que el flanco izquierdo lo hará hacia las cuencas vecinas.

Cuando se llega al punto más alto del parteaguas (cerca de la mitad del recorrido), el frente comenzará a descender y se dirigirá hacia el punto de interés (salida de la cuenca). El parteaguas nunca debe de cortar corriente alguna, excepto en el punto de interés (figura 1.3).

De acuerdo con su tamaño las cuencas pueden ser:

Pequeñas $\leq 50 \text{ km}^2$

Medianas, entre 50 km^2 y 100 km^2

Grandes $> 100 \text{ km}^2$

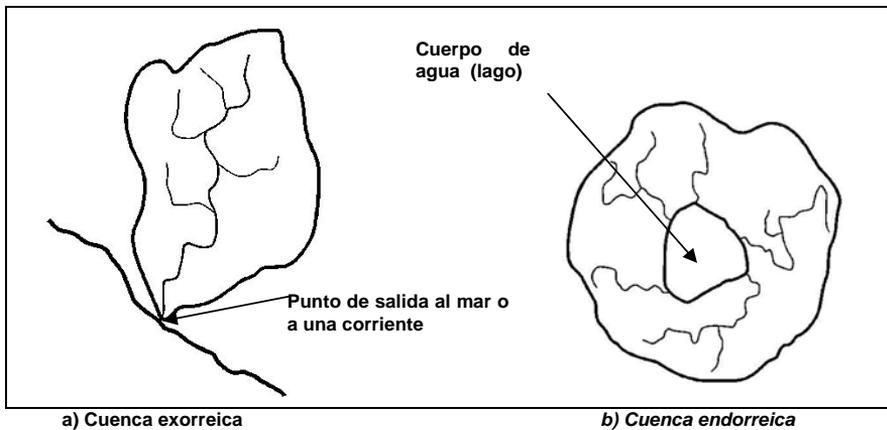


Figura 1.4 Tipos de cuencas (fuente: <http://www.ccvn.org.mx/gestion.htm#1>)

1.2.5 Características fisiográficas de la cuenca

Identificada la cuenca del arroyo en estudio y la comunidad de interés, será necesario determinar las siguientes características fisiográficas:

Parteaguas

El parteaguas es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas (figura 1.5).

Área de la cuenca

El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas (figura 1.5).

Para determinar el área de la cuenca se podrán utilizar herramientas adecuadas como son: planímetro, software especial o métodos simples para determinar áreas de polígonos irregulares. Para medir el área de la cuenca se puede utilizar la cuadrícula de referencia del plano topográfico (cuadrícula UTM), la cual tiene cuadros de 1 km por 1 km , cada uno con un área de 1 km^2 , o la utilización de un planímetro. Para el primer caso, se contarán los cuadros enteros que caen dentro de la cuenca y se sumarán al conteo los cuadros que puedan ser completados por dos o más fracciones.

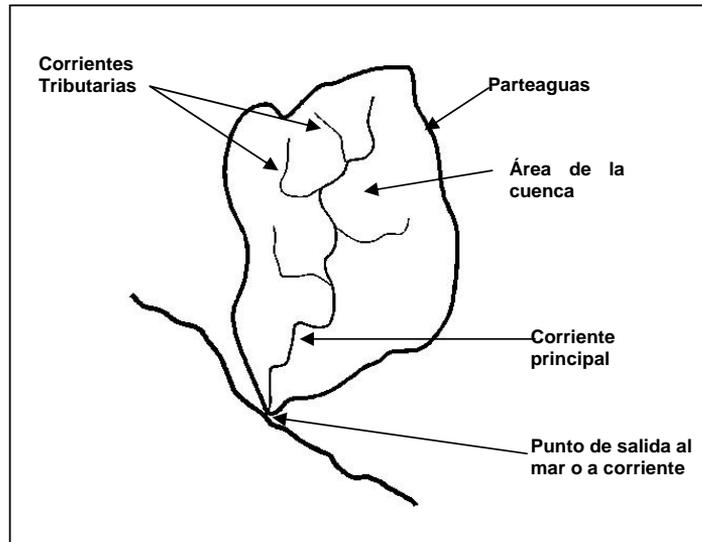


Figura 1.5 Principales características de una cuenca hidrológica

Para el ejemplo de la figura 1.6 se pueden contar dentro de la cuenca 8 cuadros enteros, 7 cuadros completados mediante fracciones de cuadro y un medio cuadro, en total 15.5 cuadros y por lo tanto la cuenca tiene un área aproximada de 15.5 km².

El planímetro es un instrumento que sirve para medir áreas de figuras planas. Entonces el área de la cuenca de la figura 1.3 puede ser medida con este instrumento sin mayor problema. Existe una metodología sencilla para hacer las mediciones de las áreas con este instrumento, la cual se describe en su manual de operación. Utilizando dicho instrumento se obtuvo un área de 15.2 km² que es muy similar al área de 15.5 km² obtenida por el método anterior.

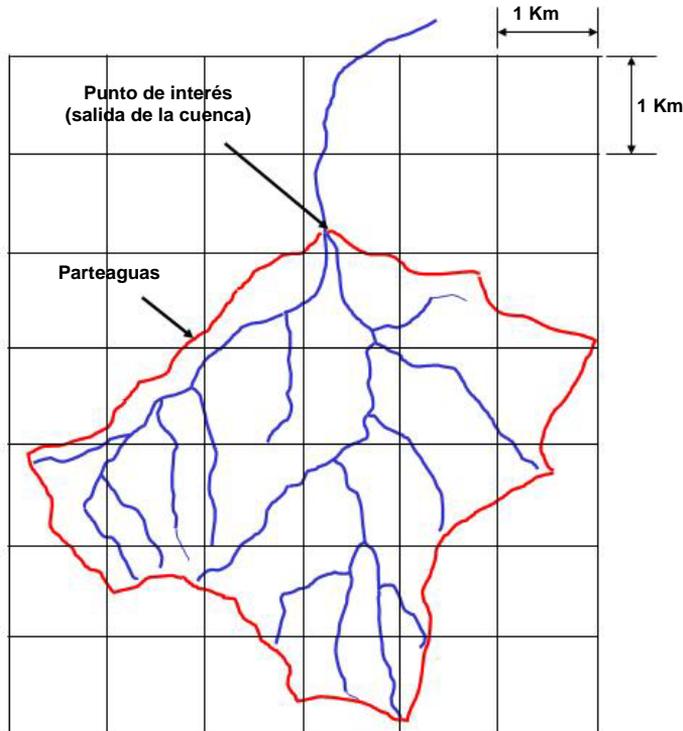


Figura 1.6 Cuadrícula para determinar el área de la cuenca

Orden de la red de drenaje

La red de drenaje de una cuenca está integrada por un cauce principal y una serie de tributarios, cuyas ramificaciones se extienden hacia las partes más altas de la cuenca. Las corrientes tributarias son las corrientes secundarias que llegan al cauce o corriente principal. La corriente o cauce principal de una cuenca es la corriente que pasa por la salida de la misma (figuras 1.5 y 1.7). Esta definición se aplica solamente a las cuencas exorreicas.

De lo anterior se desprende que todo punto de cualquier corriente tiene a su vez una cuenca de aportación y toda cuenca tiene sólo una corriente principal. También la red de drenaje tiene una salida única. Las cuencas correspondientes a las corrientes tributarias se llaman cuencas tributarias o subcuencas.

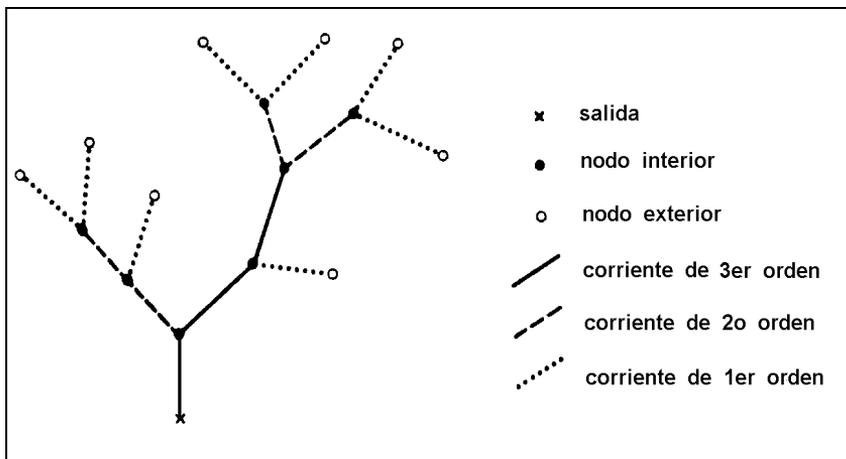


Figura 1.7 Sistema de ordenación de corrientes

La clasificación de corrientes más utilizada actualmente es la de Horton-Strahler, la cual las clasifica según el siguiente procedimiento:

1. Los cauces que se originan en una fuente u origen son definidos como corrientes de primer orden.
2. Cuando las corrientes de orden ω se unen, se crea una corriente de orden $\omega + 1$.
3. Cuando dos corrientes de diferente orden convergen, el segmento de corriente inmediatamente aguas abajo se toma como la continuación de la corriente de mayor orden.
4. El orden Ω de la cuenca es el de la corriente de mayor orden.

En la figura 1.7 se muestra una red de drenaje de un río, que fue utilizada por Strahler para dar a conocer su sistema de ordenación de corrientes, en ella se puede apreciar que la red tiene una única salida.

Para la cuenca de la figura 1.6, la corriente es de tercer orden. En la figura 1.8 se muestra cómo se identificó su corriente de mayor orden o corriente principal.

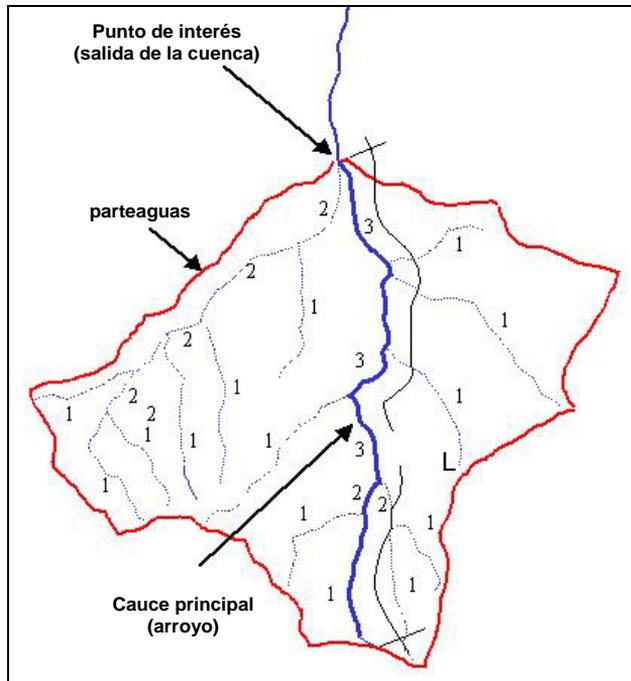


Figura 1.8 Identificación de la corriente de mayor orden o corriente principal

Pendiente de la cuenca (criterio de Nash)

La pendiente de la cuenca es uno de los factores que deben ser considerados para conocer el peligro por avenidas súbitas. A continuación se explica su obtención:

1. Trazar una malla de cuadrados sobre el plano topográfico del área de la cuenca en estudio. Se debe tomar en cuenta que la aproximación del cálculo depende del tamaño de la malla, por lo que se recomienda orientarla en el sentido de la corriente principal (figura 1.9) y obtener aproximadamente 100 intersecciones (10 x 10 divisiones), si son áreas grandes (alrededor de 250 km²) y aproximadamente unas 30 intersecciones (6 x 5 divisiones) cuando el área es muy chica (menor a 15 km²).
2. Calcular la pendiente en cada nodo o intersección como:

$$S_i = \frac{desn}{l_i}$$

donde:

S_i pendiente en cada nodo i
 $desn$ desnivel entre curvas de nivel que rodean al punto analizado
 l_i distancia mínima entre curvas de nivel que pasa por el nodo de análisis

Cuando un nodo o intersección ocurre en un punto entre dos curvas del mismo valor, la pendiente se considera nula y ese punto no se toma en cuenta para el cálculo de la pendiente.

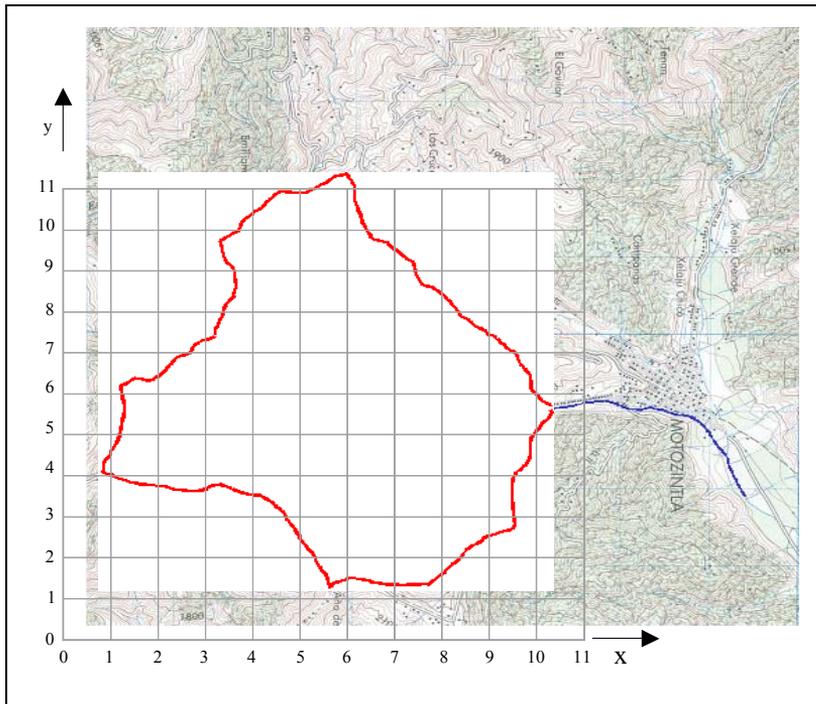


Figura 1.9 Cuadrícula para el cálculo de la pendiente de la cuenca

3. Calcular la pendiente media, es decir, el promedio de las pendientes de todos los nodos:

$$S_c = \frac{\sum S_i}{n}$$

Donde:

S_c pendiente media

S_i pendiente en cada nodo

n número de intersecciones o nodos de la malla. No contar aquellos puntos donde la pendiente se consideró nula

Para ejemplificar este procedimiento se utilizará la figura 1.9, que corresponde a la cuenca de Motozintla Chiapas, con el trazo de la malla (que no se relaciona con la cuadrícula UTM de la carta 1:50,000) para calcular su pendiente. Dicha malla tiene 11 divisiones sobre el eje “x” y 11 sobre el eje “y”, lo que hace 121 intersecciones, de las cuales 65 quedan dentro de la cuenca. En la tabla 1.1 aparece la información, producto de la aplicación del criterio de Nash, indicando para cada intersección sus coordenadas (x, y), así como la mínima distancia medida entre curvas de nivel de cada intersección y su pendiente. En este caso, el desnivel existente entre curvas de nivel es de 0.01 km, es decir, a cada 10 m, como se indica en el mapa 1:50,000 de la zona.

Tabla 1.1 Pendientes y elevaciones en los puntos de intersección de la malla trazada para la cuenca de la población estudiada

Intersección	Coordenadas		Dist. mín. km	Pendiente S	Elev. msnm	Intersección	Coordenadas		Dist. Mín.	Pendiente S	Elev. msnm
	x	y					x	y			
1	1	5	0.25	0.4000	2480	33	6	7	0.15	0.6667	1940
2	1	6			2520	34	6	6	0.15	0.6667	1860
3	2	7			2440	35	6	5	0.12	0.8333	1780
4	2	6	0.25	0.4000	2300	36	6	4	0.16	0.6250	1890
5	2	5	0.2	0.5000	2380	37	6	3	0.18	0.5556	2140
6	2	4	0.26	0.3846	2400	38	6	2	0.25	0.4000	2200
7	3	8			2440	39	7	10	0.17	0.5882	1760
8	3	7	0.2	0.5000	2300	40	7	9	0.15	0.6667	1640
9	3	6	0.3	0.3333	2270	41	7	8	0.2	0.5000	1780
10	3	5	0.1	1.0000	2220	42	7	7	0.15	0.6667	1810
11	3	4	0.3	0.3333	2340	43	7	6	0.4	0.2500	1930
12	4	11	0.15	0.6667	2120	44	7	5	0.1	1.0000	1600
13	4	10	0.1	1.0000	2180	45	7	4	0.25	0.4000	1920
14	4	9	0.12	0.833	2240	46	7	3	0.15	0.6667	1960
15	4	8	0.38	0.2632	2340	47	7	2	0.15	0.6667	2140
16	4	7	0.25	0.4000	2360	48	8	9	0.2	0.5000	1680
17	4	6	0.2	0.5000	2260	49	8	8	0.2	0.5000	1540
18	4	5	0.15	0.6667	2040	50	8	7	0.25	0.4000	1620
19	4	4	0.25	0.4000	2280	51	8	6	0.25	0.4000	1740
20	5	11	0.15	0.6667	1920	52	8	5	0.1	1.0000	1520
21	5	10	0.15	0.6667	2000	53	8	4	0.2	0.5000	1760
22	5	9	0.13	0.7692	2020	54	8	3	0.11	0.9091	1900
23	5	8	0.1	1.0000	2140	55	8	2			2200
24	5	7	0.1	1.0000	2120	56	9	8	0.25	0.4000	1600
25	5	6	0.15	0.6667	2040	57	9	7	0.5	0.2000	1480
26	5	5	0.16	0.6250	1960	58	9	6	0.2	0.5000	1520
27	5	4	0.17	0.5882	2160	59	9	5	0.25	0.4000	1540
28	5	3	0.18	0.5556	2260	60	9	4	0.35	0.2857	1680
29	6	11	0.35	0.2857	1840	61	9	3	0.2	0.5000	1960
30	6	10	0.2	0.5000	1760	62	10	7	0.4	0.2500	1580
31	6	9	0.3	0.3333	1780	63	10	6			1360
32	6	8	0.1	1.0000	1800	64	10	5	0.25	0.4000	1570
						65	10	4	0.15	0.6667	1700
										34.2018	128010

Sumatoria

De acuerdo con la tabla 1.1, la pendiente de la cuenca es igual a:

$$S_c = \frac{\sum S_i}{n} = \frac{34.2018}{60} = 0.57$$

donde $n = 65 - 5 = 60$ (número de intersecciones con valor diferente a nulo).

Longitud del cauce principal

Es la distancia horizontal que recorre la corriente de mayor orden desde su inicio hasta el sitio de interés. En algunos casos es posible tener más de un inicio, por lo que se seleccionará el que produzca la longitud mayor.

La medición de esta distancia se podrá hacer con la ayuda de un longímetro o utilizando un cordón delgado y un escalímetro o la escala gráfica indicada en el plano topográfico. El longímetro es un aparato mecánico que permite medir distancias en un plano en forma directa, debido a su diseño.

La forma de medir longitudes en un plano utilizando un tramo de cordón delgado o hilo, es la siguiente: Una vez identificado el cauce principal en el plano, se coloca el cordón sobre el trazo del cauce, tomando en cuenta todos los cambios de direcciones que tiene el trazo del cauce, para marcar posteriormente en el cordón el punto donde termina el cauce. Se medirá el tramo de cordón utilizado con ayuda del escalímetro o la escala gráfica, con lo que se tendrá de este modo la longitud del cauce principal.

En la cuenca de la figura 1.8, una vez identificado el cauce principal y observando que en tres puntos intermedios hay cambios bruscos de pendiente, se consideró dividir la longitud total del cauce en tres partes, figura 1.10, indicando la elevación en el inicio y final de cada sección.

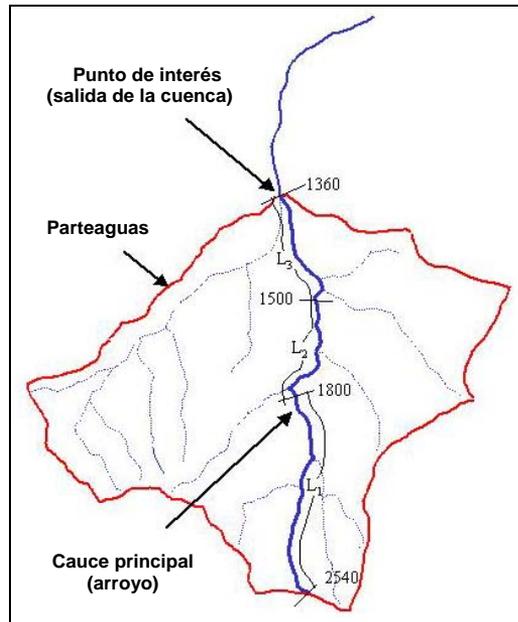


Figura 1.10 División de la corriente principal en tres tramos

$L_1 = 2400 \text{ m}$	$H_1 = 2450 \text{ m}$
$L_2 = 1400 \text{ m}$	$H_2 = 1800 \text{ m}$
$L_3 = 1200 \text{ m}$	$H_3 = 1500 \text{ m}$
	$H_4 = 1360 \text{ m}$

Entonces, la longitud total del cauce es la suma de L_1 con L_2 y L_3 . Lo cual da un valor de:

$$L_{\text{TOTAL}} = 5000 \text{ m}$$

Pendiente del cauce principal

Uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta hidrológica de una cuenca a una tormenta, es la pendiente del cauce principal. No se debe confundir con la pendiente de la cuenca. Dado que la pendiente varía a lo largo del cauce, es necesario definir una pendiente media, para la cual se propone el criterio de Taylor y Schwarz que utiliza la fórmula siguiente:

$$S = \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_m}{\sqrt{S_m}}} \right]^2$$

Donde:

- S pendiente media de la corriente de mayor orden.
- m el número de segmentos en que se divide el cauce principal.
- L es la longitud horizontal del cauce principal, desde su nacimiento como corriente de orden uno hasta la salida de las cuencas.
- l_m es la longitud horizontal de los tramos en los cuales se subdivide el cauce principal.
- S_m pendiente de cada segmento, en que se divide el cauce principal.

En la figura 1.11 se muestra una gráfica en donde típicamente se describe la pendiente del cauce principal y que resulta útil para estimar la pendiente media.

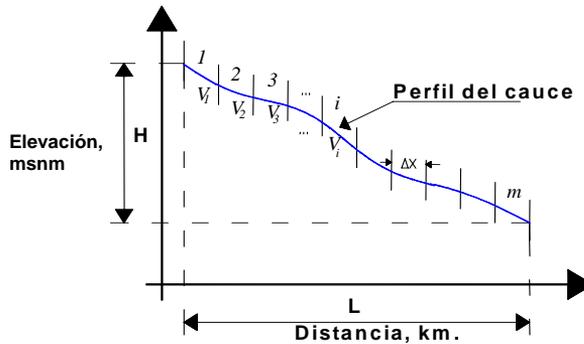


Figura 1.11 Pendiente media

Con los datos de la figura 1.10 se calcula la pendiente en cada tramo del cauce principal

$$S_1 = \frac{H_1 - H_2}{L_1} = \frac{2450 - 1800}{2400} = 0.27083$$

$$S_2 = \frac{H_2 - H_3}{L_2} = \frac{1800 - 1500}{1400} = 0.21429$$

$$S_3 = \frac{H_3 - H_4}{L_3} = \frac{1500 - 1360}{1200} = 0.11667$$

Sustituyendo los valores antes calculados en la ecuación de Taylor y Schwarz para calcular la pendiente media del cauce principal, se obtiene:

$$S = \left[\frac{5000}{\frac{2400}{\sqrt{0.27083}} + \frac{1400}{\sqrt{0.21429}} + \frac{1200}{\sqrt{0.11667}}} \right]^2 = 0.20112$$

Por lo tanto la pendiente media del cauce principal es del 20.11%.

1.2.6 Tipo de suelo

Para los fines de este capítulo, los suelos se clasifican en finos y gruesos, como se observa en la tabla 1.2. Los gruesos se refieren al material que varía desde rocas y gravas hasta arenas con muy poco material fino (menos del 15% del suelo) y los finos se refieren a las arcillas y limos con nula o muy poca arena. Para identificar si el suelo presenta una mayor cantidad de arena o una mayor cantidad de finos se aplican las pruebas que a continuación se presentan.

Tabla 1.2 Tipo de Suelo

Gruesos	Macizo Rocosó
	Roca disgregada ($100 < \phi < 500 \text{ mm}$)
	Gravas ($3.5 < \phi < 100 \text{ mm}$)
	Arena gruesa ($2.4 < \phi < 3.5 \text{ mm}$)
	Arena mediana ($1.22 < \phi < 2.4 \text{ mm}$)
	Arena fina ($0.075 < \phi < 1.22 \text{ mm}$)
	Arena limosa
Finos	Arena arcillosa
	Limo arenoso
	Arcilla arenosa
	Limo
	Arcilla

ϕ es el diámetro medio de las partículas del suelo

Método “consistencia cerca del límite plástico”

Para determinar si el suelo es fino o arenoso se toma “in-situ” un puño de suelo húmedo y se debe tratar de hacer un rollo (bolillito); si éste se puede hacer, entonces significa que tiene más suelo fino que arenas y si el rollo se deshace, entonces se dice que es una arena con finos (figura 1.12).



Figura 1.12 Método “consistencia cerca del límite plástico”

Ahora, para identificar si el suelo es una arcilla o limo se pueden aplicar los siguientes métodos.

Método “dilatancia”

Consiste en tomar un puño de suelo húmedo, hacer con él una pastilla (una bolita de suelo de aproximadamente 1 cm de diámetro) y colocarlo en una de las manos (figura 1.13). Se deja abierta la mano y con la otra se dan unos pequeños golpes a la mano y se observa si la pastilla empieza a formar gotitas de agua sobre la superficie. Si este fuera el caso, se dice que es un limo, de lo contrario es una arcilla.



Figura 1.13 Método “dilatancia”

Método “Resistencia en estado seco”

Consiste en formar con el suelo húmedo una pastilla, se deja secar y después se trata de disgregar con la mano; si éste se disgrega fácilmente se dice que es un limo, de lo contrario se dice que es una arcilla.

El proceso para identificar el tipo de suelo predominante en la cuenca es el siguiente:

- a) Se divide la cuenca en una cuadrícula de 1 km por 1 km, y se eliminan aquellos cuadros que tengan menos de la mitad de área de la cuenca (figura 1.14).
- b) Se identifican los centroides de cada cuadro como los lugares donde se tomarán las muestras de suelo.

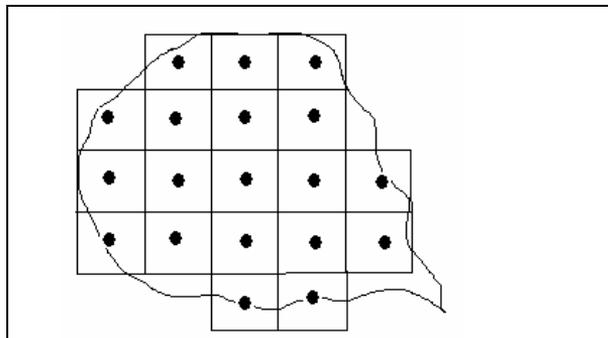


Figura 1.14 Malla para muestreo

- c) Se realiza el recorrido por la cuenca y en cada centroide se toma una muestra del suelo una vez que se ha eliminado la cubierta vegetal y se clasifica según lo explicado anteriormente.
- d) Finalmente, el tipo de suelo predominante en la cuenca será el valor que más se repite dentro de las muestras (moda) obtenidas en campo. En caso de que existan dos tipos de suelo predominantes deberá considerarse posteriormente un promedio de sus características (ver punto 1.2.8, Gasto sólido).

1.2.7 Cubierta vegetal

Todas las cuencas tienen en mayor o menor grado cierta cubierta vegetal, y se ha observado que las actividades humanas han modificado la cubierta vegetal original. Se pueden identificar diferentes tipos de ésta, siendo las más sobresalientes las boscosas, pastizales, suelos agrícolas y suelos desnudos.

Las zonas agrícolas en cierta medida se consideran como lugares donde el suelo está desprotegido de los efectos climatológicos ya que al barbechar para sembrar, se disgrega el suelo y se le quita la cubierta vegetal.

Para el caso del ejemplo en la cuenca de Motozintla, de un recorrido por la cuenca se observó que la cobertura vegetal, entre zonas boscosas, matorrales y pastizales son de aproximadamente el 64 % del área total de la cuenca.

1.2.8 Estimación del escurrimiento a la salida de la cuenca

El escurrimiento que sale de la cuenca se considera como la suma de una fase líquida (agua) y una fase sólida (sedimentos).

Gasto líquido

Se debe de entender por gasto líquido el volumen de agua que pasa por una sección en un cierto tiempo.

Para determinar este escurrimiento se utilizará la llamada fórmula Racional, la cual es uno de los modelos de relación lluvia – escurrimiento más antiguos (1889), y probablemente todavía es uno de los más utilizados. Considera que el gasto máximo o pico (líquido) se alcanza cuando la precipitación se mantiene con una intensidad constante durante un tiempo igual al tiempo de concentración. La fórmula Racional es:

$$Q_p = 0.278 C i A$$

Donde:

Q_p	gasto máximo o de pico, en m ³ /s.
C	coeficiente de escurrimiento (usualmente entre 0.5 y 0.8, ver tabla 1.3 para zonas urbanas)
i	intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, en mm/h
A	área de la cuenca, en km ²

Tabla 1.3 Valores del coeficiente de escurrimiento

Tipo del área drenada	Coefficiente de escurrimiento Máximo
Zonas comerciales:	
Zona comercial	0.95
Vecindarios	0.70
Zonas residenciales:	
Unifamiliares	0.50
Multifamiliares, espaciados	0.60
Multifamiliares, compactos	0.75
Semiurbanas	0.40
Casas habitación	0.70
Zonas industriales:	
Espaciado	0.80
Compacto	0.90
Cementerios, parques	0.25
Campos de juego	0.35
Patios de ferrocarril	0.40
Zonas suburbanas	0.30
Calles:	
Asfaltadas	0.95
De concreto hidráulico	0.95
Adoquinadas	0.85
Estacionamientos	0.85
Techados	0.95
Praderas:	
Suelos arenosos planos (pendientes de 0.02 ó menos)	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.15
Suelos arenosos escarpados (pendientes de 0.07 o más)	0.20
Suelos arcillosos planos (pendientes de 0.02 ó menos)	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.22
Suelos arcillosos escarpados (pendientes de 0.07 ó más)	0.35

Para estimar el tiempo de concentración se utiliza la fórmula de Kirpich:

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

S es la pendiente media del cauce principal
 L es la longitud del cauce principal, en m
 t_c es el tiempo de concentración, en horas

Para el caso de las avenidas súbitas, el rango de tiempos de concentración que se ha encontrado es menor a 4 horas, con un promedio de 0.48 horas (29 min) (tabla 1.4).

En la tabla 1.4 se muestran los casos estudiados de avenidas súbitas en México, en E. U. A. y Venezuela. A partir de la tabla antes mencionada, se deduce que los valores a partir de los cuales se pueden presentar avenidas súbitas son:

Tiempo de concentración, $t_c < 4$ horas

Pendiente de la cuenca, $S_c > 0.1193$

Además, en general, se trata de cuencas relativamente pequeñas (en promedio son menores a los 30 km²).

Los umbrales establecidos se deben tomar con cierta reserva, dado que la base de datos no es muy grande (56 valores). En la medida que se alimente la tabla con más casos de avenidas súbitas, se reducirá el grado de incertidumbre de los umbrales.

Otro aspecto en el que se debe insistir, es el tiempo de concentración, ya que aunque es más importante, no necesariamente una cuenca debe cumplir con ambos parámetros para que esté sujeta a avenidas súbitas, aunque más importante es el tiempo de concentración.

Para determinar la intensidad a la que se refiere la fórmula racional, para una duración igual al tiempo de concentración (t_c), se utilizarán los mapas de isoyetas asociados a los diferentes periodos de retorno (T_r) considerados, que se muestran en el anexo 1; con una duración de 24 y una hora. Con ello se podrán calcular diferentes gastos líquidos para cada uno de los periodos antes mencionados.

En la figura 1.15 se muestra uno de los mapas de isoyetas del anexo 1. Este mapa de isoyetas corresponde a una duración de una hora y un periodo de retorno de 5 años.

En los mapas de isoyetas antes mencionados se ubica geográficamente la cuenca del arroyo en estudio y directamente de los mapas, se lee la altura de precipitación correspondiente, repitiéndose este proceso para cada uno de los periodos de retorno considerados, para posteriormente crear un registro de láminas de lluvia como se muestra en la tabla 1.5.

Tabla 1.4 Avenidas súbitas históricas

Número	Nombre de la cuenca	Área de la cuenca, km ²	Pendiente del cauce	Inclinación del cauce, grados	Longitud, m	Tiempo de concentración, h	Pendiente de la cuenca	Inclinación de la cuenca, grados
GUERRERO, ACAPULCO								
1	Pie de la Cuesta 1	2.8	0.13	7.3	3325	0.37	0.2832	15.8
2	Pie de la Cuesta 2	0.7	0.15	8.7	1950	0.23	0.1724	9.8
3	Coloso	2.3	0.09	4.9	2350	0.33	0.2001	11.3
4	Juan Álvarez superior (Aguas Blancas)	4.5	0.17	9.5	4000	0.38	0.3001	16.7
	Juan Álvarez Total (Aguas Blancas)	9.8	0.08	4.4	5800	0.69	0.2047	11.6
5	Palma Sola-Camarón Superior	9.2	0.15	8.6	3400	0.35	0.3212	17.8
	Palma Sola-Camarón Total	12.6	0.11	6.5	5700	0.59	0.2467	13.9
6	Costa Azul	7.1	0.05	3.1	3450	0.53	0.2010	11.4
BAJA CALIFORNIA, TIJUANA								
1	Laureles Superior	2.4	0.04	2.1	3970	0.69	0.2037	11.5
	Laureles total	6.1	0.03	1.9	6030	0.98	0.1962	11.1
2	México Lindo superior	3.0	0.06	3.6	3255	0.48	0.1873	10.6
	México Lindo total	4.0	0.05	2.9	4555	0.68	0.2233	12.6
3	Camino Verde	4.3	0.05	2.9	3410	0.53	0.2167	12.2
4	Sánchez Taboada	4.8	0.05	2.8	3710	0.58	0.1327	7.6
5	Pasteje-Aviación	7.7	0.02	1.3	4440	0.90		
6	Aguaje de la Tuna Superior	12.6	0.05	2.6	8220	1.11	0.2105	11.9
	Aguaje de la Tuna Total	14.0	0.04	2.4	9120	1.24	0.2089	11.8
7	Manuel Paredes	15.5	0.03	1.5	10300	1.64	0.1589	9.0
CHIAPAS, MOTOZINTLA, TAPACHULA								
1	MOTOZINTLA Arroyo Allende	15.5	0.21	12.0	5000	0.42	0.5700	29.7
BAJA CALIFORNIA SUR								
1	Arroyo El Zacatal (hasta el cruce con la carretera)	19.5	0.11	6.1	8150	0.79	0.1687	9.6
NUEVO LEÓN, MONTERREY								
1	Topo Chico	64.5	0.02	1.3	13630	2.14	0.1193	6.8
E. U. A. (Colorado)								

Continúa

Tabla 1.4 Avenidas súbitas históricas

Número	Nombre de la cuenca	Área de la cuenca, km ²	Pendiente del cauce	Inclinación del cauce, grados	Longitud, m	Tiempo de concentración, h	Pendiente de la cuenca	Inclinación de la cuenca, grados	
1	Drake, Big Thompson	88.5				2.00			
2	Boca del cañón Big Thompson	379.8				4.00			
VENEZUELA		Cuenca alta							
1	Río Chichiriviche	76.1	0.50	26.6	2000	0.15			
2	Río Uricao	62.6	0.45	24.2	2000	0.15			
3	Carimagua	6.4	0.23	13.0	2200	0.21			
4	Río Picure	17.6	0.15	8.5	1500	0.19			
5	Río Mamo	139.6	0.10	5.7	5500	0.60			
6	La Zorra	6.8	0.35	19.3	1000	0.10			
7	Tacagua	102.0	0.40	21.8	1000	0.09			
8	Las Pailas	6.9	0.30	16.7	1000	0.11			
9	Curucutí	10.0	0.60	31.0	1200	0.09			
10	Piedra Azul	24.8	0.25	14.0	2000	0.19			
11	Río Osorio	4.6	0.60	31.0	1200	0.09			
12	Cariaco	5.7	0.60	31.0	1500	0.11			
13	Alcantarilla	1.5	0.40	21.8	2400	0.19			
14	Río Macuto	14.0	0.40	21.8	1600	0.14			
15	El Cojo	6.8	0.60	31.0	1200	0.09			
16	Río Camurí Chico	11.2	0.55	28.8	1400	0.11			
17	Río San Julián	23.6	0.60	31.0	2000	0.14			
18	Seca	5.3	0.60	31.0	1000	0.08			
19	Río Cerro Grande	26.6	0.90	42.0	800	0.06			
20	Tanaguarena	2.1	0.80	38.7	400	0.04			
21	Uria	11.6	0.90	42.0	300	0.03			
22	El Tigrillo	2.9	0.90	42.0	500	0.04			
23	Río Naiguatá	33.4	0.55	28.8	2100	0.15			
24	Río Camurí Grande	42.9	0.65	33.0	2000	0.13			
24A	Río Magdalena	19.0	0.35	19.3	1500	0.14			
25	Care	9.6	0.44	23.7	300	0.04			
26	Río Anare	24.8	0.50	26.6	1000	0.09			
27	Río Los Caracas	77.7	0.30	16.7	2700	0.23			
27A	Río El Chiquito	21.1	0.25	14.0	1500	0.15			
27B	Río El Limón	23.7	0.50	26.6	1400	0.11			
Promedios		28.5	0.3217	16.8	3137	0.48	0.2263	12.6	
Max		379.8	0.9000	42.0	13630	4.00	0.5700	29.7	
Min		0.7	0.0224	1.3	300	0.03	0.1193	6.8	

Tabla 1.5 Láminas de lluvia

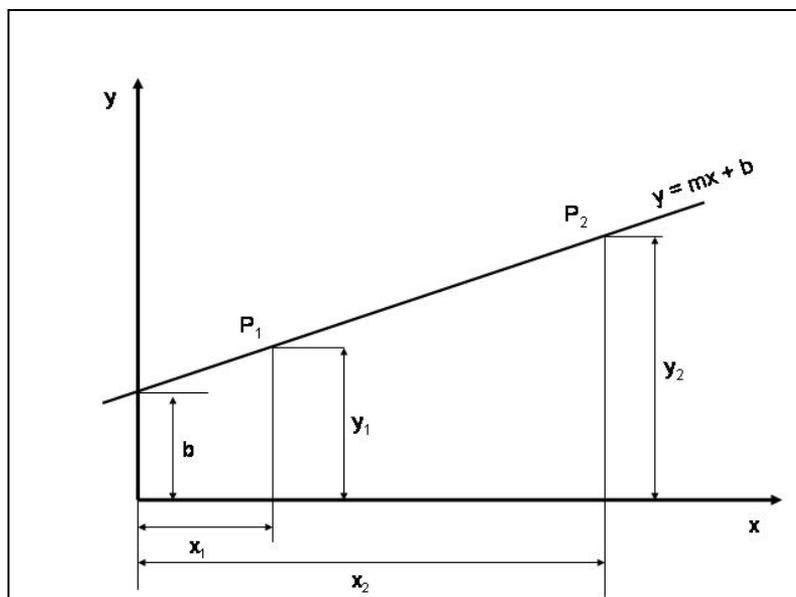
Tr (años)	Duración	
	24 h hp (mm)	1 h hp(mm)
2	-	-
5	-	-
10	-	-
25	-	-
50	-	-
100	-	-
250	-	-
500	-	-
1000	-	-
2000	-	-

Para obtener la intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración (t_c), se realiza una interpolación, según el valor del tiempo de concentración, entre los valores de la lámina de lluvia para $d = 24$ horas y $d = 1$ hora, para cada uno de los periodos de retorno considerados.

Primeramente, con los logaritmos de la duración de una hora y de 24 horas (tabla 1.6) y la lámina de lluvia leída de los mapas de isoyetas y con ayuda de la ecuación general de la línea recta (figura 1.16), se obtiene el valor de la lámina de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración.

Tabla 1.6 Logaritmo de la duración vs precipitación

Duración (h)	ln (d)	hp (mm)
1	0	-
24	3.17805383	-

**Figura 1.16 Fórmula y representación en el plano cartesiano de la línea Recta**

Ecuación general de la recta: $y = mx + b$

Pendiente de la recta: $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$

Al realizar un cambio de variables en la ecuación general de la línea recta, se obtuvo la ecuación siguiente:

$$hp(t_c) = \frac{hp(24) - hp(1)}{\ln(24) - \ln(1)} \cdot \ln(t_c) + hp(1)$$

$$hp(t_c) = \frac{hp(24) - hp(1)}{3.1781} \cdot \ln(t_c) + hp(1)$$

la cual se interpreta de la forma siguiente: La lámina de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración es igual a la diferencia de las láminas de lluvia de una duración de 24 horas y la de duración de una hora, dividida entre el logaritmo natural de 24 (horas); multiplicado por el logaritmo natural del tiempo de concentración, más la lámina de lluvia para una duración de una hora.

Finalmente, para obtener la intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración (t_c), se divide la lámina de lluvia antes mencionada entre el valor del tiempo de concentración

$$i = \frac{hp(t_c)}{t_c}$$

Gasto sólido o cantidad de sedimentos por unidad de tiempo

El gasto sólido es la cantidad de sedimentos por unidad de tiempo que debe sumarse al gasto líquido para tener el escurrimiento de la cuenca. Una forma de obtener el gasto sólido que produce una avenida es mediante la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS); ésta se expresa como:

$$E = 0.224 R K LS C P$$

donde:

- E es el índice de erosión (kg/m^2) por evento (año, tormenta, etc.)
- R es el índice de erosividad asociado a la lluvia en el sitio (adimensional)
- K representa la erosionabilidad del suelo, o sea, el tipo de suelo (adimensional)
- LS son dos factores que toman en cuenta la pendiente y su longitud (adimensional)
- C es un factor que toma en cuenta la cobertura vegetal (adimensional)

P es un factor que toma en cuenta las obras de protección contra erosión que existen en la zona (adimensional). Dichas obras ayudan a disminuir el proceso de erosión en las laderas y en los cauces de las cuencas, así como evitar el depósito de sedimento en las áreas de inundación. Entre las más importantes se encuentran las terrazas, reforestación, siembra de pastos, presas de gaviones y desarenadores.

Factor R

Se obtiene con la expresión:

$$R = 0.00576 i^2 (1.213 + 0.3865 \text{Ln}(i))$$

Donde i es la intensidad de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración, que se obtiene como ya se mencionó anteriormente.

Factor K

Este factor se refiere al tipo de suelo que predomina en la cuenca, para ello el rango de valores que puede tomar estará en función de la clasificación del suelo que se hizo anteriormente y que se presenta en la tabla 1.7.

Tabla 1.7 Valor del parámetro K

Tipo de suelo	Factor K
Macizo Rocoso	0
Roca disgregada ($100 < \phi < 500$ mm)	0.05
Gravas ($3.5 < \phi < 100$ mm)	0.1
Arena gruesa ($2.4 < \phi < 3.5$ mm)	0.2
Arena mediana ($1.22 < \phi < 2.4$ mm)	0.23
Arena fina ($0.075 < \phi < 1.22$ mm)	0.26
Arena limosa	0.30
Arena arcillosa	0.33
Limo arenoso	0.36
Arcilla arenosa	0.40
Limo	0.45
Arcilla	0.50

Factor LS

Este factor se refiere a la relación longitud-pendiente del cauce principal de la cuenca; para obtenerlo se sugiere utilizar la siguiente fórmula.

$$LS = \left(\frac{x}{22} \right)^m (0.065 + 0.045 S_p + 0.0065 S_p^2)$$

Donde:

X es la longitud del cauce, en metros

S_p es la pendiente media del cauce principal, en porcentaje.

m es un factor que depende del valor de la pendiente. En general m se selecciona con el criterio siguiente:

$$\begin{aligned} m &= 0.5 \text{ si } S_p \geq 5\% \\ m &= 0.4 \text{ si } 3\% \leq S_p < 5\% \\ m &= 0.3 \text{ si } 1\% \leq S_p < 3\% \\ m &= 0.2 \text{ si } S_p \leq 1\% \end{aligned}$$

Para obtener el gradiente de la pendiente media del cauce principal en porcentaje, se aplica la siguiente expresión.

$$S_p = 100 * S$$

Factor C

Este factor se refiere a la cobertura vegetal en la zona de estudio. Para determinar la cobertura vegetal se utilizan mapas de INEGI, imágenes de satélite o mediante un recorrido en la zona y a grandes rasgos, definir en forma visual el porcentaje de la cobertura vegetal.

El valor de C se determina a partir de los valores de la tabla 1.8.

Tabla 1.8 Valores del factor C

Cobertura vegetal en porcentaje (%)	Factor C
Bosques bien definidos (≥ 97 %)	0.02
80 % \leq Cobertura vegetal ≤ 96 %	0.2
60 % \leq Cobertura vegetal ≤ 79 %	0.3
40 % \leq Cobertura vegetal ≤ 59 %	0.4
16 % \leq Cobertura vegetal ≤ 39 %	0.5
5 % \leq Cobertura vegetal ≤ 15 %	0.6
Suelo desnudo ≤ 4 % de la cobertura vegetal	1.0

Nota: la cobertura vegetal se entiende que es entre pastizales, arbustos y bosques

Factor P

Este factor tiene que ver con las obras que se han construido en las laderas para el control de la erosión, su determinación se obtendrá de realizar un recorrido por la zona de estudio. Las técnicas más usadas en México para el control de la erosión es la reforestación, el cultivo de fajas de pasto, la construcción de terrazas, presas de gaviones y desarenadores, siendo la más efectiva la construcción de terrazas.

En la tabla 1.9 se presentan los valores que puede tomar el factor P para diferentes actividades de control de erosión.

Tabla 1.9 Valores del factor P

Tipos de obra de control de erosión	Factor P
Cuando más del 90 % de las laderas de la cuenca tienen terrazas	0.1
El área de las laderas que tiene terrazas está entre 61 % y 90 %	0.2
El área de las laderas que tiene terrazas está entre 41 % y 60 %	0.3
El área de las laderas que tiene terrazas está entre 21 % y 40 %	0.4
El área de las laderas que tiene terrazas está entre 6 % y 20 %	0.5
Reforestación más del 90% del área de la cuenca	0.2
50 % < reforestación < 90%	0.3
30 % < reforestación < 49%	0.4
5 % < reforestación < 29%	0.5
Si existen presas de gaviones en las barrancas de la cuenca	0.3
Si existen desarenadores en las localidades a la salida de la cuenca	0.35
Si no existen obras de control de erosión en toda la cuenca	1.0

El índice de erosión E será un indicador para determinar la concentración de sedimentos C_s que lleva el cauce. Por definición se dice que la concentración de sedimentos es la cantidad de material sólido entre el volumen total del fluido.

Para calcular C_s se determina primero el valor de E, si éste es mayor que 30, entonces C_s será igual a 0.6; si E es menor a 30, se sustituye en la siguiente ecuación.

$$C_s = 0.00063 A^2$$

Con los valores calculados del gasto líquido (Q_p) y la concentración de sedimentos (C_s) se calcula el gasto total del fluido que escurre sobre el cauce al final de la cuenca. Para ello se aplica la siguiente fórmula.

$$Q_T = \frac{Q_p}{1 - C_s}$$

Donde:

Q_p es el gasto líquido, en m^3/s .

Q_T es el gasto total que escurre sobre el cauce al final de la cuenca, en m^3/s .

C_s es la concentración de sedimentos, adimensional.

El gasto de sólidos se obtendrá finalmente con la expresión:

$$Q_s = Q_T - Q_p$$

Donde Q_s es el gasto de sólidos, en m^3/s , que representa el volumen de sedimentos por unidad de tiempo que acompaña a una avenida en un río, es decir, que el gasto total es la suma de los gastos líquido y sólido.

Una vez que se ha calculado el gasto total se procede a calcular el área hidráulica requerida en el río para evitar desbordamientos.

Para ejemplificar cómo se obtienen los gastos líquido, sólido y total, a continuación se tomará el caso de la cuenca de Motozintla, Chiapas, que se muestra en la figura 1.9.

Cálculo del gasto líquido

Considerando que la cuenca del ejemplo se ubica en Motozintla, Chiapas, del mapa de isoyetas con una duración de un hora y un periodo de retorno de $Tr = 5$ años (figura 1.15) se lee una lámina de lluvia de 75 mm y del mapa de isoyetas con una duración de 24 horas y un periodo de retorno de 5 años se lee una lámina de lluvia de 135 mm. Con las dos láminas de lluvias anteriores se podrá determinar la intensidad de que se habla en la fórmula racional para determinar el gasto líquido, por lo que es necesario, primeramente, calcular el valor del tiempo de concentración.

Para la cuenca del ejemplo, se sustituyen los valores de la pendiente y la longitud del cauce principal, antes determinadas, en la fórmula de Kirpich y obteniendo que el tiempo de concentración es:

$$t_c = 0.000325 \cdot \frac{(5000)^{0.77}}{(0.20112)^{0.385}} = 0.42 \text{ h}$$

Comparando este valor con el rango establecido para avenidas súbitas con respecto a tiempos de concentración, se concluye que la cuenca de Motozintla puede estar sujeta a la presencia de este fenómeno.

Una vez calculado el valor del tiempo de concentración, se procede a calcular la lámina de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración ($d = t_c$), dado que se cuentan con los siguientes datos:

$$\begin{aligned} h_p(1) &= 75 \text{ mm} \\ h_p(24) &= 135 \text{ mm} \\ t_c &= 0.42 \text{ h} \end{aligned}$$

Sustituyendo estos valores en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} hp(t_c) &= \frac{hp(24) - hp(1)}{3.1781} \cdot \ln(t_c) + hp(1) \\ hp(t_c) &= \frac{135\text{mm} - 75\text{mm}}{3.1781} \cdot \ln(0.42\text{h}) + 75\text{mm} \\ hp(t_c) &= 59\text{mm} \end{aligned}$$

Se tiene que la lámina de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración es de 59 mm. Finalmente, para obtener la intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración (t_c), se divide la lámina de lluvia antes mencionada entre el valor del tiempo de concentración.

$$\begin{aligned} i &= \frac{hp(t_c)}{t_c} \\ i &= \frac{59\text{mm}}{0.42\text{h}} \approx 140\text{mm/h} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el valor de la intensidad de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración es aproximadamente de 140 mm.

De la tabla 1.3, con un tipo de área drenada “cementeros y parques” se tiene un coeficiente de escurrimiento de 0.25. Sustituyendo los anteriores valores en la Fórmula Racional se tiene:

$$Q_p = 0.278 \cdot (0.25) \cdot (140 \text{ mm/h}) \cdot (15.5 \text{ km}^2)$$

$$Q_p \approx 151 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo tanto para la cuenca de Motozintla se tiene un escurrimiento crítico de 151 m³/s en el punto de interés.

Cálculo del gasto total y sólido

A continuación, se calcularán los parámetros necesarios para aplicar la fórmula universal de pérdida de suelo.

• **Factor R**

Con la intensidad de lluvia de 140 mm/h se utiliza la ecuación correspondiente para obtener el valor del parámetro R, quedando como

$$R = 0.00576 (140)^2 (1.213 + 0.3865 \ln(140)) = 352.57$$

• **Factor K**

La cuenca en estudio se dividió en una cuadrícula de 1 km por 1 km (figura 1.17), por lo que el número de muestras es 16. Los resultados del recorrido por la cuenca y del muestreo en el lugar indicado por cada centroide se presentan en la tabla 1.10.

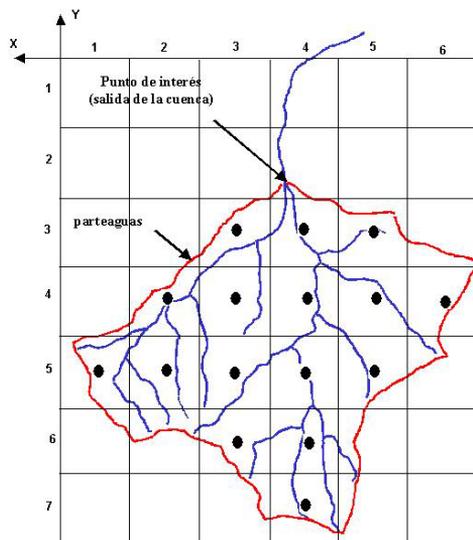


Figura 1.17 Muestras para clasificar el tipo de suelo en la cuenca de Motozintla

Tabla 1.10 Clasificación del suelo en cada centroide de la malla

Eje x \ Eje y	1	2	3	4	5	6
1	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X
3	X	X	Gravas	Arena limosa	Arenas	X
4	X	Arena arcillosa	Arena limosa	Arena limosa	Gravas	Arenas
5	Arena arcillosa	Arena arcillosa	Arena arcillosa	Arena arcillosa	Arena limosa	X
6	X	X	Arena arcillosa	Arena limosa	X	X
7	X	X	X	Arena arcillosa	X	X

La moda de la colección de muestras en la cuenca es “arena arcillosa” ya que es el tipo de suelo que más se repite (7 veces). Entonces, el tipo de suelo predominante en la cuenca es “arena arcillosa”.

Con este tipo de suelo predominante se consulta a la tabla 1.7 y se obtiene un factor K igual a

$$K = 0.33$$

- **Factor LS**

El valor calculado de la pendiente promedio del cauce principal, 21.2 %, se sustituye en la ecuación para obtener el término LS

$$LS = (5000/22)^{0.5} (0.065 + 0.045 (20.11) + 0.0065 (20.11)^2) = 54.3$$

- **Factor C**

En un recorrido por la cuenca se observó que la cobertura vegetal, entre zonas boscosas, matorrales y pastizales es de aproximadamente el 64 % del área total de la cuenca. De la tabla 1.8 y con esta cobertura vegetal de bosque, se obtiene un factor C igual a:

$$C = 0.02$$

- **Factor P**

Al recorrer las laderas, arroyos secundarios y cauces principales, se encontró que no existen obras de protección contra erosión, sólo existe una reforestación del 60% de la cuenca. Con esta información en la tabla 1.9 se obtiene un factor P igual a:

$$P = 0.3$$

Finalmente, sustituyendo todos los factores de la fórmula universal de pérdida de suelo, resulta que el valor del índice de erosión es

$$E = 0.224 (352.56) (0.33) (54.3) (0.02) (0.3) = 8.49$$

Como E es menor que 30, entonces se sustituye este valor en la expresión para calcular C_s y se obtiene un valor de

$$C_s = 0.00063 (8.49)^2 = 0.005$$

Finalmente, con los valores calculados del gasto líquido (Q_p) y la concentración de sedimentos (C_s) se calcula el gasto total del fluido que escurre sobre el cauce a la salida de la cuenca. Sustituyendo estos valores en la expresión para obtener Q_T resulta.

$$Q_T = \frac{151}{1 - 0.005} \approx 151.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

Una vez conocidos los valores de Q_t y Q_p se obtiene el gasto sólido

$$Q_s = 151.75 - 151 = 0.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

1.2.9 Determinación del área hidráulica requerida o permisible

El área hidráulica permisible es el área necesaria para que el flujo de escurrimiento, expresado como el gasto máximo o de pico, fluya por una sección de un arroyo sin presentar desbordamientos en sus márgenes.

Partiendo de la definición de flujo de volumen o gasto:

$$Q_T = A_h \cdot V$$

Donde:

Q_T es el gasto total en m^3/s

A_h es el área hidráulica requerida

V es la velocidad del flujo en m/s

El área hidráulica permisible se puede calcular de la siguiente forma:

$$A_h = \frac{Q_T}{V}$$

La velocidad se determina con la expresión siguiente:

$$V = \frac{L}{3600 \cdot t_c}$$

Donde:

L es la longitud del cauce principal, en m

t_c es el tiempo de concentración, en h

Para cada una de las intensidades de lluvia analizadas, se tendrá un gasto total, por lo que para cada uno de estos gastos se determinarán las áreas hidráulicas permisibles correspondientes.

Con el valor del tiempo de concentración de 0.42 h, calculado anteriormente, la velocidad del flujo es

$$V = \frac{L}{t_c} = \frac{5000}{3600(0.42)} = 3.31 \text{ m}/\text{s}$$

lo que implica que el área hidráulica permisible sea de

$$A_p = \frac{Q}{V} = \frac{151 \text{ m}^3/\text{s}}{3.31 \text{ m}/\text{s}} = 45.62 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, es necesaria un área hidráulica permisible de 45.62 m^2 para un gasto total de $151 \text{ m}^3/\text{s}$ en nuestra cuenca de ejemplo.

1.2.10 Levantamiento topográfico del arroyo

Para identificar las zonas potencialmente inundables (figura 1.18), se debe realizar un levantamiento topográfico del río o arroyo que se esté analizando, en la zona donde se encuentre la población o pase muy cerca de ésta.

De acuerdo con la visita de campo se identificarán las secciones transversales del arroyo en las cuales éste se desborda consecutivamente en cada temporada de lluvia, para su levantamiento topográfico.

Se recomienda que el levantamiento topográfico del arroyo sea realizado por personal especializado o por estudiantes de las carreras de ingeniería civil o topografía de las escuelas de nivel técnico profesional.

En la figura 1.19 se muestra un ejemplo del levantamiento de una sección transversal de un cauce natural; en ésta se puede observar que se deben tomar las mediciones necesarias para definir adecuadamente la sección en estudio, tomando en cuenta algunas referencias como árboles, casas o grandes rocas.

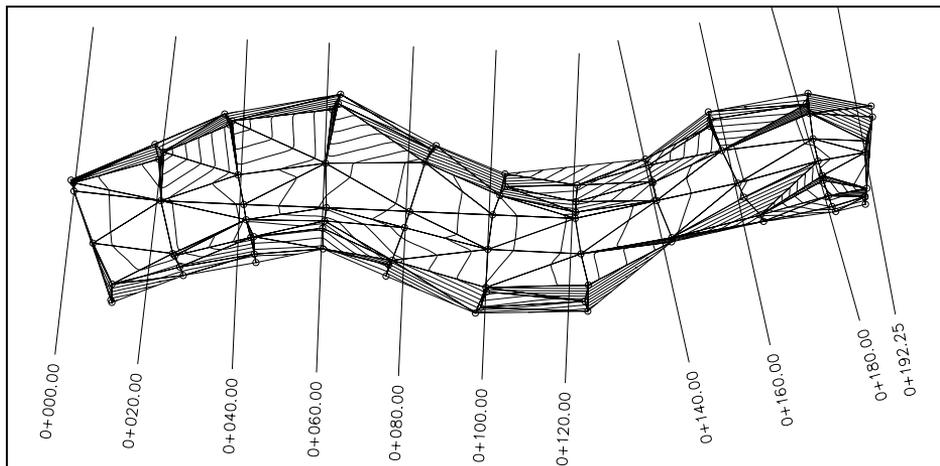


Figura 1.18 Dibujo en planta del levantamiento de un arroyo

En la figura 1.20 se muestra un ejemplo del levantamiento de una sección transversal de un cauce no natural, es decir que el arroyo pasa por secciones ya rectificadas o revestidas, o que el arroyo pasa por una calle, funcionando ésta como una calle canal en la época de lluvias.

Es recomendable dibujar a escala, en papel milimétrico las secciones transversales que sean levantadas (figura 1.21).

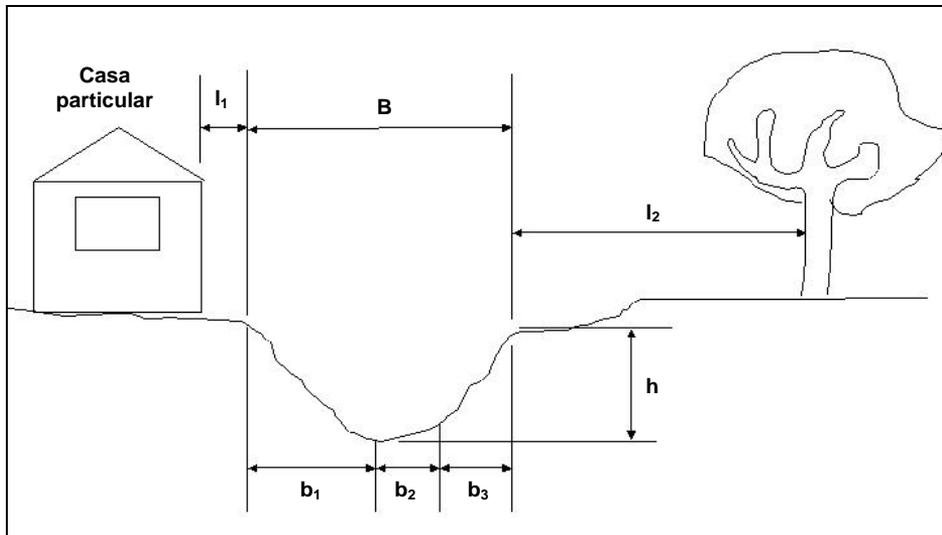


Figura 1.19 Levantamiento de una sección crítica para un cauce natural

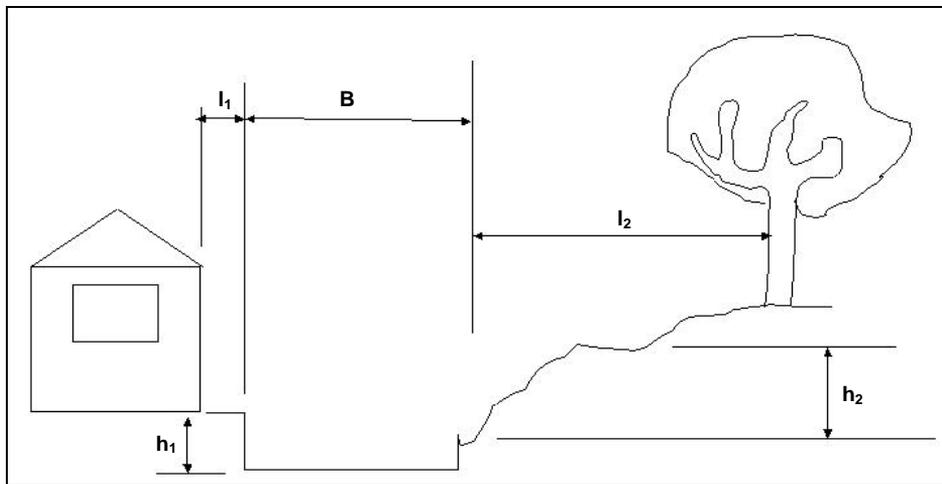


Figura 1.20 Levantamiento de una sección crítica para un cauce no natural

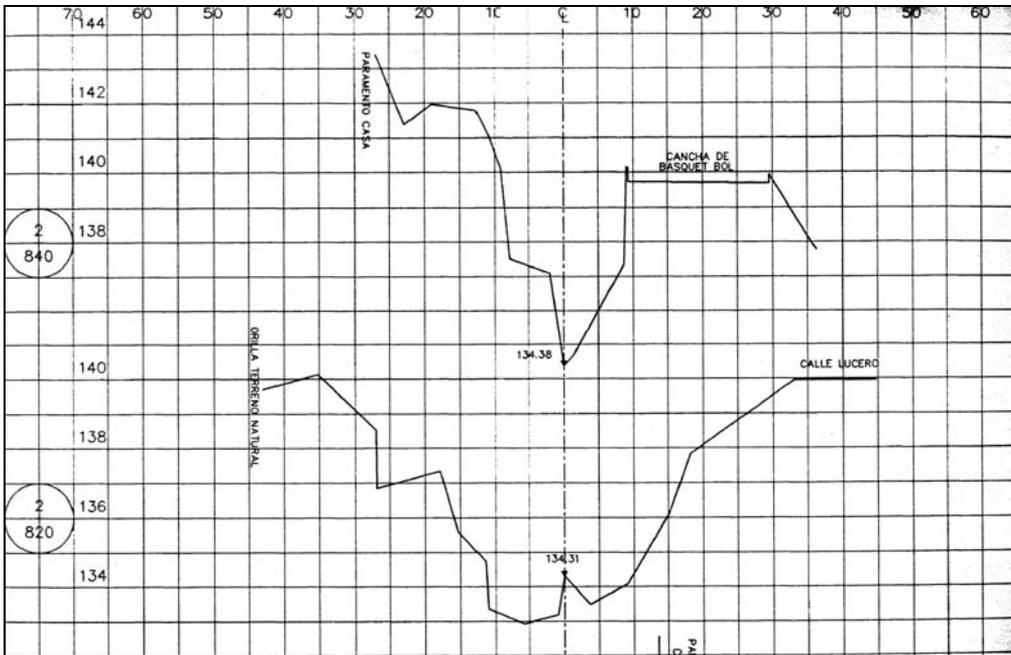


Figura 1.21 Dibujo de dos secciones transversales a escala

Para el ejemplo se considerará un levantamiento topográfico (figura 1.22) de 475 m de longitud del arroyo, con secciones transversales a cada 25 m, inmediatamente aguas abajo de la salida de la cuenca en estudio.

Determinación del área geométrica de las secciones transversales

El área de las secciones transversales que se necesita determinar será la que se encuentra entre el fondo de la sección y el nivel máximo que puede tener el tirante de agua sin que ésta se salga del cauce de la corriente de agua.

Para calcular el área de estas secciones se podrá utilizar un planímetro, un programa de cómputo o un método de cuantificación muy sencillo. Uno de estos métodos es circunscribir a estas secciones en figuras geométricas regulares como cuadrados, rectángulos o trapecios. Al tenerse figuras regulares será más sencillo calcular su área geométrica a través de fórmulas conocidas. En la tabla 1.11 se muestran las fórmulas que permiten calcular el área geométrica de las figuras más simples que se pueden utilizar.

En la figura 1.23 se muestra cómo una sección de un cauce natural puede ser circunscrita en un trapecio, con lo que su área geométrica se puede obtener fácilmente.

En la figura 1.24 se muestra cómo una sección de un cauce no natural puede ser circunscrita en un rectángulo. En algunos casos será necesario compensar el área de las secciones que quedan dentro y fuera de la figura geométrica regular.

Para otro tipo de secciones se pueden utilizar varias figuras geométricas regulares para determinar el área geométrica de éstas.

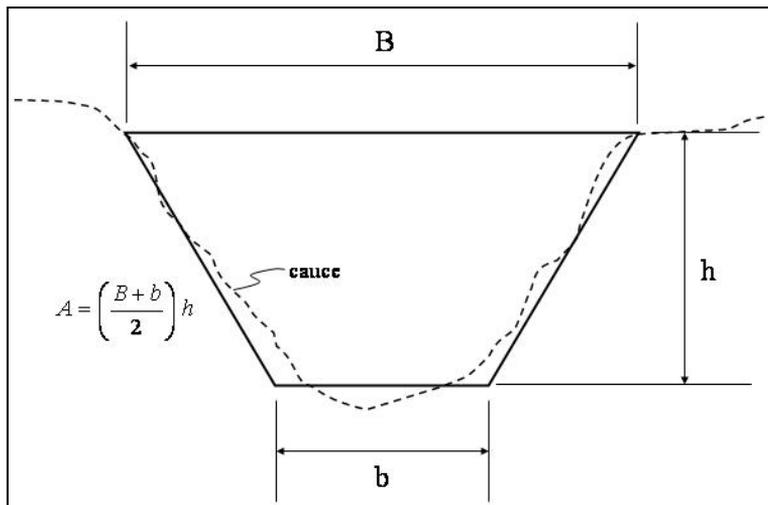


Figura 1.23 Sección transversal de un cauce natural circunscrita en un trapecio

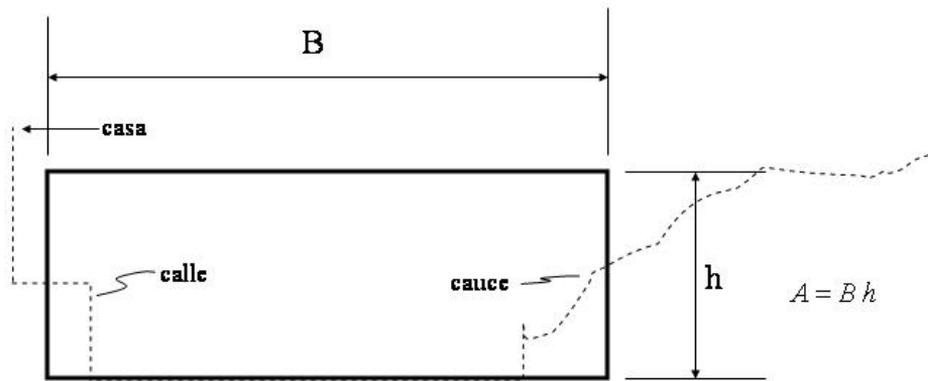
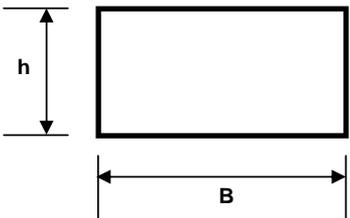
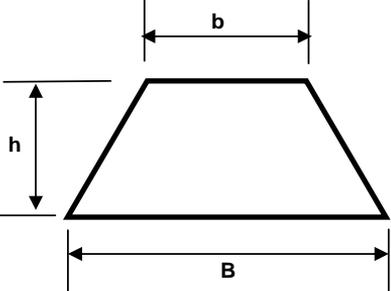
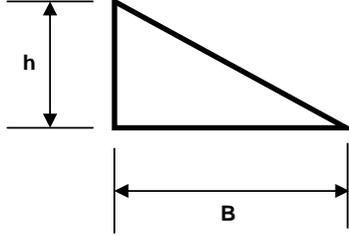


Figura 1.24 Sección transversal de un cauce no natural circunscrita en un rectángulo

Tabla 1.11 Figuras geométricas regulares

Figura	Área
 <p>A diagram of a rectangle with width labeled 'B' and height labeled 'h'.</p>	$A = B \cdot h$
 <p>A diagram of a trapezoid with bottom base labeled 'B', top base labeled 'b', and height labeled 'h'.</p>	$A = \frac{B + b}{2} \cdot h$
 <p>A diagram of a triangle with base labeled 'B' and height labeled 'h'.</p>	$A = \frac{B \cdot h}{2}$

Para determinar el área geométrica de las secciones transversales del ejemplo se utilizó AutoCad y con éste se obtuvo el cálculo del área geométrica de las secciones transversales. La tabla 1.12 muestra las áreas geométricas de las secciones obtenidas por este método y en la figura 1.25 se presentan algunas de las secciones transversales a cada 25 metros.

Tabla 1.12 Áreas geométricas

Sección	Área geométrica (m ²)	Sección	Área geométrica (m ²)
0+000.000	36.34	0+250.000	55.98
0+025.000	18.07	0+275.000	25.98
0+050.000	22.18	0+300.000	44.04
0+0750.00	24.16	0+325.000	110.5
0+100.000	29.39	0+350.000	56.44
0+125.000	12.88	0+375.000	29.31
0+150.000	29.35	0+400.000	32.31
0+175.000	23.6	0+425.000	30.78
0+200.000	23.52	0+450.000	15.65
0+225.000	15.31	0+475.000	47.43

1.2.11 Comparación entre el área hidráulica requerida y el área geométrica

Una forma de saber si una sección en particular tendrá problemas por desbordamiento, es comparando las áreas permisibles (áreas hidráulicas, A_h) y geométricas (A_G).

Si $A_G > A_h$ la sección no presenta problemas por desbordamiento.

Esto indica que existe más área geométrica o espacio para que pase sin problemas el flujo de agua.

Si $A_G < A_h$ la sección presenta problemas por desbordamiento.

Lo anterior indica que el área geométrica no es suficiente para contener el flujo de agua, por lo que se presentará un desbordamiento en la sección en estudio.

Esta comparación se debe de hacer para todas las secciones transversales del levantamiento topográfico del arroyo y para cada uno de los gastos totales asociados a lluvias con diferentes periodos de retorno (T_r). En la sección 1.4 sobre evaluación del riesgo se sugieren los periodos de retorno que deberán calcularse.

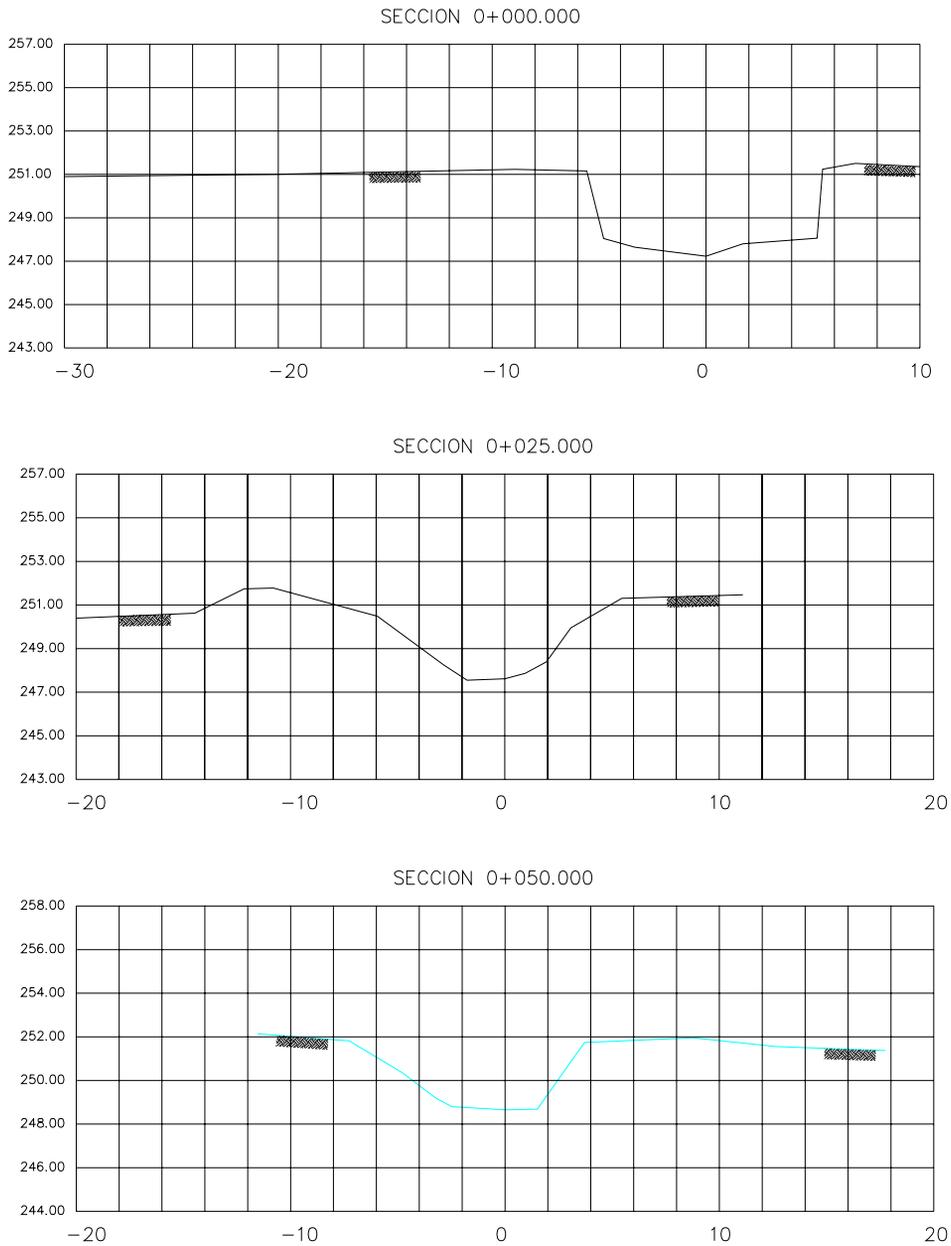


Figura 1.25 Secciones transversales del arroyo a cada 25.0 m

Para el ejemplo, el área hidráulica requerida de 45.62 m^2 se compara con el área geométrica de todas las secciones transversales del levantamiento topográfico. En la tabla 1.13 se muestra la diferencia que existe entre estas áreas y se determina la condición que se presenta en la sección correspondiente. En la columna de diferencia de áreas, el valor negativo se debe interpretar como el

área geométrica menor a la requerida por el gasto máximo y por lo tanto se presentará la condición de desbordamiento.

Tabla 1.13 Comparación entre las áreas geométricas y la hidráulica

Sección	Área geométrica (A_G)	Área hidráulica requerida (A_h)	Diferencia de áreas	Condición
0+000.000	36.34	45.62	-9.28	Desborda
0+025.000	18.07	45.62	-27.55	Desborda
0+050.000	22.18	45.62	-23.44	Desborda
0+0750.000	24.16	45.62	-21.46	Desborda
0+100.000	29.39	45.62	-16.23	Desborda
0+125.000	12.88	45.62	-32.74	Desborda
0+150.000	29.35	45.62	-16.27	Desborda
0+175.000	23.6	45.62	-22.02	Desborda
0+200.000	23.52	45.62	-22.1	Desborda
0+225.000	15.31	45.62	-30.31	Desborda
0+250.000	10.04	45.62	-35.58	Desborda
0+275.000	25.98	45.62	-19.64	Desborda
0+300.000	44.04	45.62	-1.58	Desborda
0+325.000	110.5	45.62	64.88	no desborda
0+350.000	56.44	45.62	10.82	no desborda
0+375.000	29.31	45.62	-16.31	Desborda
0+400.000	32.31	45.62	-13.31	Desborda
0+425.000	30.78	45.62	-14.84	Desborda
0+450.000	15.65	45.62	-29.97	Desborda
0+475.000	47.43	45.62	1.81	no desborda

1.2.12 Determinación de las zonas inundables

Las zonas inundables se presentarán cuando $A_G < A_h$ y se identificarán sobre el levantamiento topográfico mediante el dibujo en planta de éste, dibujando hasta donde llega el nivel máximo del agua (traza) que requiere cada uno de los gastos máximos asociado a su correspondiente periodo de retorno.

Para determinar el nivel de la traza del agua para el caso donde $A_G < A_h$ será necesario identificar mediante tanteos el tirante de agua, es decir, proponiendo tirantes superiores (T_2) al que permita el área geométrica (T_1), y calculando el área de la nueva sección, hasta igualar dicho valor con el del área hidráulica requerida (figura 1.26). Hay que recordar que estos casos representan desbordamientos, por lo que su determinación permitirá posteriormente evaluar el riesgo en que se encuentren las viviendas cercanas.

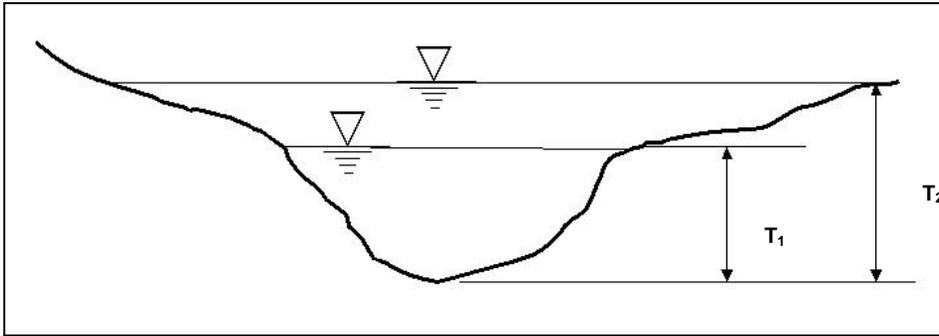


Figura 1.26 Si $A_G < A_h$ se presenta la inundación

De esta forma será posible obtener un mapa de peligro como el que se muestra en la figura 1.27.

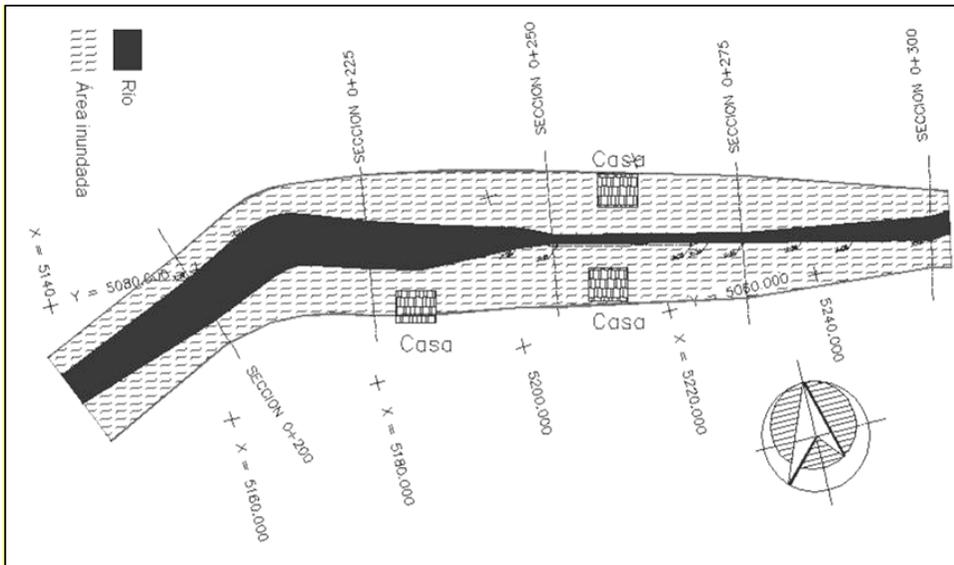


Figura 1.27 Mapa de peligro por inundaciones para un periodo de retorno de cinco años

1.3 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA

La guía para la identificación de vulnerabilidad por inundación en el medio rural, permite estimar el grado de vulnerabilidad a partir de la ubicación de las casas y propiedades de los habitantes respecto a la cercanía del arroyo y de las características de las viviendas. Se requerirán planos a escala 1:20,000 o de mayor resolución y la aplicación de una encuesta para determinar las áreas vulnerables por las inundaciones.

La medición de la vulnerabilidad por inundaciones que se manejará a lo largo de este texto se refiere solamente a los bienes que tiene la población dentro de sus viviendas, conocida como “menaje” o “enseres”, por lo que se considera que las inundaciones ocurren lentamente, es decir, hay tiempo suficiente para que las personas puedan desalojar sus viviendas de modo tal que sus vidas no sufran peligro.

1.3.1 Tipología de la vivienda

El conocimiento de los materiales de construcción es importante para cuantificar la vulnerabilidad de una vivienda. A continuación se enlistarán los diferentes tipos de materiales que son utilizados en el país.

Material en muros y techo

Los materiales más usados en los muros de la vivienda en nuestro país, son los que se muestran en la tabla 1.14.

Tabla 1.14 Material en muros de viviendas

Tipo	Descripción
M1	Cartón o plástico
M2	Piedra
M3	Láminas de cartón
M4	Bahareque
M5	Adobe sin repellado
M6	Madera
M7	Adobe con repellado
M8	Tabique de barro o concreto sin elementos de concreto
M9	Tabique de barro o concreto con elementos de concreto

De igual forma, a continuación se presenta un listado de los materiales más usados en los techos de las casas en México. Tabla 1.15.

Tabla 1.15 Material en techos de viviendas

Tipo	Descripción
T1	Cartón o plástico
T2	Lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
T3	Palma
T4	Teja
T5	Losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
T6	Losa de concreto ligada

En general, un gran porcentaje de la vivienda en nuestro medio es el resultado de alguna de las combinaciones entre las tablas 1.14 y 1.15; sin embargo, no se descarta la posibilidad de encontrar otros materiales, por lo que deberán especificarse y posteriormente evaluarse para finalmente definir su correspondiente vulnerabilidad.

La descripción de cada combinación se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 1.16 Combinaciones para un tipo de vivienda, según el material usado en techo y muros

Combinación	Combinaciones entre tipo de material para techo y muros	Combinación	Combinaciones entre tipo de material para techo y muros
1	Vivienda con muros de cartón o plástico y techo de cartón o plástico	13	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de palma
2	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)	14	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de teja
3	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de palma	15	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
4	Vivienda con muros de láminas de cartón y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)	16	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
5	Vivienda con muros de bahareque y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)	17	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de palma
6	Vivienda con muros de bahareque y techo de palma	18	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de teja
7	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)	19	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
8	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de palma	20	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
9	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de teja	21	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de palma
10	Vivienda con muros de madera y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)	22	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de teja
11	Vivienda con muros de madera y techo de palma	23	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
12	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)	24	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto ligada

Índice de vulnerabilidad

Las viviendas podrán clasificarse en cinco niveles de acuerdo con el material y tipo de construcción, para poder inferir su capacidad de respuesta ante una inundación (tabla 1.17). El tipo de vivienda, que tiene valores de I a V, puede verse en la tabla 1.18.

Tabla 1.17 Índice de vulnerabilidad según el tipo de vivienda

Tipo	Índice de vulnerabilidad	Color propuesto
I	Alto	Rojo
II	Medio - alto	Naranja
III	Medio	Amarillo
IV	Medio – bajo	Verde
V	Bajo	Blanco

Tabla 1.18 Clasificación del tipo de vivienda según el material usado en techo y muros

Número de combinación	Tipo de vivienda	Combinaciones entre tipo de material para techo y muros
1	I	Vivienda con muros de cartón o plástico y techo de cartón o plástico
2	II	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
3	III	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de palma
4	I	Vivienda con muros de láminas de cartón y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
5	II	Vivienda con muros de bahareque y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
6	III	Vivienda con muros de bahareque y techo de palma
7	II	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
8	III	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de palma
9	III	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de teja
10	IV	Vivienda con muros de madera y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
11	IV	Vivienda con muros de madera y techo de palma
12	IV	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
13	IV	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de palma
14	IV	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de teja
15	V	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
16	IV	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
17	IV	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de palma
18	IV	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de teja
19	V	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
20	IV	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
21	IV	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de palma
22	IV	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de teja
23	V	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
24	V	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto ligada

1.3.2 Funciones de vulnerabilidad para el menaje de casa

Para estimar las funciones de vulnerabilidad para cada tipo de vivienda se propone una serie de configuraciones de muebles y enseres menores; posteriormente se lleva a cabo una cuantificación del porcentaje de los daños ocasionados en cada caso, en función del nivel que alcance el agua que entra en la casa.

Vivienda tipo I

Este tipo corresponde a los hogares más humildes, una vivienda consta de un solo cuarto multifuncional, construido con material de desecho. Asimismo, el menaje es el mínimo indispensable.

En la figura 1.28 se muestra un ejemplo del menaje que se ha considerado para elaborar la función de vulnerabilidad de una vivienda tipo I.

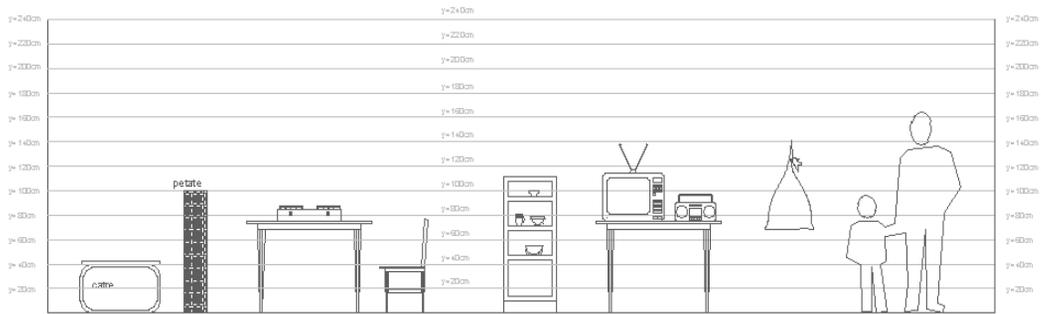


Figura 1.28 Menaje para la vivienda tipo I (una sola planta)

Para la vivienda tipo I, se cuantificó un menaje con un costo aproximado de \$12,500.00.

Vivienda tipo II

El segundo tipo corresponde a hogares que pueden ser clasificados como de clase baja, donde la vivienda puede ser descrita como una vivienda de autoconstrucción o viviendas construidas con materiales de la zona, la mayoría de las veces sin elementos estructurales. Con respecto al menaje, la hipótesis es que las diferentes habitaciones cuentan con sus muebles propios y están más o menos definidas.

En la figura 1.29 se observa un ejemplo del menaje que se ha considerado para elaborar la función de vulnerabilidad de una vivienda tipo II.

Para la vivienda tipo II, se cuantificó un menaje con un costo cercano a los \$50,000.00.

Vivienda tipo III

El tercer tipo de viviendas también puede ser clasificado como clase - baja, similar al tipo II, pero con techos más resistentes, construida la mayoría de las veces sin elementos estructurales.

El menaje corresponde al necesario para las diferentes habitaciones, como en el anterior nivel; sin embargo, se consideran de mayor calidad y por lo tanto un mayor costo.

En la figura 1.30 se presenta el menaje que ha sido considerado para el ejemplo que sirve como base para elaborar la función de vulnerabilidad de una vivienda tipo III.

Para la vivienda tipo III, se cuantificó un menaje con un costo aproximadamente \$150,500.00.

Vivienda tipo IV

El cuarto tipo de viviendas se identifica como la típica para la clase media, es decir, que puede ser equiparada con una vivienda de interés social, construida la mayoría de las veces con elementos estructurales. El menaje que se ha seleccionado corresponde con el de una casa típica de una familia de profesionistas que ejercen su carrera y viven sin complicaciones económicas.

En la figura 1.31 se muestra un ejemplo del menaje que se ha considerado para elaborar la función de vulnerabilidad de una vivienda tipo IV.

Para la vivienda tipo IV, se cuantificó un menaje con un costo del orden de los \$300,000.00.

Vivienda tipo V

Finalmente, el último sector de viviendas, corresponde al tipo residencial, construida con acabados y elementos decorativos que incrementan sustancialmente su valor. El menaje está formado por artículos de buena calidad y con muchos elementos de comodidad.

En la figura 1.32 se presenta un ejemplo del menaje que se ha considerado para elaborar la función de vulnerabilidad de una vivienda tipo V.

Para la vivienda tipo V, se cuantificó un menaje con un costo del orden de los \$450,000.00.

Adicionalmente se presenta la función de vulnerabilidad correspondiente a cada caso, según sea el tipo de vivienda al que se haga referencia (figuras 1.33 a 1.37).

Para cada caso se presenta sobre el eje de las abscisas (x) el nivel alcanzado por el agua (tirante), en metros, mientras que en el eje de las ordenadas (y) el valor corresponde al porcentaje de daños esperados en la vivienda.

En la figura 1.33 se muestra claramente que el rango donde ocurre la mayoría de las pérdidas, para la vivienda tipo I, está entre los 0.60 m y los 1.20 m.

En la figura 1.34, correspondiente al tipo de vivienda II, se observa que la mayor pérdida de los bienes ocurre cuando el tirante de agua en la inundación alcanza de 0.60 m a 1.00 m.

Para el caso de la vivienda tipo III, el rango que provoca las mayores pérdidas está comprendido de los 0.40 m a 1.00 m.

De acuerdo con la clasificación aceptada en el presente estudio, al hablar de viviendas tipo IV y V, se hace referencia a aquellas con dos o más niveles, por lo que en la figuras 1.36 y 1.37 se observa que la función de vulnerabilidad es casi horizontal de los 0.80 m a los 2.50. Lo anterior se debe a que más allá del primer metro de inundación, el porcentaje de pérdida en estas viviendas es mínimo, hasta que alcanza el segundo piso de la misma y nuevamente vuelve a incrementarse.

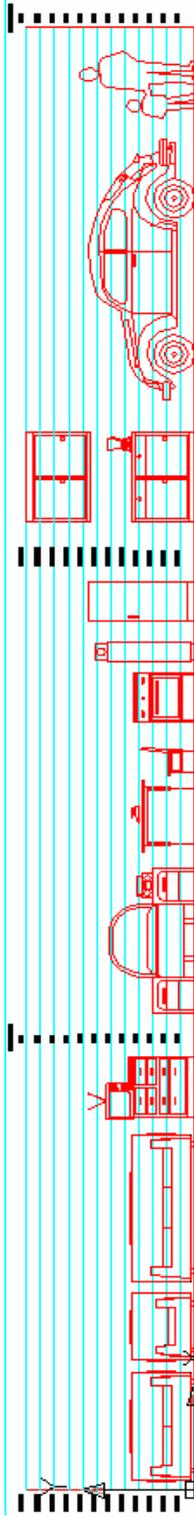


Figura 1.29 Menaje para la vivienda tipo II (una sola planta)

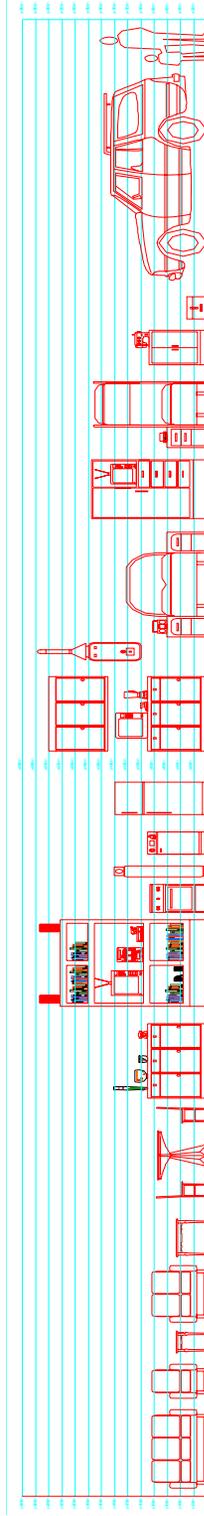


Figura 1.30 Menaje para la vivienda tipo III (una sola planta)

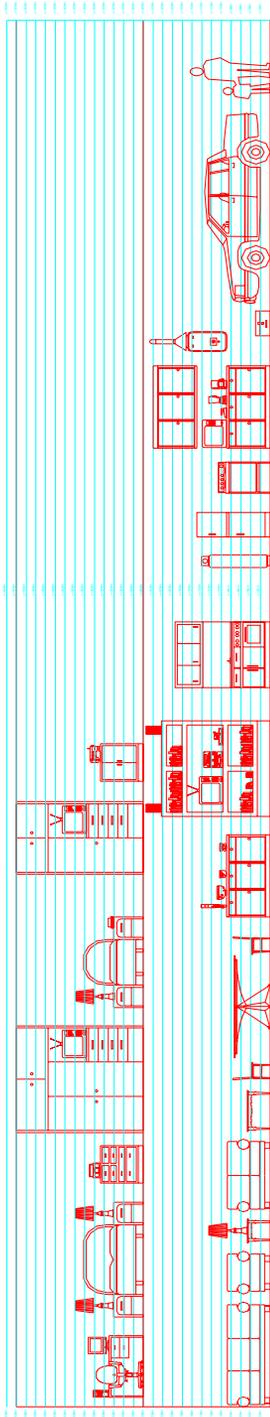


Figura 1.31 Menaje para la vivienda tipo IV (dos plantas)

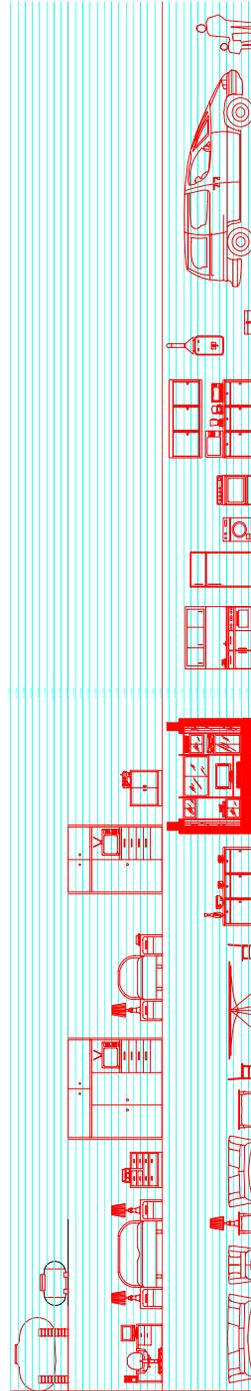


Figura 1.32 Menaje para la vivienda tipo V (dos plantas)

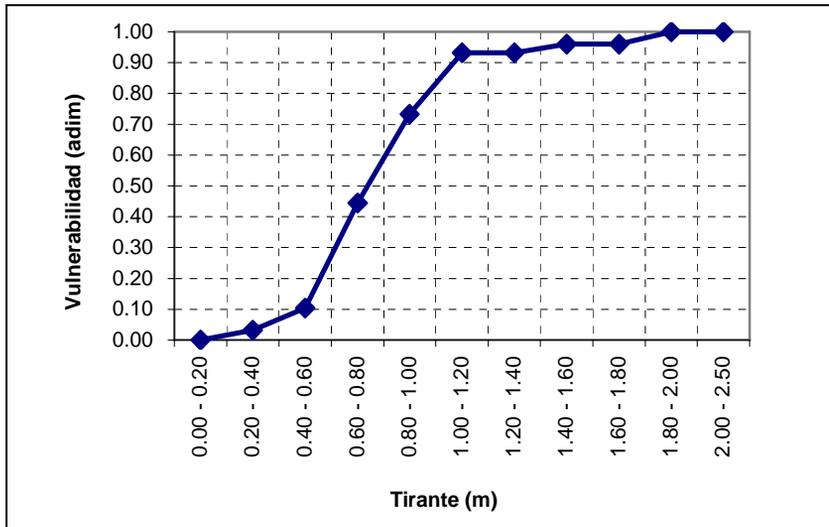


Figura 1.33 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo I

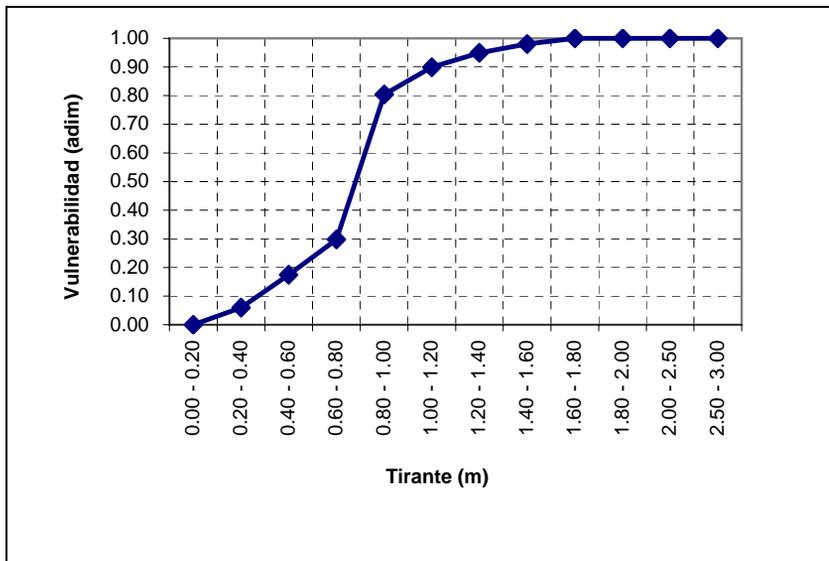


Figura 1.34 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo II

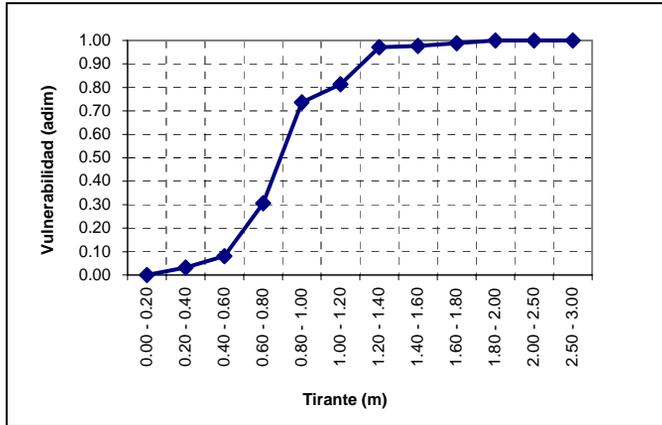


Figura 1.35 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo III

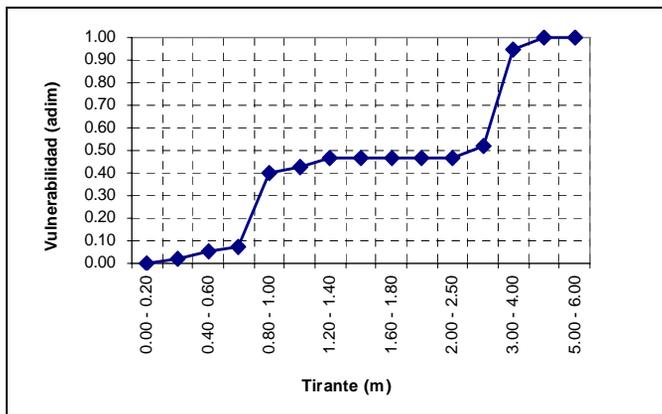


Figura 1.36 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo IV

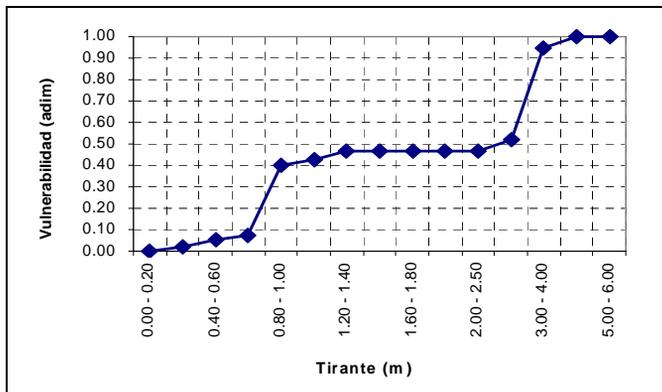


Figura 1.37 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo V

Identificación de la vulnerabilidad

Esta primera parte consiste en identificar cuáles son las viviendas más vulnerables de una población, clasificarlas y mostrar su ubicación.

Primero es necesario contar con el plano de la localidad, tal como se indicó en los apartados anteriores.

Para llevar un registro de toda la información que se estará manejando, se sugiere utilizar una tabla como la siguiente.

Tabla 1.19 Concentrado de la información para la elaboración de mapas de riesgo por inundación. Identificación de las viviendas

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12
No.	Material		Nivel de desplante del terreno	Tipo	Vulnerabilidad	Escenario Tr = 5 años			Escenario Tr = X años			
	muros	techo				Nivel agua (m)	Tirante (m)	Daños (%)	Nivel agua (m)	Tirante (m)	Daños (%)	
1			257.5									
2			265.8									
3			260.7									
4			258.7									
5			260.9									
8			260.9									
14			259.9									
15			259.8									
20			263.35									
21			259.9									
22			261.2									
25			264.7									
29			266.0									
30			261.1									
34			266.9									
35			262.6									
40			264.6									
41			266.7									
45			265.8									
46			268.5									

Todas las casas de la localidad

Se analizan tantos escenarios como se desee

Tr: Periodo de retorno

Escenarios que se desean analizar

Un detalle muy importante es que cada casa cuente con el nivel del terreno al que está desplantada, ya que este dato será una parte fundamental para estimar las pérdidas por inundación.

En este punto únicamente se identifica cada una de las viviendas, por lo que se llenan sólo las columnas 1 y 4.

Así, el mapa inicial que puede elaborarse es uno similar al que se muestra en la figura 1.38.

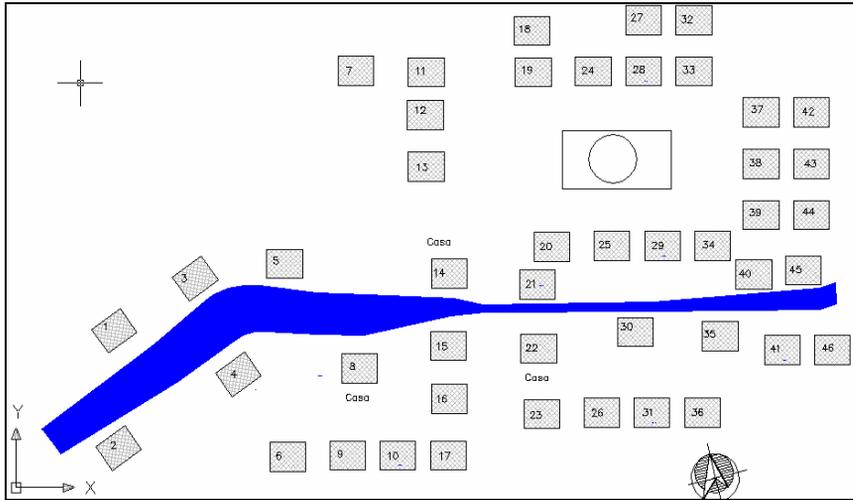


Figura 1.38 Planimetría de la localidad (columna 1 de la tabla 1.19)

Si consideramos el material de construcción usado en las paredes de la vivienda, así como el utilizado en el techo, y de acuerdo con lo expuesto en esta guía, las viviendas pueden ser clasificadas de acuerdo con los cinco tipos previamente definidos (tabla 1.17). Para ello, es necesario un levantamiento en campo, con el que se identifique al material utilizado en la construcción de cada casa.

Las columnas que se llenarán con los datos de campo serán la 2 y la 3. Después de analizar la información se llenan las columnas 5 y 6.

Tabla 1.20 Concentrado de la información para la elaboración de mapas de riesgo por inundación. Vulnerabilidad de la vivienda

1	2		3	4	5	6	7			8		
	Material						Nivel de desplante del terreno	Tipo	Vulnerabilidad	Escenario Tr = 5 años		
No.	muros	techo					Nivel agua (m)	Tirante (m)	Daños (%)	Nivel agua (m)	Tirante (m)	Daños (%)
1	Adobe	Teja	257.5	III	Media							
2	Adobe	Teja	265.8	III	Media							
3	Cartón	Cartón	260.7	I	Muy Alta							
4	Piedra	Lámina	258.7	II	Alta							
5	Cartón	Cartón	260.9	I	Muy Alta							
8	Piedra	Lámina	260.9	II	Alta							
14	Cartón	Cartón	259.9	I	Muy Alta							
15	Cartón	Cartón	259.8	I	Muy Alta							
20	Adobe	Lámina	263.35	II	Alta							
21	Lámina	Lámina	259.9	I	Muy Alta							
22	Lámina	Lámina	261.2	I	Muy Alta							
25	Adobe	Lámina	264.7	II	Alta							
29	Adobe	Lámina	266.0	II	Alta							
30	Lámina	Lámina	261.1	I	Muy Alta							
34	Adobe	Teja	266.9	III	Media							
35	Lámina	Lámina	262.6	I	Muy Alta							
40	Lámina	Lámina	264.6	I	Muy Alta							
41	Piedra	Lámina	266.7	II	Alta							
45	Lámina	Lámina	265.8	I	Muy Alta							
46	Piedra	Lámina	268.5	II	Alta							

Se analizan tantos escenarios como se desee

Hasta este momento se puede elaborar un mapa como el que se muestra en la figura siguiente:

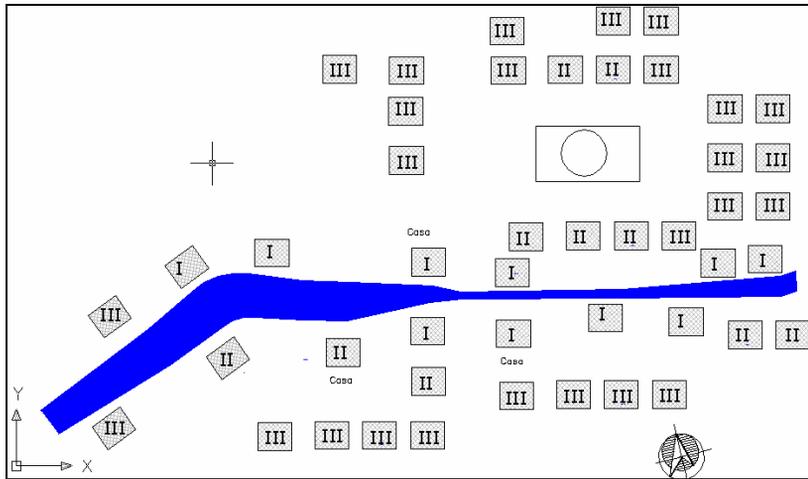


Figura 1.39 Tipificación de la vivienda en la localidad (columna 5 de la tabla 1.20)

Elaboración del mapa de vulnerabilidad de la localidad

Al llegar a esta etapa, cada casa deberá estar asociada con la clasificación de vivienda. Por lo que, tomando como base la variable “tipo”, es posible hacer un mapa de vulnerabilidad.

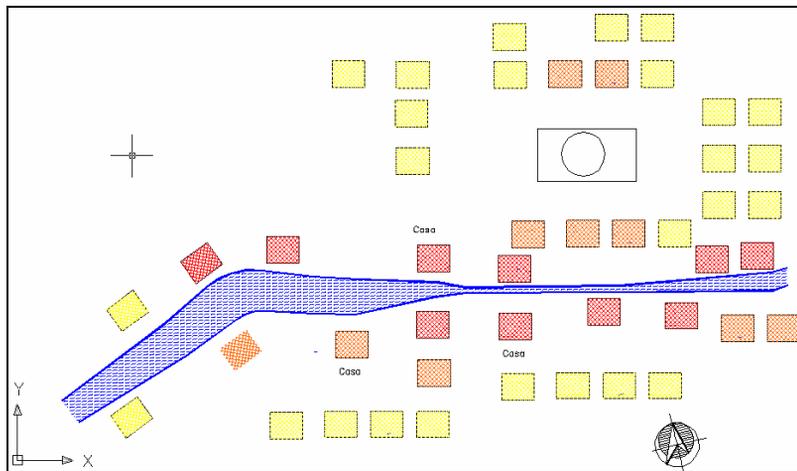


Figura 1.40 Mapa de vulnerabilidad (columna 6 de la tabla 1.20)

Este mapa muestra dónde están ubicadas las viviendas más vulnerables y dónde las más resistentes, incluso se puede observar la distribución del tipo de vivienda y si ésta sigue algún patrón determinado.

Es importante recordar que el mapa mostrado en la figura 1.40 está asociado al tipo de vivienda y su vulnerabilidad, es decir, el porcentaje de pérdidas que se tendrían para los diferentes niveles de agua que pueden presentarse en las casas de la localidad.

1.4 EVALUACIÓN DEL RIESGO

La elaboración de los mapas de riesgo por inundación en el medio rural se hará con ayuda de los mapas de peligro y de vulnerabilidad, dado que con la combinación de estas variables se determina el riesgo.

El riesgo en general está dado por la expresión:

$$R = C V P$$

Donde:

- C es el valor de los bienes expuestos
 V es la vulnerabilidad o el porcentaje de daños de una vivienda por efecto de una inundación
 P es el peligro o la probabilidad de que ocurra un hecho potencialmente dañino

Como se puede ver, tanto la vulnerabilidad como el peligro son adimensionales, por lo que las unidades del riesgo serán las del valor de los bienes expuestos, que generalmente están dadas en unidades monetarias, en nuestro caso pesos.

El riesgo R puede expresarse de varias maneras:

- a) Para un escenario en particular, por ejemplo, para un cierto periodo de retorno. Si el periodo de retorno es de 100 años, el riesgo estará dado por la expresión

$$R = C V_{T100} P_{100}$$

donde:

- V_{T100} es la vulnerabilidad asociada con un tirante o profundidad de inundación con un periodo de retorno de 100 años
 P_{100} es la probabilidad de que se alcance un tirante o profundidad de inundación asociado a un periodo de retorno de 100 años

- b) Como una estimación del valor esperado de los daños o pérdidas anuales.

En este caso se estima un valor esperado de los daños de los bienes expuestos que se tiene año con año, mediante la sumatoria del producto de las funciones de vulnerabilidad, peligro y el valor de los bienes expuestos de cada vivienda.

En esta metodología se propone el uso de 10 periodos de retorno por analizar, los cuales se muestran en la siguiente tabla junto con su correspondiente función de peligro (ver anexo 2 de este capítulo).

Cada uno de los periodos de retorno tendrá, como se indicó antes, una correspondiente área de inundación, por lo que entonces se podrá estimar para cada vivienda un tirante o altura de inundación, con el cual se estimará también la vulnerabilidad de dicha vivienda. Por ejemplo, en la siguiente figura se observa la función de peligro para una vivienda en particular, la cual se obtiene del análisis de peligro visto anteriormente, en donde para un periodo de retorno específico se estima el tirante de agua que puede afectar a cada una de las viviendas. En ella se observa que es más probable tener tirantes pequeños que tirantes grandes, es decir, los encharcamientos son más frecuentes que las inundaciones mayores.

Tabla 1.21: Función de peligro $P(i)$

Intensidad i	$Tr(i)$	$P(i)$
1	2	0.60
2	5	0.20
3	10	0.12
4	25	0.04
5	50	0.02
6	100	0.012
7	250	0.004
8	500	0.002
9	1000	0.001
10	2000	0.0006

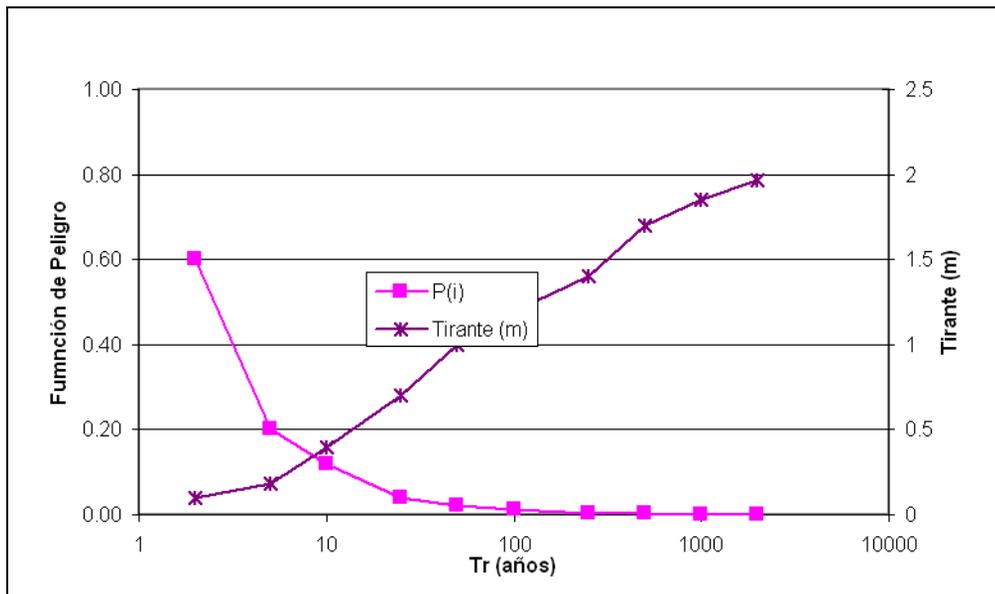


Figura 1.41 Función de peligro y riesgo

De esta manera se puede calcular el riesgo con la siguiente expresión.

$$R_j = \sum_{i=1}^m C_j P(i) \cdot V_i(Y_i)$$

Donde el subíndice i se refiere a cada uno de los niveles de peligro, o periodo de retorno analizados, y j se refiere a cada una de las viviendas. $P(i)$ y $V_i(Y_i)$ son las funciones de peligro y vulnerabilidad, respectivamente, las cuales se obtienen de los subcapítulos anteriores. Si se consideran los rangos de peligro de la figura 1.41 entonces m será igual a 10 y las funciones de peligro y la de vulnerabilidad estarán dadas por la tabla 1.22.

Tabla 1.22 Función de peligro y vulnerabilidad con 10 niveles de peligro

i	Tirante promedio	Tr	Probabilidad	Vulnerabilidad	Probabilidad X Vulnerabilidad
1	0.1	2	0.60	0.04	0.024
2	0.18	5	0.20	0.24	0.048
3	0.4	10	0.12	0.32	0.038
4	0.7	25	0.04	0.44	0.018
5	1	50	0.02	0.53	0.011
6	1.2	100	0.012	0.74	0.009
7	1.4	250	0.004	0.81	0.003
8	1.7	500	0.002	0.94	0.002
9	1.85	1000	0.001	0.98	0.001
10	1.97	2000	0.001	1	0.001
Suma:					0.155

y el valor del riesgo, para una vivienda en particular será

$$R_j = \sum_{i=1}^{10} C_j P(i) \cdot V_j(Y_i) = C_j \times 0.155$$

Si se quisiera estimar el riesgo para toda una localidad, entonces se procede a sumar los valores de riesgo para todas las viviendas:

$$R_{localidad} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_j P(i) \cdot V_j(Y_i)$$

donde el subíndice *n* se refiere al número total de viviendas en la localidad.

Hay que hacer notar que en ambas expresiones la vulnerabilidad depende del tirante *Y_i* y el peligro *P(i)* determina un valor de *Y_i*, por lo que se dice que el tirante es el parámetro que se ha seleccionado para determinar el riesgo por inundaciones.

Eventualmente será mejor expresar los resultados en un mapa, por lo que se puede calcular un índice de riesgo para cada vivienda de la manera siguiente:

$$I_{R_j} = \frac{R_j}{C_{MAX}}$$

donde:

C_{MAX} es el valor del bien expuesto más alto dentro de la localidad

$$I_{R_j} \text{ será Alto si } 0.67 < I_{R_j} < 1.0,$$

$$I_{R_j} \text{ será Medio si } 0.33 < I_{R_j} < 0.67$$

$$I_{R_j} \text{ será Bajo si } 0 < I_{R_j} < 0.33$$

De hecho se puede asociar un color a cada valor del índice de riesgo, por ejemplo rojo para alto, amarillo para medio y verde para bajo. Hay que recordar que los valores son relativos dentro de la misma localidad. Una vez hechos los cálculos se puede regresar a la traza urbana y pintar cada vivienda con el color correspondiente según su índice de riesgo, peligro o vulnerabilidad (figuras 1.42a, 1.42b y 1.42c).

El mapa de riesgo por inundación permite establecer zonas críticas que requieran de dos medidas de mitigación:

- a) Una medida de tipo estructural, como puede ser una reubicación o una obra de protección, o bien
- b) Un monitoreo durante eventos de lluvias potencialmente extremas, es decir, que rebasen umbrales previamente fijados, mediante un sistema de alerta que permita a la población, asentada en estas zonas, ser evacuadas y resguardar algunos de sus bienes.

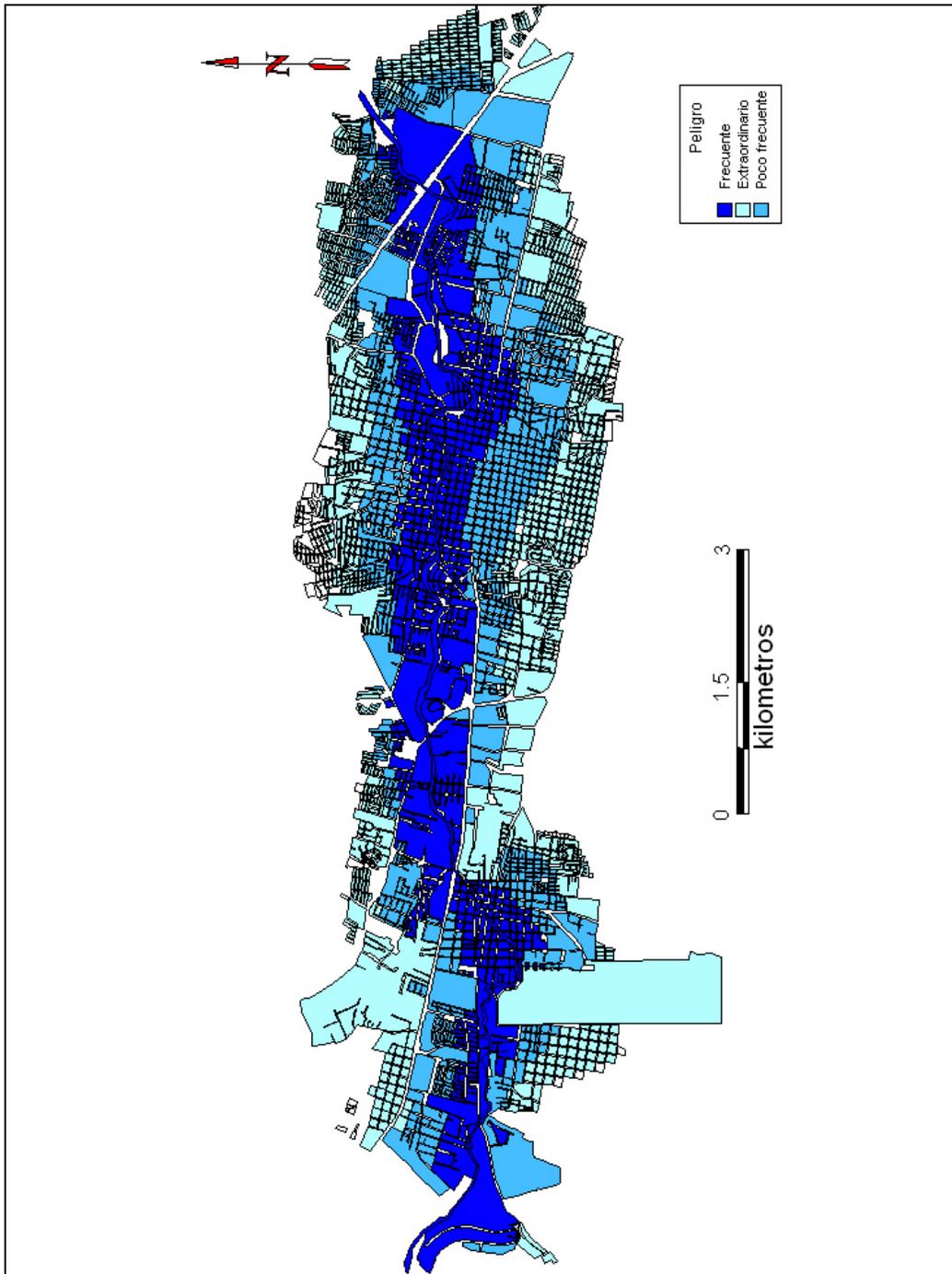


Figura 1.42a Mapa de peligro por inundaciones en una cierta localidad

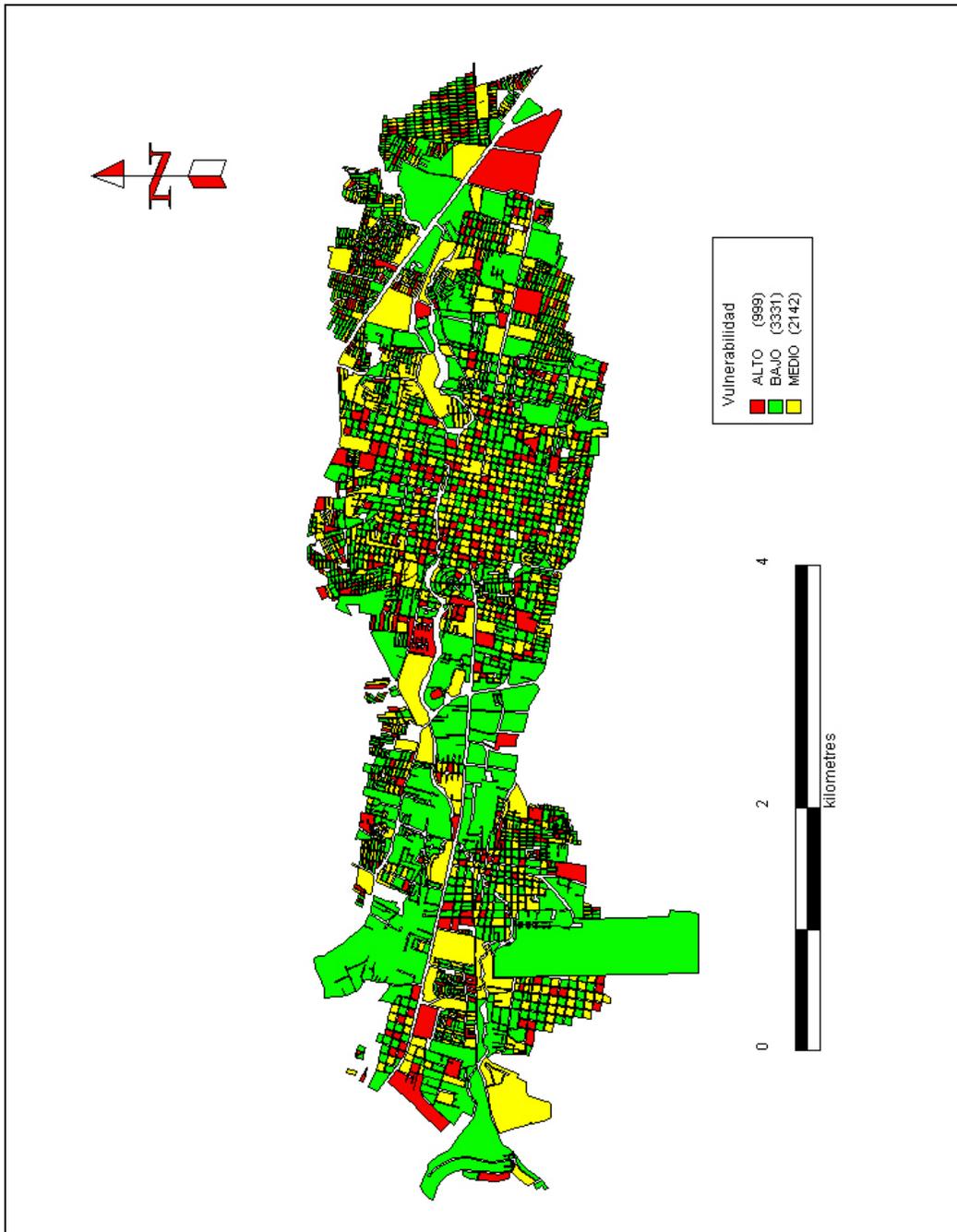


Figura 1.42b Mapa de vulnerabilidad por inundaciones en una cierta localidad

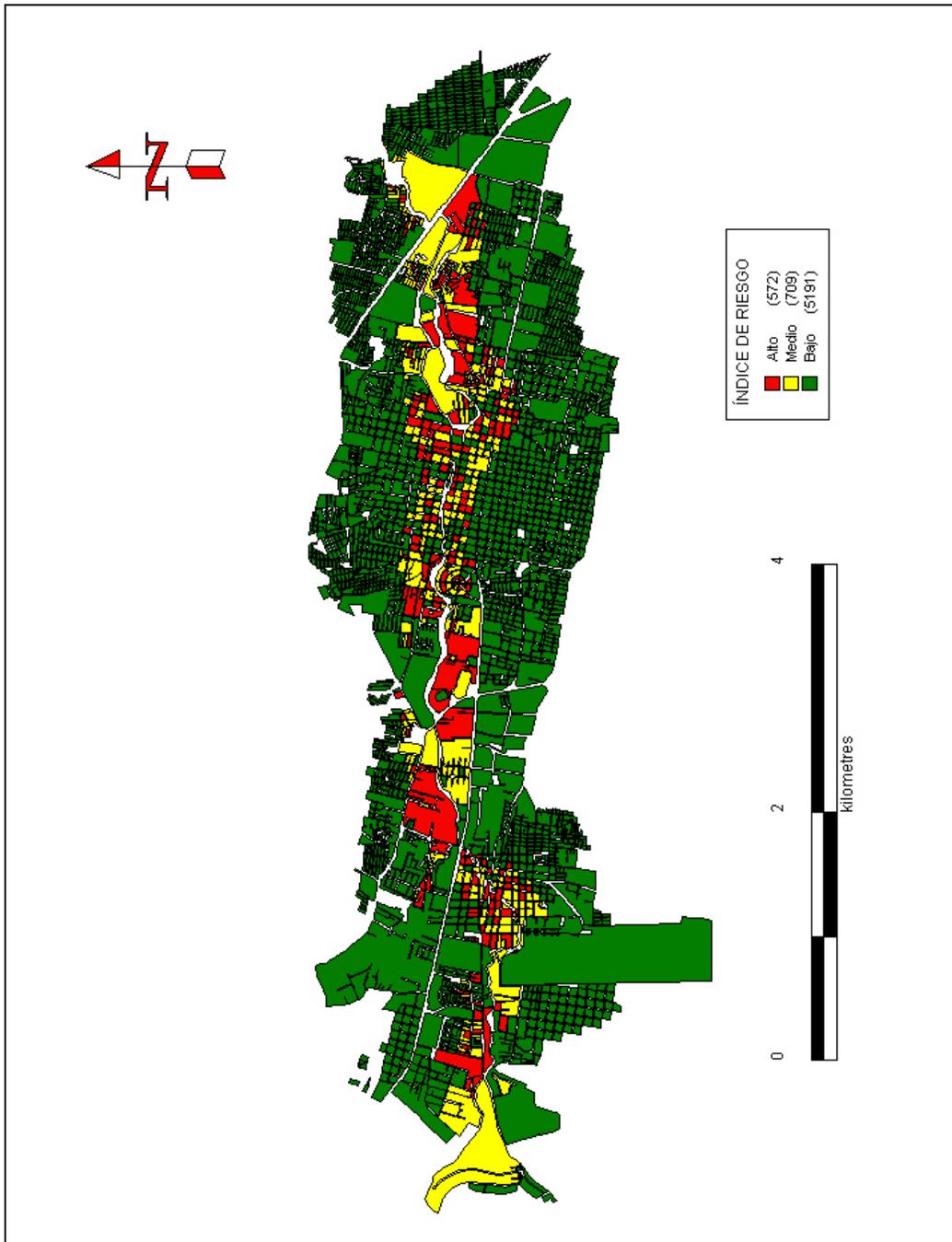


Figura 1.42c Mapa de índice de riesgo por inundaciones en una cierta localidad

Identificación del riesgo por inundación

En esta última parte se pretende estimar el riesgo por inundación de la población que se está analizando.

Dado que el riesgo depende del peligro y de la vulnerabilidad, se deben seleccionar:

1. El escenario para el que se desea elaborar el mapa de riesgo de inundaciones.

Para la identificación de peligro, se trabajó con un periodo de retorno de 5 años, por lo que se continuará con ese caso (figura 1.27).

2. El mapa de vulnerabilidad de la localidad en estudio.

Para este caso se toma el mapa de vulnerabilidad (figura 1.40).

Para identificar cuáles son las casas que presentan problemas de inundación, para el escenario analizado, es necesario superponer ambos mapas (el de peligro y el de vulnerabilidad), como se muestra en la figura 1.43.

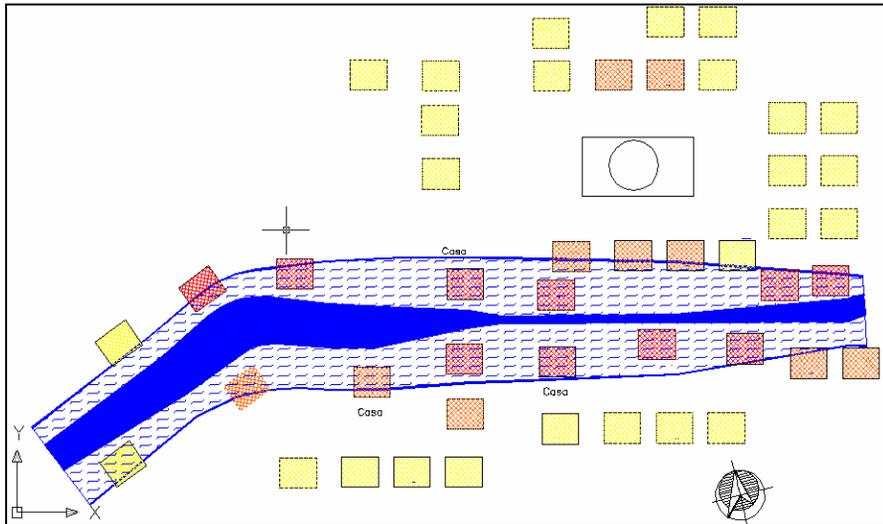


Figura 1.43 Superposición de mapas de peligro y de vulnerabilidad

En la figura anterior, se observa claramente hasta dónde llega el agua desbordada del río y cuáles son las viviendas afectadas por una inundación con periodo de retorno de cinco años.

En la tabla 1.23 se puede ver el cálculo para la obtención del tirante de agua. Con base en el nivel al que están desplantadas las viviendas (columna 4) y, posteriormente, en el nivel alcanzado por el agua (columna 7, 10, etc), calcular la profundidad del agua que entró en cada casa (columna 8, 11, etc.).

Tabla 1.23 Concentrado de la información para la elaboración de mapas de riesgo por inundación. Cuantificación del nivel del agua en las viviendas

1 No.	3 Material		4 Nivel de desplante	5 Tipo	6 Vulnerabilidad	7 Escenario Tr = 5 años			10 Escenario Tr = X años		
	2 Muros	techo				Nivel agua (m)	8 Tirante (m)	9 Daños (%)	Nivel agua (m)	Tirante (m)	11 Daños (%)
1	Adobe	Teja	256.30	III	Media	257.00	0.70		Se analizan tantos escenarios como se desee		
2	Adobe	Teja	266.30	III	Media	267.30	1.00				
3	Cartón	Cartón	259.20	I	Muy Alta	260.50	1.30				
4	Piedra	Lámina	258.90	II	Alta	259.70	0.80				
5	Cartón	Cartón	260.50	I	Muy Alta	261.50	1.00				
8	Piedra	Lámina	260.85	II	Alta	261.70	0.85				
14	Cartón	Cartón	261.25	I	Muy Alta	262.00	0.75				
15	Cartón	Cartón	261.30	I	Muy Alta	262.20	0.90				
20	Adobe	Lámina	262.70	II	Alta	263.10	0.40				
21	Lámina	Lámina	261.80	I	Muy Alta	262.90	1.10				
22	Lámina	Lámina	261.40	I	Muy Alta	262.70	1.30				
25	Adobe	Lámina	263.60	II	Alta	264.10	0.50				
29	Adobe	Lámina	264.50	II	Alta	265.20	0.70				
30	Lámina	Lámina	262.20	I	Muy Alta	263.70	1.50				
34	Adobe	Teja	265.50	III	Media	266.00	0.50				
35	Lámina	Lámina	263.00	I	Muy Alta	264.20	1.20				
40	Lámina	Lámina	265.30	I	Muy Alta	266.30	1.00				
41	Piedra	Lámina	264.20	II	Alta	264.70	0.50				
45	Lámina	Lámina	265.80	I	Muy Alta	266.60	0.80				
46	Piedra	Lámina	265.40	II	Alta	266.00	0.60				

La figura 1.44 muestra la profundidad de la inundación en cada vivienda. Conforme más sombreado es la casa, mayor es el tirante de agua dentro de la casa.

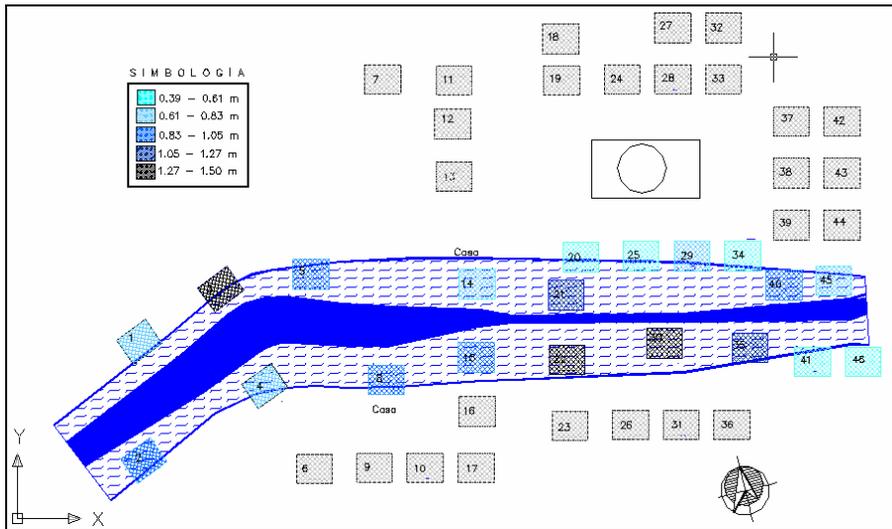


Figura 1.44 Nivel de agua en cada casa afectada por la inundación (columna 8 de la tabla 1.20)

Las casas que se muestran en el ejemplo son tipo I, II ó III, por lo que las funciones de vulnerabilidad empleadas corresponderán a esos tipos (tabla 1.24).

Una vez que se conoce el nivel que alcanzó el agua en cada vivienda, y dada la vulnerabilidad de éstas según su tipo (I, II, III, IV ó V), se procede a estimar las pérdidas por daños en el menaje de la casa; los cálculos se muestran en la tabla 1.25.

Tabla 1.24 Porcentaje de pérdida según tipo el de vivienda

Nivel del agua (m)	Pérdidas por tipo de vivienda		
	Tipo I	Tipo II	Tipo III
0.00 - 0.20	0.00	0.00	0.00
0.20 - 0.40	0.03	0.06	0.03
0.40 - 0.60	0.10	0.18	0.08
0.60 - 0.80	0.44	0.30	0.31
0.80 - 1.00	0.73	0.80	0.74
1.00 - 1.20	0.93	0.90	0.81
1.20 - 1.40	0.93	0.95	0.97
1.40 - 1.60	0.96	0.98	0.98
1.60 - 1.80	0.96	1.00	0.99
1.80 - 2.00	1.00	1.00	1.00
2.00 - 2.50	1.00	1.00	1.00
2.50 - 3.00	1.00	1.00	1.00

Con base en el nivel del agua calculado para la inundación asociada a un periodo de retorno de cinco años ($T_r = 5$ años), y al tipo de vivienda para cada una de las casas afectadas se obtiene el porcentaje de daño estimado (columna 9). Con este porcentaje y el menaje estimado para cada tipo de vivienda (sección 1.3) se estima un monto (columna 10). Para estimar el peligro se deben analizar las funciones de peligro de cada vivienda; para simplificar el problema se usará el valor de la probabilidad para un periodo de retorno de 5 años de la tabla 1.22, es decir, se espera que la probabilidad que se presente una inundación sea de 0.20 ó 20%.

**Tabla 1.25 Concentrado de la información para la elaboración de mapas de riesgo por inundación
Estimación de los daños en las viviendas**

1	2		3	4	5	6	7				11
	No.	Material					Nivel de desplante	Tipo	Vulnerabilidad	Escenario $T_r = 5$ años	
muros		techo	Nivel del agua (m)	Tirante (m)	Daños (%)	Pérdidas (\$)				Indice de riesgo	
1	Adobe	Teja	256.30	III	Media	257.00	0.70	30.00	8,601	0.41	
2	Adobe	Teja	266.30	III	Media	267.30	1.00	74.00	21,216	1.00	
3	Cartón	Cartón	259.20	I	Muy Alta	260.50	1.30	93.00	2,215	0.10	
4	Piedra	Lámina	258.90	II	Alta	259.70	0.80	30.00	2,858	0.13	
5	Cartón	Cartón	260.50	I	Muy Alta	261.50	1.00	73.00	1,738	0.08	
8	Piedra	Lámina	260.85	II	Alta	261.70	0.85	80.00	7,620	0.36	
14	Cartón	Cartón	261.25	I	Muy Alta	262.00	0.75	44.00	1,048	0.05	
15	Cartón	Cartón	261.30	I	Muy Alta	262.20	0.90	73.00	1,738	0.08	
20	Adobe	Lámina	262.70	II	Alta	263.10	0.40	6.00	572	0.03	
21	Lámina	Lámina	261.80	I	Muy Alta	262.90	1.10	93.00	2,215	0.10	
22	Lámina	Lámina	261.40	I	Muy Alta	262.70	1.30	96.00	2,286	0.11	
25	Adobe	Lámina	263.60	II	Alta	264.10	0.50	18.00	1,715	0.08	
29	Adobe	Lámina	264.50	II	Alta	265.20	0.70	30.00	2,858	0.13	
30	Lámina	Lámina	262.20	I	Muy Alta	263.70	1.50	96.00	2,286	0.11	
34	Adobe	Teja	265.50	III	Media	266.00	0.50	8.00	2,294	0.11	
35	Lámina	Lámina	263.00	I	Muy Alta	264.20	1.20	93.00	2,215	0.10	
40	Lámina	Lámina	265.30	I	Muy Alta	266.30	1.00	73.00	1,738	0.08	
41	Piedra	Lámina	264.20	II	Alta	264.70	0.50	18.00	1,715	0.08	
45	Lámina	Lámina	265.80	I	Muy Alta	266.60	0.80	44.00	1,048	0.05	
46	Piedra	Lámina	265.40	II	Alta	266.00	0.60	18.00	1,715	0.08	
Pérdidas totales									\$69,691		

Finalmente, con base en el monto estimado para cada casa, se divide cada uno entre el valor máximo de la columna 10; en el ejercicio el monto máximo es de \$21,216 y corresponde a la vivienda 2, obteniéndose así el índice de riesgo (columna 11 de la tabla 1.25).

Una vez cuantificados los daños, se está en posibilidad de elaborar el mapa de riesgo por inundaciones correspondiente al periodo de retorno seleccionado (en este caso, 5 años), para lo cual existen varias maneras de hacerlo. En esta guía se presentarán los dos tipos que se consideran más representativos: el mapa de pérdidas calculadas y el mapa de índices de riesgo.

Este mapa permite mostrar la pérdida calculada en cada vivienda, por lo que al analizarlo es posible identificar los sitios con mayores pérdidas, teniendo conocimiento de los montos involucrados (figura 1.45). Como se mencionó anteriormente, se pueden elegir rangos del riesgo para poder formar el mapa.

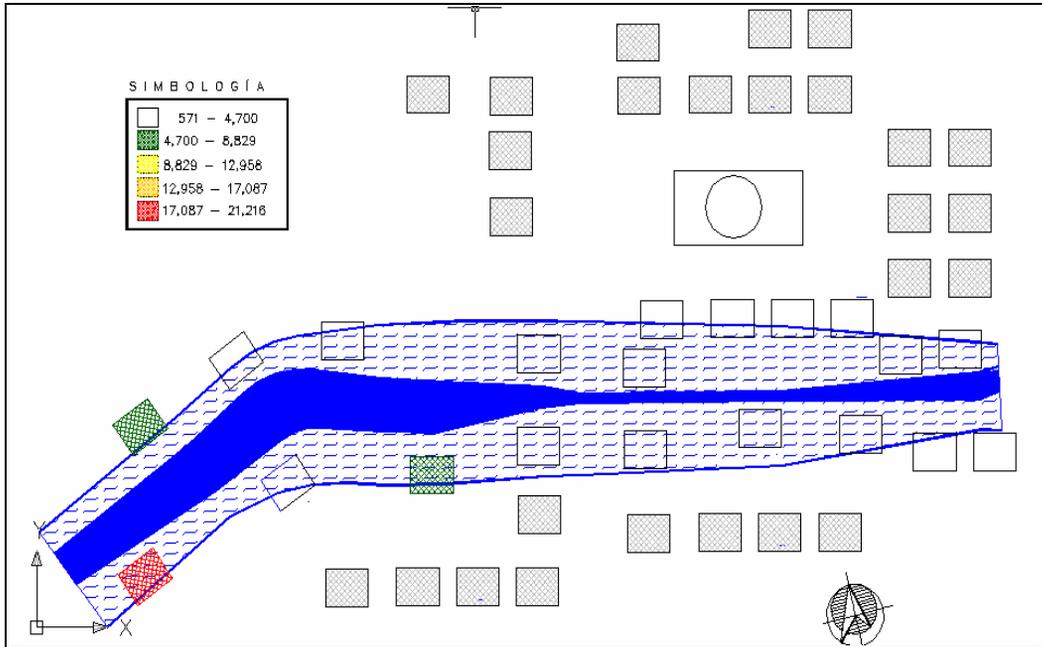


Figura 1.45 Mapa de riesgo de inundación para un $Tr = 5$ años (pérdidas calculadas)

En caso de que no se desee expresar el riesgo en unidades monetarias, se puede mostrar como un índice de riesgo, aunque en este caso se eligieron cinco rangos para clasificar el riesgo.

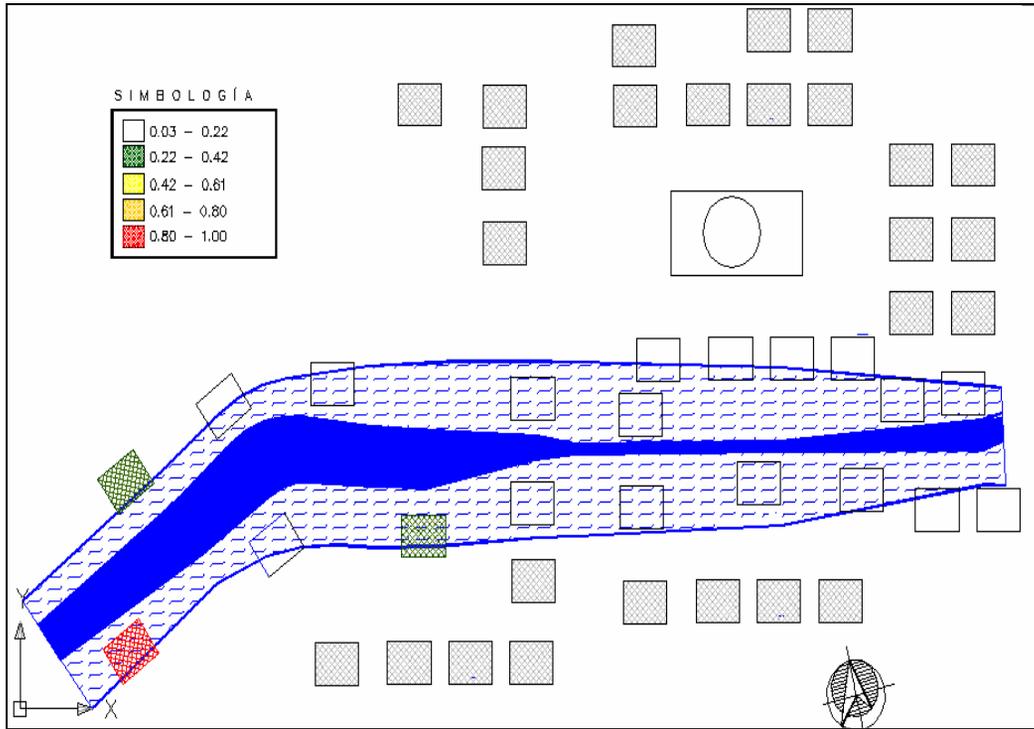


Figura 1.46 Mapa de riesgo de inundación para un $Tr = 5$ años (índices de riesgo)

1.5 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN Y AVENIDAS SÚBITAS EN ZONAS RURALES, CON ARRASTRE DE SEDIMENTOS: CASO SANTA MARÍA JAJALPA, MUNICIPIO DE TENANGO DEL VALLE, EDO. DE MÉXICO

Para valorar la confiabilidad de las metodologías para elaborar mapas de riesgo por inundación y arrastre de sedimento propuestas en la guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos, presentada por el CENAPRED, se decidió llevar a cabo un ejemplo práctico y real para aplicar dichas metodologías. Se escogió a la población de Santa María Jajalpa, municipio de Tenango del Valle, Estado de México; como prototipo de ensayo por varias razones: en el año de 2001 hubo una inundación en esta localidad con arrastre de sedimento importante, además de su cercanía con la ciudad de México y tener una cuenca pequeña.

1.5.1 Marco fisiográfico de Santa María Jajalpa, Estado de México

Santa María Jajalpa se encuentra ubicada a 35 km del Distrito Federal por la carretera federal La Marquesa-Tenango del Valle, en el Estado de México, municipio de Tenango del Valle (figura 1.47). Geográficamente se ubica a $99^{\circ} 35' 21''$ de longitud oeste y a $19^{\circ} 06' 07''$ de latitud norte, a una altura de 2,580 m.s.n.m. y tiene una población aproximada de 5,402 hab. (Censo 2000, INEGI). Se ubica en la subcuenca de la ex-laguna de Almoloya del Río. Colinda al norte con San Antonio de la Isla, al sur con San Francisco Tepexoxuca, al este con San Pedro Techuchulco y Almoloya del Río y al oeste con Tenango de Arista, Rayón y Santiago Coaxustenco.



Figura 1.47 Ubicación geográfica de Santa María Jajalpa

Jajalpa significa “lugar de arena” y es de origen prehispánico. Se construyó al pie de un derrame de lava (figura 1.48), a un lado de la desembocadura del barranco por donde fluye un arroyo del tipo intermitente conocido por la gente como “Río Seco”, denominado oficialmente como Río Barranca San Joaquín y alejado aproximadamente a 1 km de lo que alguna vez fue el lago de Almoloya del Río. Hoy día, con el lago desecado, hay una tendencia al crecimiento de la mancha urbana, de tal manera que la población se encuentra ubicada justo en la desembocadura. Es natural que se formen lagos temporales durante algunas temporadas de lluvias y el fenómeno será más notable en la medida que se incrementa el número de casas, escuelas, negocios y otras edificaciones

sobre el suelo lacustre. Eso se debe principalmente a que no existe un drenaje eficiente por lo que el agua tiende a estancarse una vez que ésta escurre por las laderas o inclusive cuando llueve en la zona plana y baja.

Geología

Santa María Jajalpa se encuentra al pie de la ladera de un derrame de lava perteneciente al campo volcánico Tenango. Por lo tanto, en la zona prevalecen materiales de origen volcánico tales como tobas, boleos y derrames de lava que esporádicamente afloran a la superficie. Se trata en general de rocas ígneas extrusivas jóvenes del cuaternario, que pertenecen al Eje Neovolcánico Transmexicano. Adicionalmente, se distinguen suelos residuales, resultado de la meteorización de los depósitos superficiales y de alteración del hombre para convertirlos en tierras de labor.

En general estas tobas volcánicas superficiales están constituidas por granos finos a medios (arenas bien graduadas con escaso contenido de limos al disgregarlas), con una cementación media en estado natural. También existen materiales con proporción importante de granos pumíticos, los cuales al ser disgregados de su matriz cementante para utilizarlos como tierras de labor, son fácilmente arrastrados por flujo superficial.

Aspectos hidrológicos

El Río Barranca San Joaquín tiene una cuenca pequeña de aproximadamente 1.3 km² (ésta se calculará al aplicar la metodología propuesta) y está compuesta por pequeños lomeríos cuyas laderas tienen pendientes entre 8° y 20°.

Nace aproximadamente a los 2,860 msnm en lo que parece ser un contacto litológico. Desciende hasta los 2,580 msnm justo donde comienzan las primeras casas del pueblo, en un distancia horizontal de 2,475 m, de lo que resulta un gradiente topográfico de 0.095 (como se calculará más adelante). El cauce es estrecho al inicio de su formación (menor a los 5 m), y en tramos posteriores casi se duplica. Sus paredes se conservan verticales y simétricas, con alturas entre 8 y 20 m, con caídas verticales de hasta 10 m de profundidad. Hacia su desembocadura, corre predominantemente en dirección suroeste-noreste; después de ésta, se expande depositando su carga en lo que se conoce como abanico aluvial. En este punto donde se ubica el poblado sobre la planicie lacustre (figura 1.49), misma que inicia aproximadamente a 1 km de distancia del lago de Almoloya del Río. Actualmente el cuerpo de agua original ha desaparecido y puede reconocerse en el mapa original escala 1:50,000 editado por el actual INEGI en los años setenta.

En un barranco como este se produce una corriente que permanece mientras llueve. Al cesar la lluvia pronto desaparece debido a la gran permeabilidad del material piroclástico y al descenso de los mantos de agua subterránea. El escurrimiento que desemboca hacia el pueblo no es en estos casos peligroso, es controlable y sólo puede causar encharcamientos. Pero una lluvia intensa puede causar una corriente extraordinaria y acarrear una gran cantidad de sedimentos.





Figura 1.49 Ubicación de Santa María Jajalpa sobre el abanico aluvial del río Barranca San Joaquín

1.5.2 Antecedentes históricos de inundaciones en la población

Varias inundaciones han ocurrido en Santa María Jajalpa a lo largo de su historia. El pueblo recuerda las acontecidas durante el siglo pasado en 1955, 1972 y 1998. La más reciente sucedió el 23 de abril de 2001 cuando una lluvia intensa se precipitó afectando a la población. Los daños fueron 200 casas inundadas; depósitos de lodo de hasta 50 cm entre las calles Guerrero y Morelos, más de una decena de vehículos arrastrados por la corriente y el deceso de una persona (Vázquez *et al*, 2002).

Los escurrimientos y el arrastre de sedimentos se debieron principalmente al proceso de erosión sobre las laderas de la pequeña cuenca donde se ubica la población, debido a la deforestación (tala de árboles para convertir el terreno en tierras de labor) y a las acciones del hombre para aflojar la tierra y sembrar sus cultivos. Este proceso fue magnificado con el evento intenso de lluvia al formar cárcavas en las laderas que favorecieron la conducción del agua superficial y de los sedimentos arrastrados por el flujo (figura 1.50). El suelo puede ser fácilmente arrastrado por flujo superficial debido a que está compuesto de granos de medios a finos.

La fuerza de la corriente aunada al arrastre de sedimentos fue tal que las obras de protección de gaviones, construidas en los años setentas, y ubicadas a lo largo del río Barranca de San Joaquín, dejaron de funcionar por el gran volumen de sedimento depositado sobre ellas, impidiendo la regulación del flujo (rompimiento de energía) y la misma retención de sedimentos (su capacidad fue rebasada). En algunos casos fallaron total o parcialmente (figura 1.51). Dichas obras dan indicios de que la población ha estado expuesta a inundaciones y escurrimientos del tipo súbito. Otro indicio son las construcciones elevadas de casas en las calles por donde fluye el agua después de que desemboca el arroyo en la población (figura 1.52).

Además, la corriente arrastró autos e inclusive camiones con carga de más de 7 toneladas, depositándose un volumen de sedimentos de aproximadamente 12,000 m³ sobre el pueblo (según cifra proporcionada por el Lic. Carlos Iriarte, Director General de la Policía Estatal), que comparado con el deslizamiento ocurrido en la col. La Aurora, Teziutlán, Pue. en 1999 (donde el volumen removido fue de aproximadamente 7 000 m³), se puede deducir que en Santa María Jajalpa hubo un acelerado proceso de erosión.

Por último, un factor importante que provocó un mayor nivel de lodo y agua en algunas casas fue la formación de dos taponamientos a 150 m de la desembocadura y prácticamente a la misma altura, con vehículos arrastrados sobre las calles Guerrero y Morelos. Ello provocó un pequeño embalse con su consecuente remanso y depósito de sedimentos.



Figura 1.50 Vista de la gran cárcava

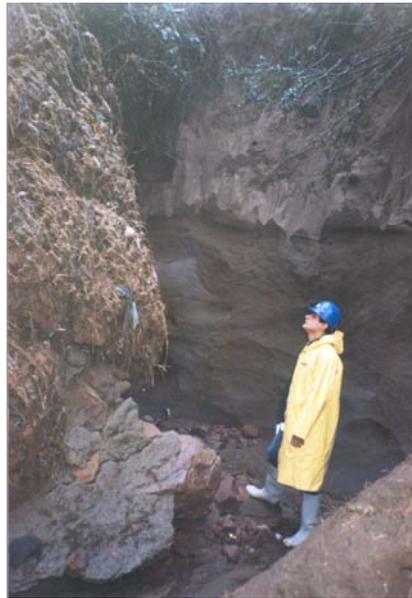


Figura 1.51 Falla parcial por socavación en la margen derecha de una represa de gaviones ubicada a 2 km aproximadamente de la desembocadura el río Barranca San Joaquín



Figura 1.52 Casas elevadas en la calle de Vicente Guerrero, cerca de la desembocadura del río



Figura 1.53 Camiones arrastrados por la corriente

1.5.3 Aplicación para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones y avenidas súbitas, con arrastre de sedimentos

Como está establecido en esta Guía se recomienda obtener un plano topográfico con la escala más pequeña posible, en este caso se consiguió la carta topográfica de INEGI “Tenango de Arista”, clave E14A48, escala 1: 50,000. En esta carta se ubicó la localidad de Santa María Jajalpa y se procedió a realizar los pasos que se indican en la sección antes mencionada, con el objetivo de identificar el río Barranca San Joaquín y su cuenca, así como todas sus características fisiográficas. También se obtuvo información necesaria para realizar el muestreo del suelo de dicha cuenca.

1.5.3.1 Identificación de la cuenca del arroyo

Sobre el plano se identificó el río Barranca de San Joaquín y sus afluentes, así como su parteaguas siguiendo los pasos descritos en la sección 1.2.5 de esta Guía.

En la figura 1.54 se muestra el trazado de la red de drenaje del río Barranca San Joaquín.

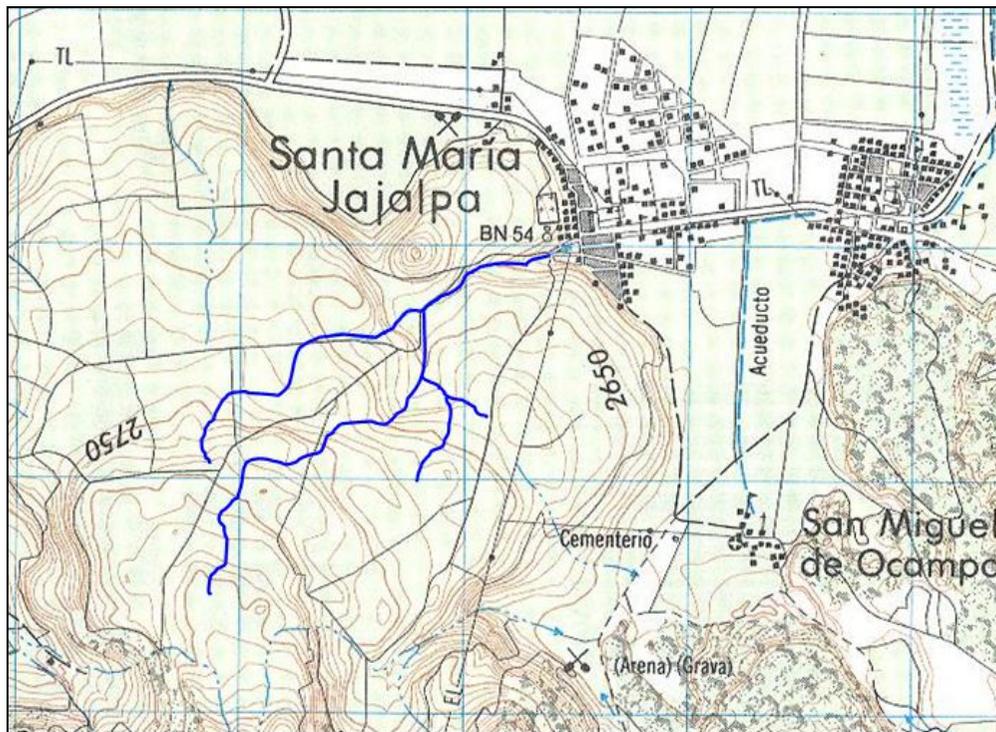


Figura 1.54 Identificación del arroyo y sus afluentes

En la figura 1.55 se muestra el trazado del parteaguas de la red de drenaje del río Barranca San Joaquín.

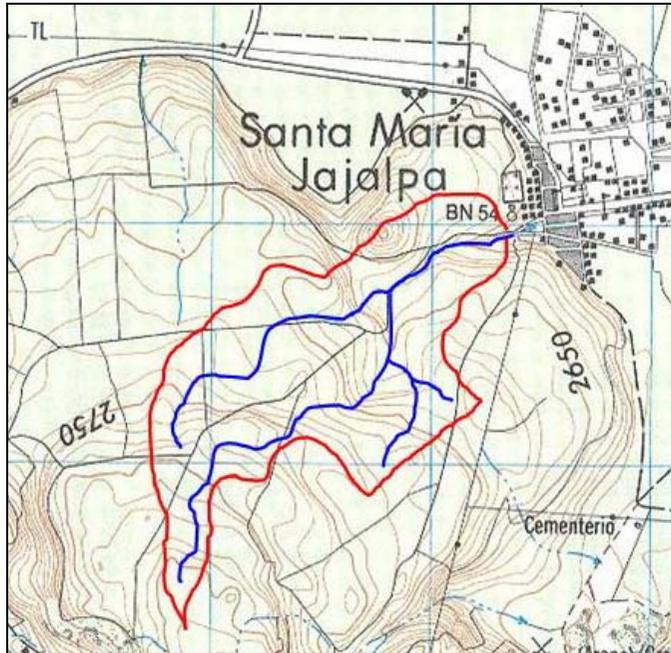


Figura 1.55 Trazo del parteaguas

1.5.3.2 Características fisiográficas de la cuenca

Identificada la cuenca del arroyo en estudio se procede a determinar algunas características fisiográficas de la cuenca, siendo estas características las siguientes:

Área de la cuenca

Para calcular el área de la cuenca, se trazó sobre el plano una malla de 500 m por 500 m, que se muestra en la figura 1.56. El área total de la cuenca se calculó sumando el área de cada cuadrado de la malla y se sumaron al conteo los cuadros que pudieron ser completados por dos o más fracciones. En la figura 1.56, se pueden contar dentro de la cuenca un cuadro entero, 4 cuadros completados mediante fracciones de cuadro y una fracción de cuadro, en total 5.2 cuadros y por lo tanto la cuenca tiene un área aproximada de

$$0.5 \text{ km} \times 0.5 \text{ km} \times 5.2 = 1.3 \text{ km}^2$$

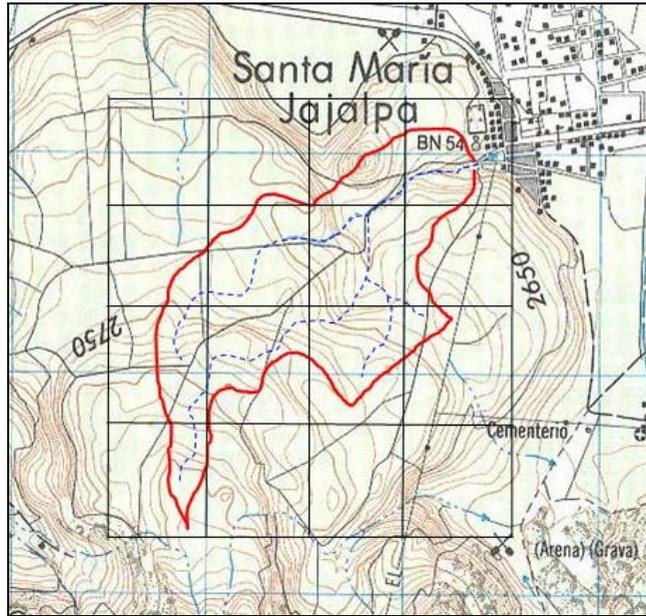


Figura 1.56 Cuadrícula para determinar el área de la cuenca

Orden de la red de drenaje

El cauce principal es la corriente que pasa por la salida de la cuenca y para identificarla más fácilmente, se recurre al orden de la red de drenaje, el cual se determina como se describe en el apartado “orden de la red de drenaje” en la sección 1.2.5.

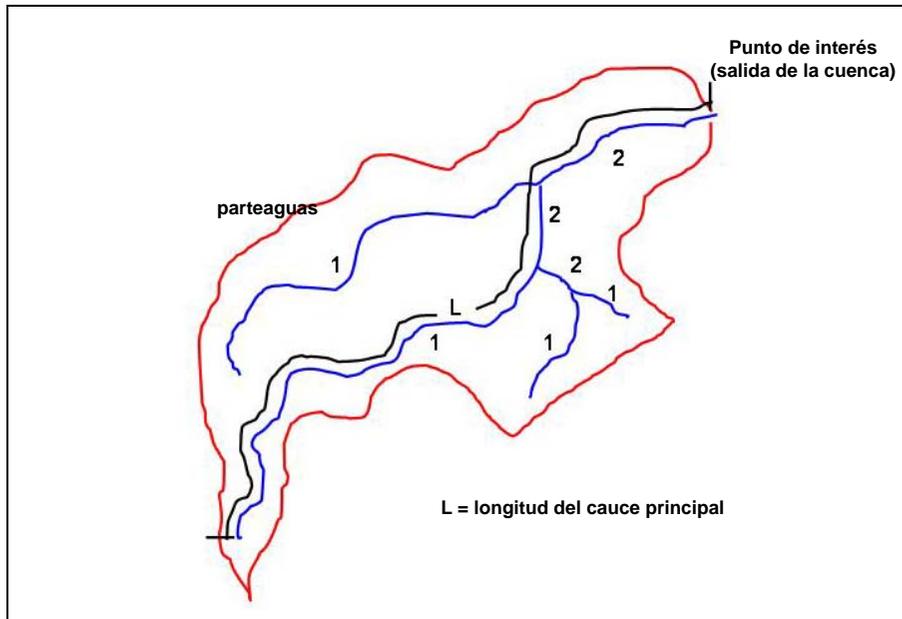


Figura 1.57 Identificación de la corriente de mayor orden o corriente principal

Para la cuenca del ejemplo, la corriente es de segundo orden. En la figura 1.57 se muestra cómo se identificó su corriente de mayor orden o corriente principal.

Pendiente de la cuenca (criterio de Nash)

Se utilizará la figura 1.58, con el trazo de la malla necesaria para calcular su pendiente. En la tabla 1.26 aparece la información producto de la aplicación del criterio de Nash, indicando para cada intersección sus coordenadas (x, y), así como la mínima distancia medida entre curvas de nivel de cada intersección y su pendiente. En este caso, el desnivel existente entre curvas de nivel es de 0.01 km., es decir, a cada 10 m.

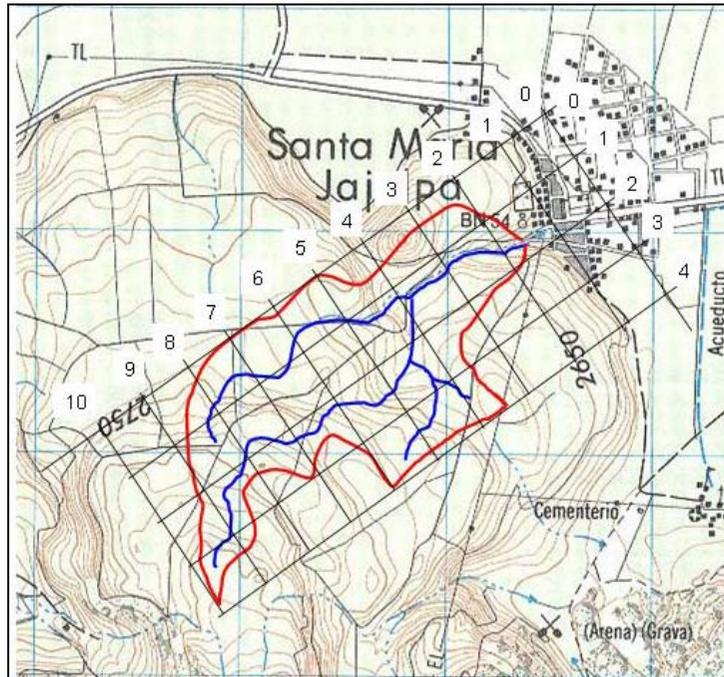


Figura 1.58 Identificación de la corriente de mayor orden o corriente principal

De acuerdo con la tabla 1.26, la pendiente de la cuenca es igual a:

$$S_c = \frac{\sum S_i}{n} = \frac{0.27113}{15} = 0.01807557$$

Donde $n = 15$ (número de intersecciones con valor diferente a nulo).

Por lo tanto, según el rango establecido la cuenca analizada no es propensa al peligro por avenidas súbitas, debido al valor de la pendiente de su cuenca.

Tabla 1.26 Pendientes y elevaciones en los puntos de intersección de la malla trazada para la cuenca del río Barranca San Joaquín

Intersección	Coordenadas		Dist. Min., km	Elevación, msnm	Pendiente, Si
	x	y			
1	2	2	0.4	2615	0.02500
2	3	1	0.15	2645	0.06667
3	3	2	1.4	2645	0.00714
4	5	1	1	2685	0.01000
5	5	2	0.5	2685	0.02000
6	5	3	0.3	2695	0.03333
7	6	1	2.3	2715	0.00435
8	6	2	1.4	2725	0.00714
9	6	3	0.5	2735	0.02000
10	7	1	1.5	2725	0.00667
11	7	2	0.8	2765	0.01250
12	8	1	0.5	2765	0.02000
13	8	2	1.2	2795	0.00833
14	9	2	1	2815	0.01000
15	9	3	0.5	2835	0.02000
Sumatoria					0.27113

Pendiente del cauce principal

Uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta hidrológica de una cuenca a una tormenta es la pendiente del cauce principal. Ésta se calculará según la fórmula de Taylor y Schwarz, la cual se describe en la sección 1.2.5 de esta guía. La pendiente varía a lo largo del cauce principal; ésta se puede apreciar mejor si se dibuja el perfil del cauce, como se muestra en la figura 1.59.

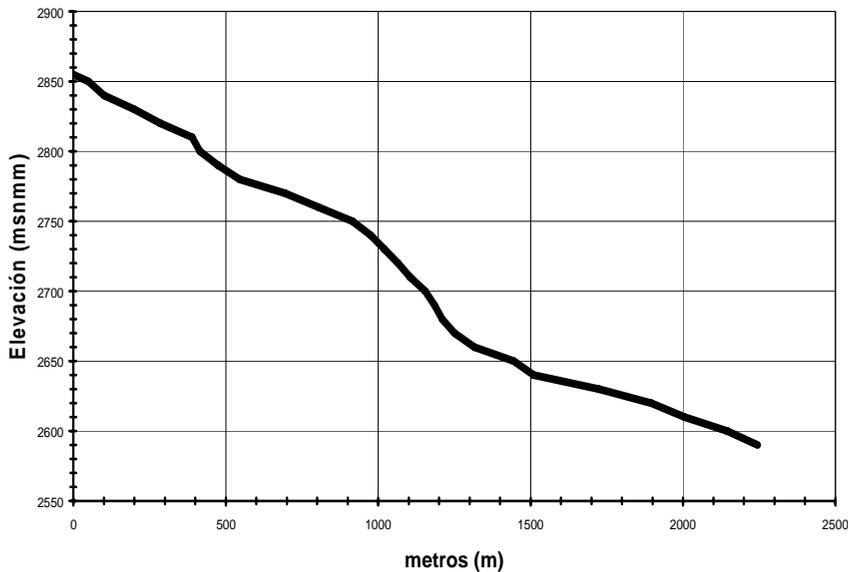


Figura 1.59 Perfil del cauce principal

Para el ejemplo, el cauce principal se dividió en tres tramos, dado los cambios de pendientes que se observan en la figura 1.59, obteniéndose los siguientes datos (figura 1.60):

$$\begin{array}{ll} m = 3 & \\ L = 2245 \text{ m} & H_1 = 2855 \text{ m} \\ L_1 = 1020 \text{ m} & H_2 = 2730 \text{ m} \\ L_2 = 490 \text{ m} & H_3 = 2640 \text{ m} \\ L_3 = 735 \text{ m} & H_4 = 2590 \text{ m} \end{array}$$

Ahora se determina la pendiente de cada tramo según los datos anteriores.

$$S_1 = \frac{H_1 - H_2}{L_1} = \frac{2855 - 2730}{1020} = 0.1225$$

$$S_2 = \frac{H_2 - H_3}{L_2} = \frac{2730 - 2640}{490} = 0.1837$$

$$S_3 = \frac{H_3 - H_4}{L_3} = \frac{2640 - 2590}{735} = 0.0680$$

Sustituyendo los valores antes calculados en la ecuación de Taylor y Schwarz para calcular la pendiente media del cauce principal, se tiene:

$$S = \left[\frac{2245}{\frac{1020}{\sqrt{0.1225}} + \frac{490}{\sqrt{0.1837}} + \frac{735}{\sqrt{0.0680}}} \right]^2 = 0.0956$$

Por lo tanto la pendiente media del cauce principal es del 9.56%.

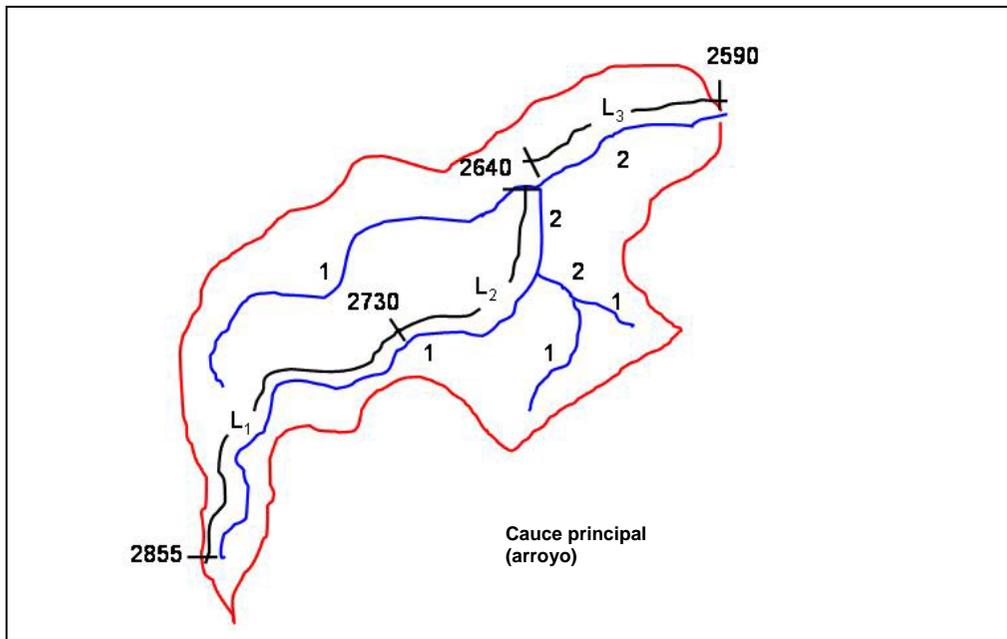


Figura 1.60 División de la corriente principal en tres tramos

Tiempo de concentración

Para la cuenca del ejemplo, se sustituyen los valores de la pendiente y la longitud del cauce principal en la fórmula de Kirpich y obteniéndose que el tiempo de concentración es:

$$t_c = 0.000325 \cdot \frac{(2245)^{0.77}}{(0.0956)^{0.385}} = 0.305 \text{ h}$$

$$t_c = 18.3 \text{ min.}$$

Comparando este valor con el rango establecido en la sección 1.2, inciso 1.2.8 para tiempos de concentración, se concluye que la cuenca del río Barranca San Joaquín, puede estar sujeta al peligro de avenidas súbitas.

Tipo de suelo

Para determinar el tipo de suelo que predomina en la cuenca del río Barranca San Joaquín, se realizó una campaña de muestreo de suelo en la parte alta de esta cuenca

Se hicieron los preparativos del tipo de información que se requería obtener antes de la salida de campo. En la sección 1.2.6, se recomienda dividir la cuenca por medio de una cuadrícula, por lo que se utilizó la trazada para obtener el área de la cuenca y se determinaron 9 puntos de muestreo. (Figura 1.61).

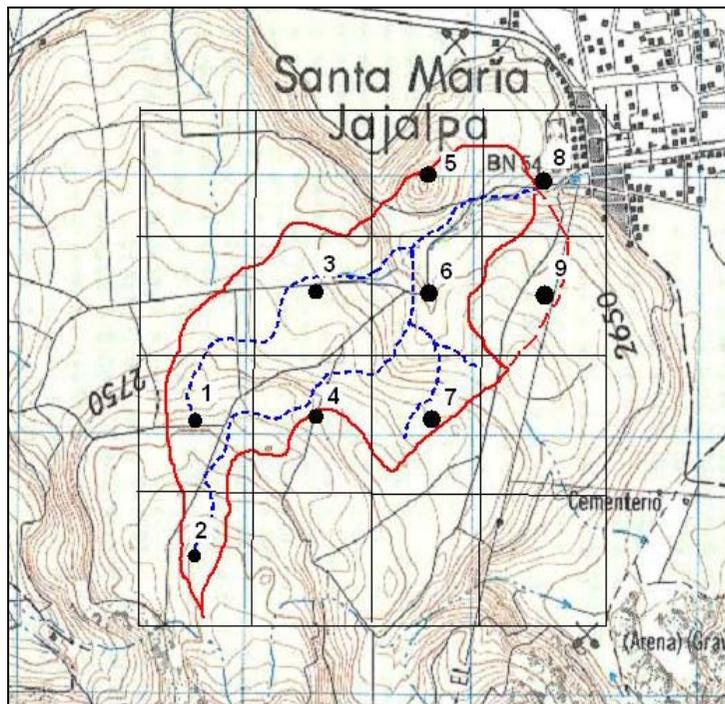


Figura 1.61 Puntos de muestreo de suelo

Para localizar los puntos donde se deben tomar las muestras de suelo, se calcularon sus coordenadas geográficas a partir de la carta topográfica de INEGI 1:50 000, las cuales se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 1.27 Coordenadas de los puntos de muestreo de suelo

Punto de Muestreo	Longitud Oeste	Latitud Norte
1	99.55218°	19.10091°
2	99.55218°	19.09637°
3	99.54744°	19.10545°
4	99.54744°	19.10091°
5	99.54270°	19.10999°
6	99.54270°	19.10545°
7	99.54270°	19.10091°
8	99.53796°	19.10999°
9	99.53796°	19.10545°

Para localizar en campo los puntos de muestreo, se utilizó un GPS. El trabajo de campo permitió además obtener el porcentaje de cobertura vegetal, así como las obras existentes de protección contra la erosión y la toma de las muestras del suelo, ver figuras 1.62, 1.63 y 1.64.



Figura 1.62 Reconocimiento en campo de la cobertura vegetal



Figura 1.63 Toma de muestras de suelo



Figura 1.64 Presa de gaviones azolvada

Se determinó que el grado de cobertura vegetal es de un 3%. Existen cinco presas de gaviones sobre el cauce principal, pero todas están azolvadas por lo que su presencia es indistinta y se tomaron las 9 muestras de suelo, ver figuras 1.65 y 1.66.



Figura 1.65 Muestras de suelo



Figura 1.66 Muestra de suelo etiquetada (punto 4)

Posteriormente al trabajo de campo, se procedió a clasificar el suelo, para ello se utilizaron las instalaciones del laboratorio de mecánica de suelos del CENAPRED, aunque esta actividad se puede realizar en cualquier lugar, figura 1.67.



Figura 1.67 Desarrollo de las pruebas de laboratorio

En las figuras 1.68, 1.69, 1.70 y 1.71 se muestran las pruebas de laboratorio que se le hicieron a las 9 muestras de suelo, donde se observan a detalle las pruebas de “consistencia cerca del límite plástico”, “método de dilatancia” y “método de resistencia en estado seco”.



Figura 1.68 Método de consistencia cerca del límite plástico



Figura 1.69 Método de dilatancia



Figura 1.70 Muestras en estado seco



Figura 1.71 Método de resistencia en estado seco

En la tabla 1.28 se presenta la clasificación del suelo para los nueve puntos de muestreo, que se presentaron en la figura 1.61.

Tabla 1.28 Clasificación del suelo en los puntos de muestreo

No. de muestra	Consistencia cerca del límite plástico	Prueba de Dilatancia	Resistencia al estado seco	Tipo de suelo
1	No se forma el rollo de suelo	Sí se forman gotitas de agua	Poca resistencia a quebrarse	Arena limosa
2	No se forma el rollo de suelo	Sí se forman gotitas de agua	Poca resistencia a quebrarse	Arena limosa
3	No se forma el rollo de suelo	Sí se forman gotitas de agua	Poca resistencia a quebrarse	Arena limosa
4	No se forma el rollo de suelo	Sí se forman gotitas de agua	Poca resistencia a quebrarse	Arena limosa
5	Sí se forma el rollo de suelo	Sí se forman gotitas de agua	Poca resistencia a quebrarse	Limo arenoso
6	No se forma el rollo de suelo	Sí se forman gotitas de agua	Poca resistencia a quebrarse	Arena limosa
7	No se forma el rollo de suelo	Sí se forman gotitas de agua	Poca resistencia a quebrarse	Arena limosa
8	Sí se forma el rollo de suelo	Sí se forman gotitas de agua	Poca resistencia a quebrarse	Limo arenoso
9	Sí se forma el rollo de suelo	No se forman gotitas de agua	Sí resiste a quebrarse	Arcilla arenosa

De las pruebas de laboratorio el tipo de suelo que más se repite (moda) es la arena limosa por lo que se concluye que el tipo de suelo característico de la cuenca es:

Tipo de suelo = arena limosa

1.5.3.3 Estimación del escurrimiento total a la salida de la cuenca

Gasto líquido

Para estimar el gasto líquido del escurrimiento crítico, primeramente se calcularon las diferentes láminas de lluvia asociadas a los diferentes periodos de retorno a partir de los mapas de isoyetas del anexo 1 con una duración de 24 horas y una hora.

En las figuras 1.72 y 1.73 se muestran unos detalles de los mapas de isoyetas para un periodo de retorno de 2 años ($tr = 2$ años) y duración de 24 y una hora. En estos detalles se puede observar que a la cuenca del río San Joaquín le corresponde un valor de lámina de lluvia de $hp = 43$ mm para el caso de una duración de 24 horas y de $hp = 28$ mm para una duración de una hora.

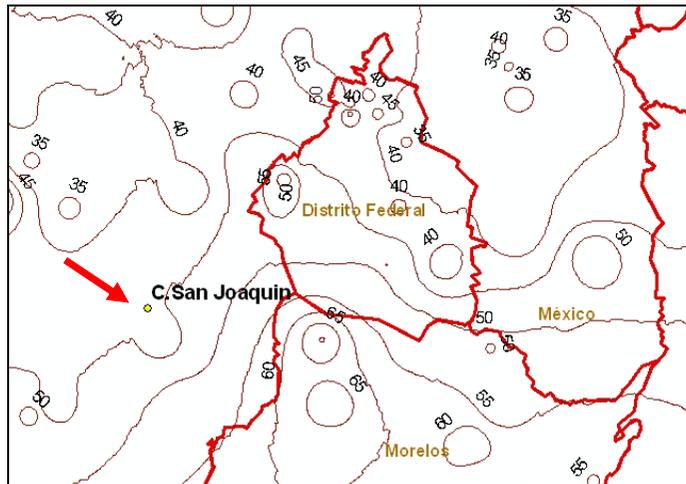


Figura 1.72 Isoyetas con $tr = 2$ años y $d = 24h$

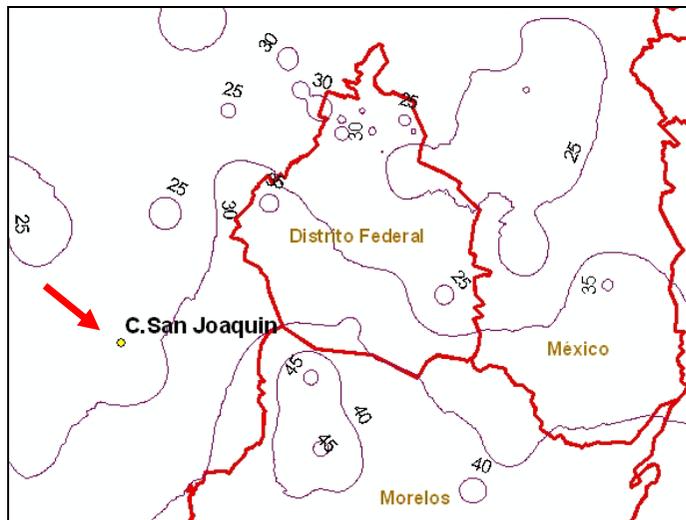


Figura 1.73 Isoyetas con $tr = 2$ años y $d = 1h$

En la tabla 1.29 se muestran los valores de la lámina de lluvia para los diferentes periodos de retorno y para las duraciones de 24 y una hora.

Tabla 1.29 Láminas de lluvia

tr (años)	Duración	
	24 h	1 h
	hp (mm)	hp(mm)
2	43.00	28.00
5	56.00	37.00
10	70.00	42.00
25	85.00	55.00
50	96.00	60.00
100	107.00	68.00
250	120.00	78.00
500	128.00	84.00

Para calcular el gasto líquido fue necesario obtener la intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración (t_c), por lo que se realizó una interpolación entre los valores de la lámina de lluvia para $d = 24$ horas y $d = 1$ hora, para cada uno de los periodos de retorno considerados.

Con el valor del tiempo de concentración, calculado en la sección 1.5.3.2., se procedió a calcular la lámina de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración ($d = t_c = 0.305$ horas). A continuación se presentarán los cálculos para un periodo de retorno de dos años ($t_r = 2$ años).

De la tabla 1.29 se tienen los siguientes datos:

$$\begin{aligned} hp(1) &= 28 \text{ mm} \\ hp(24) &= 43 \text{ mm} \\ t_c &= 0.305 \text{ h} \end{aligned}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación para determinar el valor de la lámina de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración se tiene que

$$\begin{aligned} hp(t_c) &= \frac{hp(24) - hp(1)}{3.1781} \cdot \ln(t_c) + hp(1) \\ hp(t_c) &= \frac{43\text{mm} - 28\text{mm}}{3.1781} \cdot \ln(0.305\text{h}) + 28\text{mm} \\ hp(t_c) &= 22.40\text{mm} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la lámina de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración es de 22.4 mm. Finalmente, para obtener la intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración (t_c), se divide la lámina de lluvia antes mencionada entre el valor del tiempo de concentración.

$$i = \frac{hp(t_c)}{t_c}$$

$$i = \frac{22.4mm}{0.305h} = 73.36mm/h$$

Por lo tanto, el valor de la intensidad de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración es de 73.36 mm/h para un periodo de retorno de dos años.

En la tabla 1.30 se observan las láminas de lluvia para los diferentes periodos de retorno.

Tabla 1.30 Láminas de lluvia

tr (años)	Duración		
	24 h hp (mm)	1 h hp(mm)	d = tc hp(mm)
2	43.00	28.00	22.40
5	56.00	37.00	29.91
10	70.00	42.00	31.55
25	85.00	55.00	43.80
50	96.00	60.00	46.56
100	107.00	68.00	53.44
250	120.00	78.00	62.32
500	128.00	84.00	67.58
1000	138.75	89.92	71.69
2000	150.00	96.60	76.67

Los valores de lámina de lluvia para los diferente periodos de retorno divididos entre la duración nos da la intensidad de la lluvia para dichos periodos. Estos valores se muestran en la tabla 1.30.

De la tabla 1.3 de la sección 1.2.8 de esta guía, con un tipo de área drenada “cementorios y parques” se tiene un coeficiente de escurrimiento de 0.2. Sustituyendo los anteriores valores en la fórmula racional se tienen los gastos líquidos para cada uno de los periodos de retorno analizados. Los cuales se muestran en la tabla 1.31.

Con la fórmula Racional se calcula el gasto líquido:

$$Qp = 0.278 \cdot Ce \cdot i \cdot A$$

Para un periodo de retorno de dos años se tiene que el gasto líquido es:

$$Qp = 0.278 \cdot (0.2) \cdot (73.36mm/h) \cdot 1.3km^2$$

$$Qp = 5.30m^3/s$$

De la misma forma se calcularon los valores de los gastos líquidos para los diferentes periodos de retorno, mismos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.31 Gasto líquido

tr años	i (mm/h)	Qp (m ³ /s)
2	73.36	5.30
5	97.94	7.08
10	103.31	7.47
25	143.44	10.37
50	152.48	11.02
100	175.01	12.65
250	204.09	14.75
500	221.29	16.00
1000	234.78	16.97
2000	251.06	18.15

Gasto sólido

Para determinar el gasto sólido es necesario determinar los valores del índice de erosión según el valor de la intensidad i (mm/h) para cada un de los periodos de retorno considerados

Datos:

Área de la cuenca: $A_c = 1.3 \text{ km}^2$

Longitud del cauce principal: $L = 2,245 \text{ m}$

Pendiente del cauce principal: $s = 0.0956$, o $Sp = 9.56 \%$

Tipo de suelo característico de la cuenca: Arena Limosa

Cobertura vegetal: Aprox. 3 %

Obras de protección contra la erosión: 5 represas de gaviones azolvadas al 100 %

Intensidad de lluvia de diseño: $i = 73.36 \text{ mm/h}$ (para un $tr = 2$ años y $d = 0.305 \text{ h}$)

La expresión para calcularlo es:

$$E = 0.224 R K L S C P$$

Los parámetros que intervienen en la fórmula se obtienen como

$$R = 0.00576 i^2 (1.213 + 0.3865 \ln(i)) = 89.06$$

$K = 0.30$, de la tabla 1.4 de esta guía

$$LS = (x / 22) m (0.065 + 0.045 Sp + 0.0065 Sp^2)$$

Como $Sp > 5 \%$, entonces $m = 0.5$, así entonces: $LS = 11.19$

$C = 1.0$, de la tabla 1.5 de esta guía

$P = 1.0$, de la tabla 1.6 de esta guía

Finalmente, al sustituir el valor de los parámetros en la fórmula universal de pérdida de suelo se obtiene:

$$E = 6.69$$

Cálculo de la concentración de sedimentos

Como $E < 30$, entonces “ C_s ” se calcula con la expresión

$$C_s = 0.00063 E^2$$

Lo cual da:

$$C_s = 0.028$$

Esto indica que habría un 2.8% de concentración de sedimentos en un flujo de agua escurriendo sobre el cauce principal de la cuenca de Jajalpa para una lluvia con un periodo de retorno de 2 años y duración de 0.305 hora.

De la misma forma se calculó el valor de los parámetros de la fórmula universal de pérdida de suelo para los diferentes periodos de retorno considerados y que se muestran en la tabla 1.32.

Tabla 1.32 Parámetros de la fórmula universal de pérdidas de suelo

tr años	R	K	LS	C	P	E	C_s
2	89.05547	0.3	11.19	0.10	1.00	6.70	0.028
5	164.9162	0.3	11.19	0.10	1.00	12.40	0.097
10	184.7756	0.3	11.19	0.10	1.00	13.89	0.122
25	371.2125	0.3	11.19	0.10	1.00	27.91	0.491
50	422.6387	0.3	11.19	0.10	1.00	31.78	0.600
100	566.1636	0.3	11.19	0.10	1.00	42.57	0.600
250	784.1996	0.3	11.19	0.10	1.00	58.97	0.600
500	930.8015	0.3	11.19	0.10	1.00	69.99	0.600
1000	1054.934	0.3	11.19	0.10	1.00	79.33	0.600
2000	1215.811	0.3	11.19	0.10	1.00	91.43	0.600

Con los valores calculados del gasto líquido (Q_p) y la concentración de sedimentos (C_s) se calcula el gasto total del fluido que escurre sobre el cauce al final de la cuenca. Sustituyendo estos valores en la expresión para obtener Q_T resulta

Con la fórmula racional se calcula primero el gasto líquido:

$$Q_p = 0.278 C_e i A$$

Entonces, el gasto líquido queda como:

$$Q_p = 5.30 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ahora, el gasto total se calcula con la expresión:

$$Q_T = Q_p / (1 - C_s) = 5.46 \text{ m}^3/\text{s}$$

Así entonces, el gasto sólido será la diferencia entre el gasto total menos el gasto líquido:

$$Q_s = Q_T - Q_p = 5.46 - 5.30 = 0.16 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_s = 0.15 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la tabla 1.33 se muestran los valores de los gastos sólidos y totales para cada uno de los periodos de retorno considerados.

Tabla 1.33 Gastos sólidos y totales

tr años	Qp (m ³ /s)	Qs (m ³ /s)	Qt (m ³ /s)
2	5.30	0.15	5.46
5	7.08	0.76	7.84
10	7.47	1.03	8.50
25	10.37	10.00	20.36
50	11.02	16.53	27.55
100	12.65	18.97	31.62
250	14.75	22.13	36.88
500	16.00	23.99	39.99
1000	16.97	25.45	42.42
2000	18.15	27.22	45.37

1.5.3.4 Determinación del área hidráulica permisible

El área hidráulica permisible es el área necesaria para que el flujo de escurrimiento o el gasto pico pase por una sección de un arroyo sin presentar desbordamientos en sus márgenes.

Para la cuenca del ejemplo, se tiene que su tiempo de concentración es igual a 0.305 h.

Con el valor del tiempo de concentración la velocidad del flujo es:

$$V = \frac{L}{t_c} = \frac{2245}{3600(0.312)} = 2.04 \text{ m/s}$$

Lo que implica que el área hidráulica permisible sea:

$$A_p = \frac{Q}{V} = \frac{5.46 \text{ m}^3}{2.04 \text{ m/s}} = 2.67 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, es necesaria un área hidráulica permisible de 2.67 m² para un gasto total de 5.46 m³/s en nuestra cuenca para un periodo de retorno de 2 años. En la tabla 1.34 se muestran los valores de las áreas hidráulicas permisibles para los diferentes periodos de retorno considerados.

Tabla 1.34 Área hidráulica permisible

Tr años	Ap (m ²)
2	2.67
5	3.84
10	4.16
25	9.97
50	13.49
100	15.49
250	18.06
500	19.58
1000	20.77
2000	22.22

1.5.3.5 Levantamiento topográfico del arroyo

Se realizó un levantamiento topográfico de 720 m de longitud de la calle-canal “Vicente Guerrero”, con secciones transversales a cada 20 m aproximadamente, inmediatamente aguas abajo de la salida de la cuenca en estudio. En la figura 1.74 se muestra dicho levantamiento topográfico en planta.

El levantamiento se inició en la zona poniente de la calle “Vicente Guerrero”, a esta primera sección se le asignó el cadenamiento 0+000, que es un puente que da acceso a una casa y cruza el río Barranca San Joaquín. En la figura 1.75 se muestran algunas de las secciones que se levantaron y que están vistas hacia aguas arriba.

Como ya se mencionó en la sección 1.2.10 las secciones transversales pudieron ser dibujadas en hojas de papel milimétrico o en un medio digital utilizando algún programa de cómputo. Para esta aplicación, en particular, se utilizó un programa de cómputo para dibujar dichas secciones que se levantaron en campo, utilizando sólo cinta métrica. En las figuras 1.76a y 1.76b se muestran las secciones antes mencionadas.

1.5.3.6. Determinación del área geométrica de las secciones transversales

Como ya se mencionó anteriormente se utilizó un programa de cómputo para dibujar el levantamiento topográfico. Además, el programa permitió calcular las áreas geométricas de las secciones transversales, las cuales se muestran en la tabla 1.35.



Figura 1.75 Algunas secciones de la calle - canal "Vicente Guerrero"

Tabla 1.35 Áreas geométricas

Sección	Área geométrica (m ²)
0 + 000	11.58
0 + 020	4.42
0 + 040	2.88
0 + 060	7.36
0 + 080	6.12
0 + 132	10.17
0 + 133	4.53
0 + 162	5.38
0 + 184	5.36
0 + 247	4.13
0 + 302	3.6
0 + 336	5.18
0 + 409	3.51
0 + 468	3.68
0 + 484	2.15
0 + 520	9.36
0 + 536	9.15
0 + 604	11.61
0 + 616	7.38
0 + 664	15.53
0 + 720	1.16

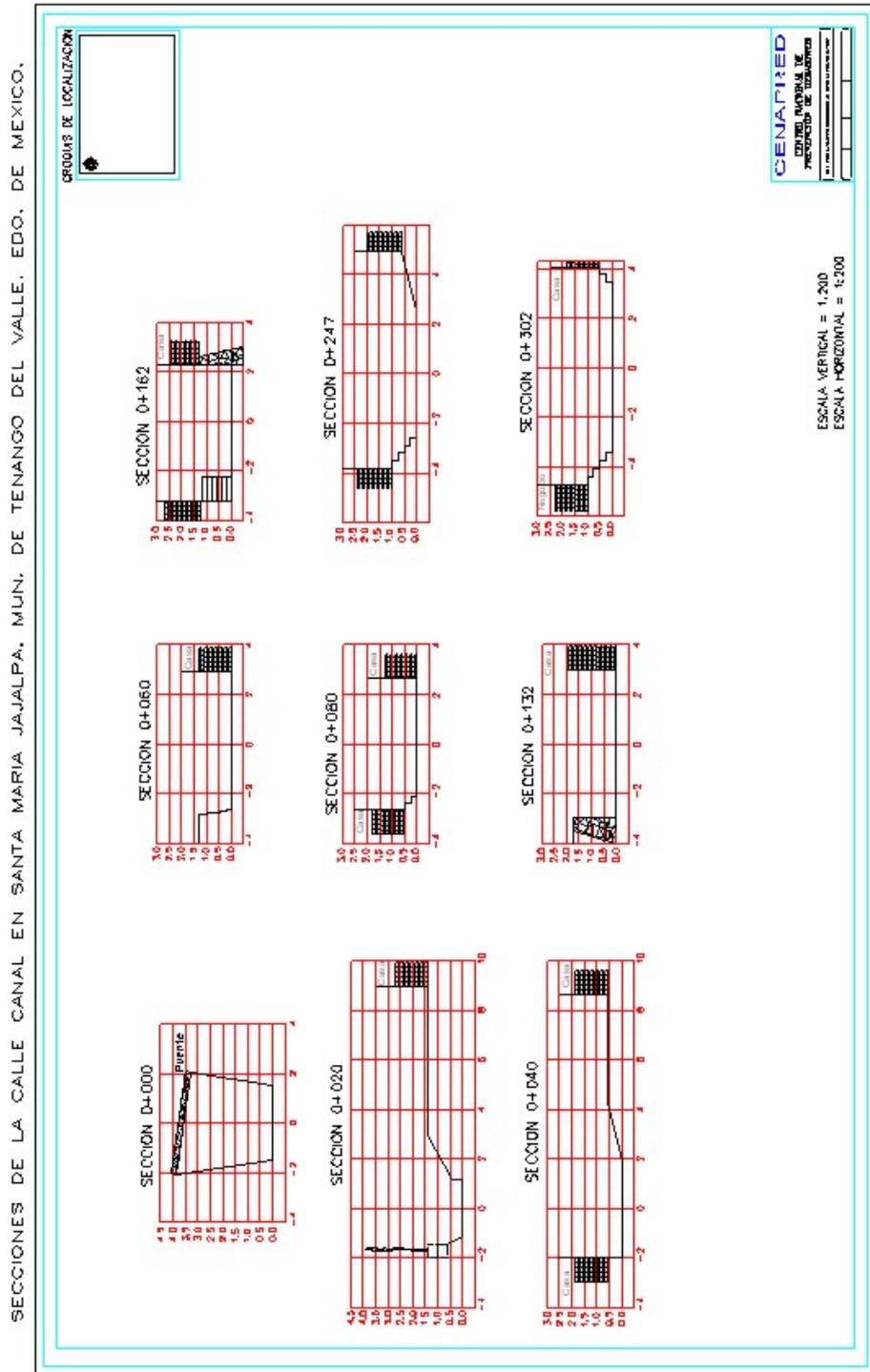


Figura 1.76a Levantamiento topográfico, secciones transversales

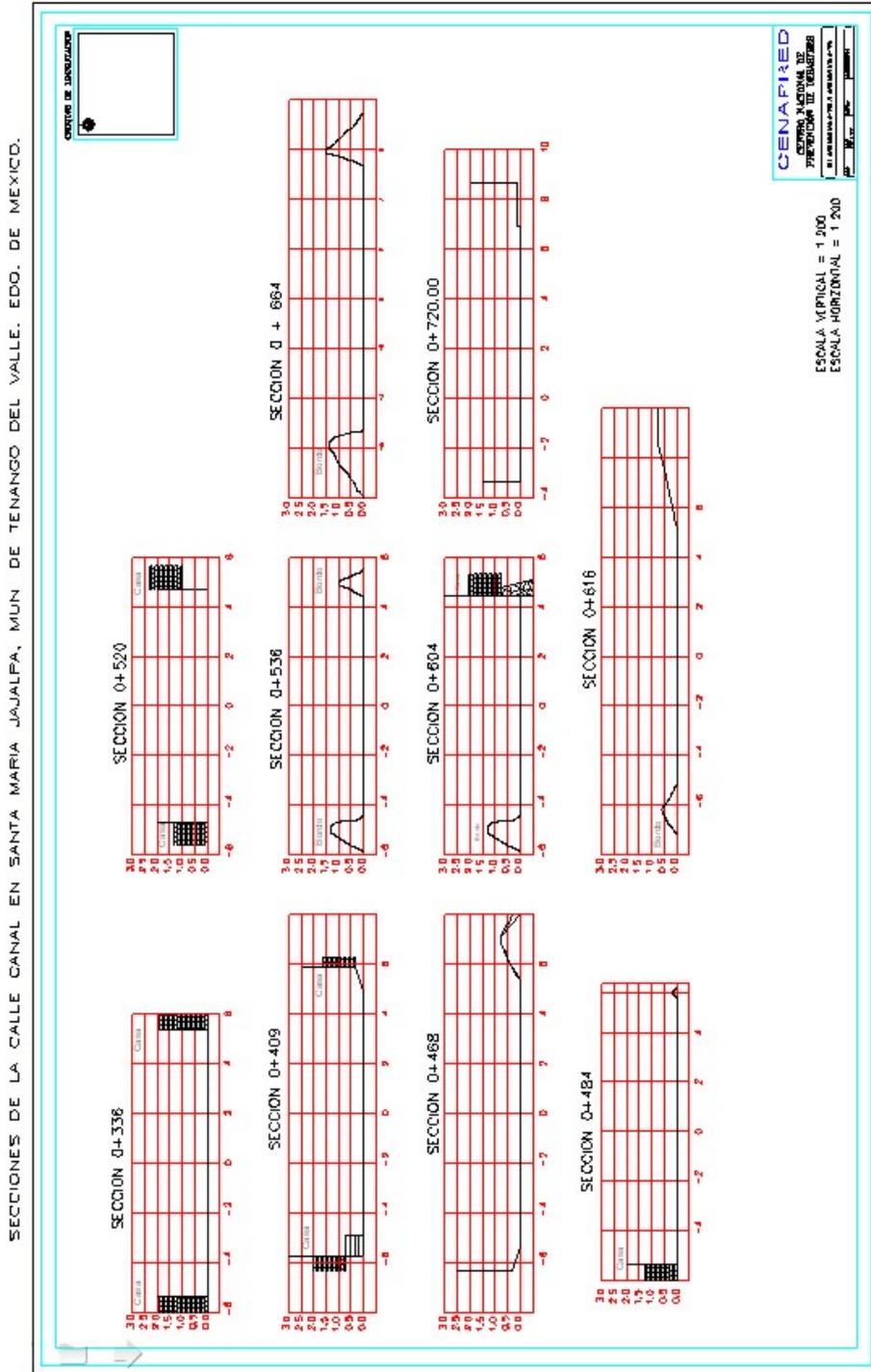


Figura 1.76b Levantamiento topográfico, secciones transversales

1.5.3.7 Comparación entre el área hidráulica permisible y el área geométrica

Para determinar si en las secciones transversales se presentan problemas de desbordamiento, se debe de comparar el área hidráulica permisible con las áreas geométricas calculadas. En la tabla 1.36 se muestran las diferencias de estas áreas para cada uno de los periodos de retorno considerados y se determina la condición que se presenta en cada una de las secciones. Como se mencionó anteriormente, el valor negativo se interpreta como una condición de desbordamiento, ya que el área geométrica es menor a la requerida por el gasto máximo.

1.5.3.8 Determinación de las zonas inundables

Para el caso específico de esta aplicación, se consideró que la calle-canal “Vicente Guerrero” trabajará hidráulicamente como tal, es decir como un canal; por lo tanto sólo se especificará el tirante que alcance el flujo de agua para cada periodo de retorno. Esta consideración se debe a que en el levantamiento topográfico, no se pudo tener acceso al interior de los lotes y mucho menos a las casas debido a la desconfianza que tienen los pobladores de esta localidad.

Por lo anterior, se tendrá la premisa de que el tirante que se presenta en cada una de las secciones transversales, se presentará en los lotes adyacentes a dichas secciones y dentro de las respectivas casas que están en el interior de éstos, cuando se presente la condición de desbordamiento. En la figura 1.77 se muestra la zona de inundación, según la consideración antes mencionada, que será igual para todos los periodos de retorno y sólo cambiará el tirante de agua en cada una de las secciones transversales de acuerdo al gasto pico calculado para cada periodo de retorno, como se muestra en la tabla 1.36.

Tabla 1.36 Comparación entre las áreas geométricas y las hidráulicas

Sección	Área geométrica (m ²)	Tr = 2 años Ap = 2.67 m ²		Tr = 5 años Ap = 3.84 m ²		Tr = 10 años Ap = 4.16 m ²		Tr = 25 años Ap = 9.97 m ²		Tr = 50 años Ap = 13.49 m ²	
		Diferencia	Condición	Diferencia	Condición	Diferencia	Condición	Diferencia	Condición	Diferencia	Condición
0 + 000	11.58	8.91	No desborda	7.74	No desborda	7.42	No desborda	1.61	No desborda	-1.91	Desborda
0 + 020	4.42	1.75	No desborda	0.58	No desborda	0.26	No desborda	-5.55	Desborda	-9.07	Desborda
0 + 040	2.88	0.21	No desborda	-0.96	Desborda	-1.28	Desborda	-7.09	Desborda	-10.61	Desborda
0 + 060	7.36	4.69	No desborda	3.52	No desborda	3.20	No desborda	-2.61	Desborda	-6.13	Desborda
0 + 080	6.12	3.45	No desborda	2.28	No desborda	1.96	No desborda	-3.85	Desborda	-7.37	Desborda
0 + 132	10.17	7.50	No desborda	6.33	No desborda	6.01	No desborda	0.20	Desborda	-3.32	Desborda
0 + 133	4.53	1.86	No desborda	0.69	No desborda	0.37	No desborda	-5.44	Desborda	-8.96	Desborda
0 + 162	5.38	2.71	No desborda	1.54	No desborda	1.22	No desborda	-4.59	Desborda	-8.11	Desborda
0 + 184	5.36	2.69	No desborda	1.52	No desborda	1.20	No desborda	-4.61	Desborda	-8.13	Desborda
0 + 247	4.13	1.46	No desborda	0.29	No desborda	-0.03	Desborda	-5.84	Desborda	-9.36	Desborda
0 + 302	3.6	0.93	No desborda	-0.24	Desborda	-0.56	Desborda	-6.37	Desborda	-9.89	Desborda
0 + 336	5.18	2.51	No desborda	1.34	No desborda	1.02	No desborda	-4.79	Desborda	-8.31	Desborda
0 + 409	3.51	0.84	No desborda	-0.33	Desborda	-0.65	Desborda	-6.46	Desborda	-9.98	Desborda
0 + 468	3.68	1.01	No desborda	-0.16	Desborda	-0.48	Desborda	-6.29	Desborda	-9.81	Desborda
0 + 484	2.15	-0.52	Desborda	-1.69	Desborda	-2.01	Desborda	-7.82	Desborda	-11.34	Desborda
0 + 520	9.36	6.69	No desborda	5.52	No desborda	5.20	No desborda	-0.61	Desborda	-4.13	Desborda
0 + 536	9.15	6.48	No desborda	5.31	No desborda	4.99	No desborda	-0.82	Desborda	-4.34	Desborda
0 + 604	11.61	8.94	No desborda	7.77	No desborda	7.45	No desborda	1.64	Desborda	-1.88	Desborda
0 + 616	7.38	4.71	No desborda	3.54	No desborda	3.22	No desborda	-2.59	Desborda	-6.11	Desborda
0 + 664	15.53	12.86	No desborda	11.69	No desborda	11.37	No desborda	5.56	No desborda	2.04	No desborda
0 + 720	1.16	-1.51	Desborda	-2.68	Desborda	-3.00	Desborda	-8.81	Desborda	-12.33	Desborda

Tabla 1.36 Comparación entre las áreas geométricas y las hidráulicas (Continuación)

Sección	Área geométrica (m ²)	Tr = 100 años Ap = 15.49 m ²		Tr = 250 años Ap = 18.06 m ²		Tr = 500 años Ap = 19.58 m ²		Tr = 1000 años Ap = 20.77 m ²		Tr = 2000 años Ap = 22.22 m ²	
		Diferencia	Condición	Diferencia	Condición	Diferencia	Condición	Diferencia	Condición	Diferencia	Condición
0 + 000	11.58	-3.91	Desborda	-6.48	Desborda	-8.00	Desborda	-9.19	Desborda	-10.64	Desborda
0 + 020	4.42	-11.07	Desborda	-13.64	Desborda	-15.16	Desborda	-16.35	Desborda	-17.80	Desborda
0 + 040	2.88	-12.61	Desborda	-15.18	Desborda	-16.70	Desborda	-17.89	Desborda	-19.34	Desborda
0 + 060	7.36	-8.13	Desborda	-10.70	Desborda	-12.22	Desborda	-13.41	Desborda	-14.86	Desborda
0 + 080	6.12	-9.37	Desborda	-11.94	Desborda	-13.46	Desborda	-14.65	Desborda	-16.10	Desborda
0 + 132	10.17	-5.32	Desborda	-7.89	Desborda	-9.41	Desborda	-10.60	Desborda	-12.05	Desborda
0 + 133	4.53	-10.96	Desborda	-13.53	Desborda	-15.05	Desborda	-16.24	Desborda	-17.69	Desborda
0 + 162	5.38	-10.11	Desborda	-12.68	Desborda	-14.20	Desborda	-15.39	Desborda	-16.84	Desborda
0 + 184	5.36	-10.13	Desborda	-12.70	Desborda	-14.22	Desborda	-15.41	Desborda	-16.86	Desborda
0 + 247	4.13	-11.36	Desborda	-13.93	Desborda	-15.45	Desborda	-16.64	Desborda	-18.09	Desborda
0 + 302	3.6	-11.89	Desborda	-14.46	Desborda	-15.98	Desborda	-17.17	Desborda	-18.62	Desborda
0 + 336	5.18	-10.31	Desborda	-12.88	Desborda	-14.40	Desborda	-15.59	Desborda	-17.04	Desborda
0 + 409	3.51	-11.98	Desborda	-14.55	Desborda	-16.07	Desborda	-17.26	Desborda	-18.71	Desborda
0 + 468	3.68	-11.81	Desborda	-14.38	Desborda	-15.90	Desborda	-17.09	Desborda	-18.54	Desborda
0 + 484	2.15	-13.34	Desborda	-15.91	Desborda	-17.43	Desborda	-18.62	Desborda	-20.07	Desborda
0 + 520	9.36	-6.13	Desborda	-8.70	Desborda	-10.22	Desborda	-11.41	Desborda	-12.86	Desborda
0 + 536	9.15	-6.34	Desborda	-8.91	Desborda	-10.43	Desborda	-11.62	Desborda	-13.07	Desborda
0 + 604	11.61	-3.88	Desborda	-6.45	Desborda	-7.97	Desborda	-9.16	Desborda	-10.61	Desborda
0 + 616	7.38	-8.11	Desborda	-10.68	Desborda	-12.20	Desborda	-13.39	Desborda	-14.84	Desborda
0 + 664	15.53	0.04	No desborda	-2.53	Desborda	-4.05	Desborda	-5.24	Desborda	-6.69	Desborda
0 + 720	1.16	-14.33	Desborda	-16.90	Desborda	-18.42	Desborda	-19.61	Desborda	-21.06	Desborda

Tabla 1.37 Tirantes de agua para cada sección transversal y para los diferentes períodos de retorno (en metros)

	tr = 2	tr = 5	tr = 10	tr = 25	tr = 50	tr = 100	tr = 250	tr = 500	tr = 1000	tr = 2000
0 + 000	0.85	1.20	1.30	2.89	3.70	3.89	4.15	4.30	4.42	4.56
0 + 020	0.95	1.27	1.33	1.96	2.27	2.47	2.72	2.86	2.98	3.12
0 + 040	0.55	0.66	0.69	1.28	1.57	1.76	2.01	2.15	2.26	2.40
0 + 060	0.47	0.68	0.73	1.79	2.36	2.71	3.15	3.42	3.62	3.87
0 + 080	0.55	0.76	0.84	1.21	1.88	2.26	2.75	3.04	3.27	3.55
0 + 132	0.45	0.65	0.69	1.70	2.26	2.59	3.02	3.27	3.47	3.71
0 + 162	0.60	0.85	0.92	2.04	2.68	3.05	3.52	3.80	4.01	4.28
0 + 247	0.43	0.59	0.61	1.32	1.73	1.97	2.28	2.46	2.60	2.77
0 + 302	0.37	0.53	0.57	1.25	1.67	1.91	2.21	2.39	2.53	2.70
0 + 336	0.25	0.36	0.39	0.93	1.26	1.44	1.69	1.83	1.94	2.08
0 + 409	0.26	0.35	0.38	0.89	1.20	1.38	1.61	1.74	1.85	1.98
0 + 468	0.24	0.33	0.36	0.83	1.11	1.28	1.48	1.61	1.70	1.82
0 + 484	0.25	0.35	0.38	0.92	1.24	1.42	1.66	1.80	1.91	2.04
0 + 520	0.28	0.41	0.44	1.07	1.44	1.66	1.93	2.09	2.22	2.37
0 + 536	0.30	0.43	0.46	1.09	1.45	1.66	1.93	2.09	2.21	2.37
0 + 604	0.30	0.43	0.46	1.09	1.60	1.82	2.10	2.26	2.39	2.55
0 + 616	0.24	0.34	0.36	0.79	1.04	1.18	1.36	1.47	1.56	1.66
0 + 664	0.24	0.36	0.39	0.91	1.18	1.35	1.62	1.75	1.86	1.98
0 + 720	0.24	0.32	0.35	0.84	1.13	1.30	1.51	1.64	1.74	1.86

1.5.3.9 Criterios de evaluación de la vulnerabilidad física

Para identificar la vulnerabilidad por inundación en la localidad de Santa María Jajalpa, se utilizó un mapa, en formato de Auto Cad (figura 1.78), que para efectos del cálculo del valor catastral elaboró la Secretaría de Finanzas del Municipio de Tenango del Valle y una base de datos con información de cada uno de los lotes que conforman la comunidad (tabla 1.39).

El primer paso fue georeferenciar dicho mapa y montarlo en el programa ArcGis v. 9.0, para digitalizar cada uno de los lotes que conforman la localidad, con la finalidad de tener un archivo “shape” de polígonos (cada polígono representa un lote) y asociarle la información de la base de datos de catastro.

Para el caso de estudio, se decidió no levantar las características físicas de todas las viviendas que conforman la localidad, debido a que los problemas por inundaciones están claramente ubicados en una zona del poblado. Por ello, se tomaron sólo las cuadras aledañas a las calles Vicente Guerrero y Libertad (figura 1.79).

Tipología de la Vivienda

La vulnerabilidad por inundaciones que se maneja como representativa de la comunidad de Santa María Jajalpa, como se menciona en la sección 1.3, se refiere a los bienes que tiene la población dentro de sus viviendas, conocida como menaje. En este caso no se considera la pérdida total de las viviendas ni de vidas humanas; sin embargo, para clasificar el tipo de vivienda en cuestión y con ello inferir la vulnerabilidad de cada vivienda, el conocimiento de los materiales usados tanto en el techo como en los muros de la misma es básico.

Dado que previamente se definió el área de afectación, se procedió a identificar el material usado en los muros y en el techo de cada vivienda. De lo anterior, resultó el levantamiento de 715 viviendas, cuyos detalles se muestran a continuación.

Tabla 1.38 Cuantificación del número de viviendas, según el material usado en sus muros

Tipo de muros	No. de casos
Ninguno	171
Cartón o plástico	2
Piedra	4
Láminas de cartón	--
Bahareque	--
Adobe sin repellado	102
Madera	--
Adobe con repellado	52
Mampostería sin elementos de concreto	245
Mampostería con elementos de concreto	139
Total	715

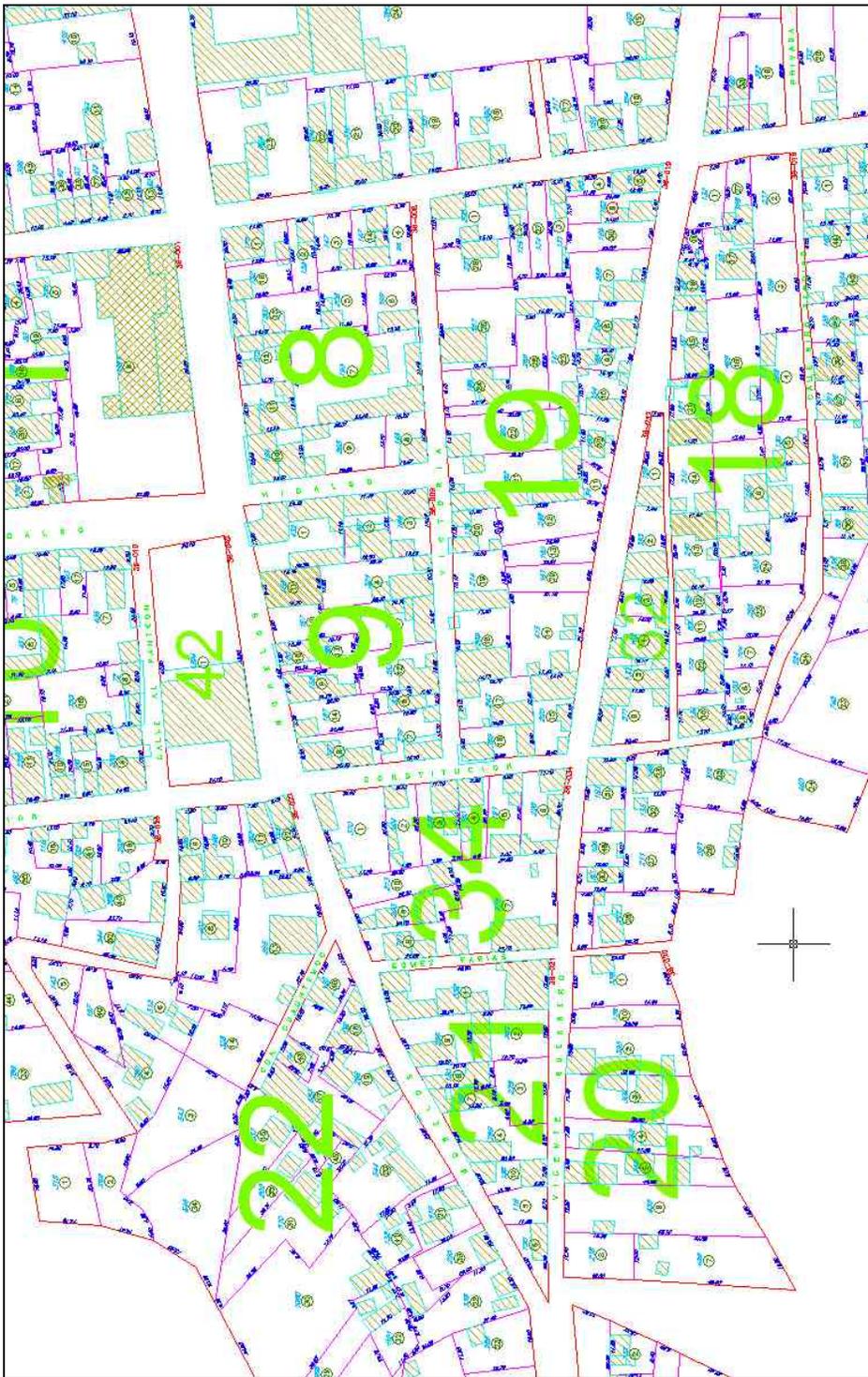


Figura 1.78 Ejemplo de la información digital disponible (fuente: oficina de catastro, Mun. Tenango del Valle)

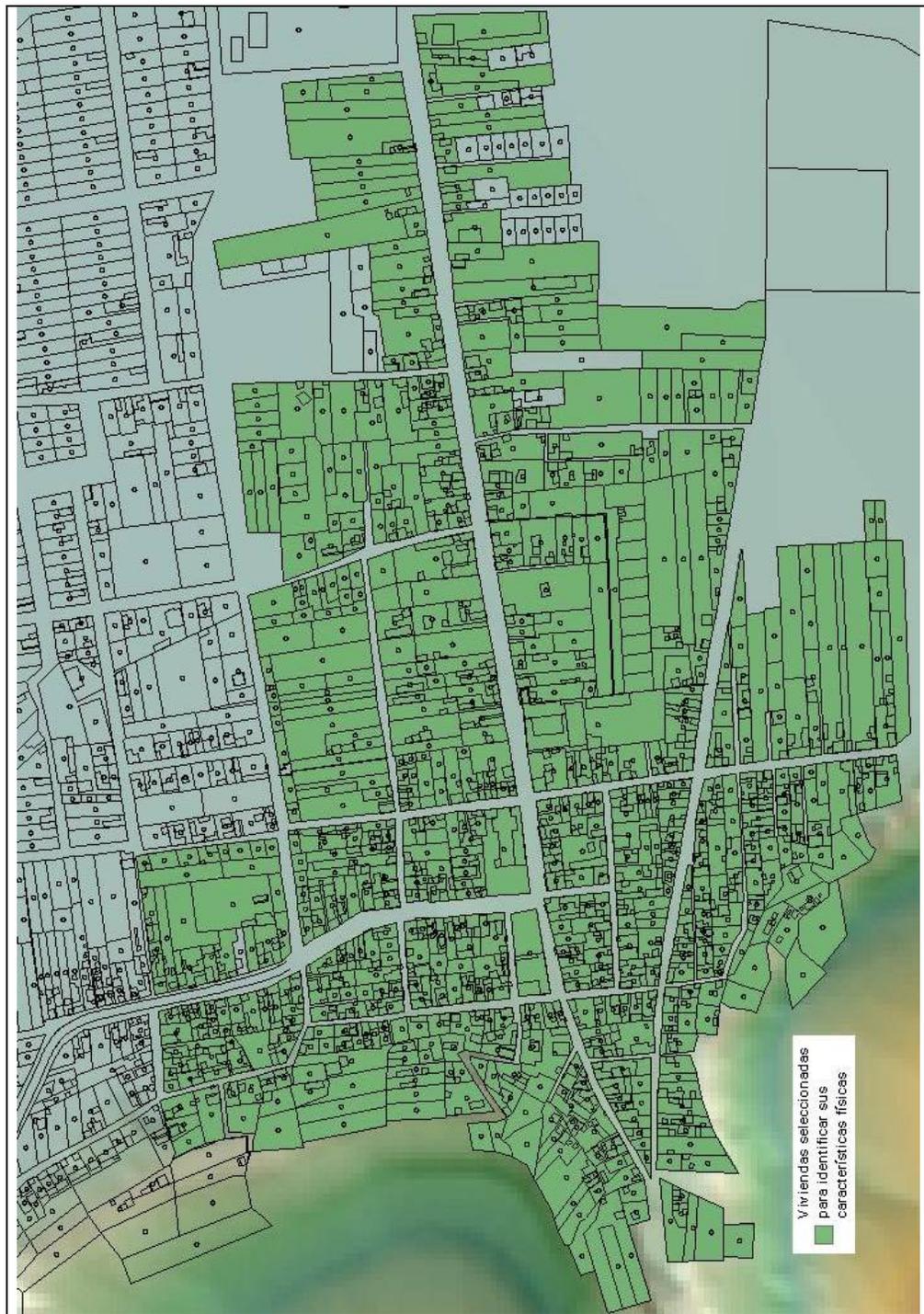


Figura 1.79 Selección de las viviendas para identificar sus características físicas

Tabla 1.40 Cuantificación del número de viviendas, por el material usado en su techo

Tipo de techos	No. de casos
Ninguno	171
Cartón o plástico	--
Lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)	114
Palma	--
Teja	123
Losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla	175
Losa de concreto ligada	132
Total	715

Tabla 1.41 Identificación del tipo de viviendas

Características	No. de casos
Lotes baldíos:	171
Vivienda Tipo I:	2
Vivienda Tipo II:	31
Vivienda Tipo III:	75
Vivienda Tipo IV:	129
Vivienda Tipo V:	307
Total	715

Después de analizar la información anterior, se creó la base de datos siguiente. Cabe aclarar que sólo se muestra una parte de ésta:

Tabla 1.42 Ejemplo de la base de datos generada a partir de las características físicas de las viviendas

D	Manzana	No_lote	Catastro	Muros	Techo	Desnivel	Tipo	Vulnerabilidad	Pisos
0	1	1	hb1	7	5	0	15	V	2
0	1	2	hb1	9	6	0	24	V	2
0	1	3	baldío	0	0	0	0	Baldío	2
0	1	4	ha1	5	2	0	7	II	2
0	1	5	hb1	9	6	10	24	V	2
0	1	6	iglesia	8	5	0	19	V	0
0	1	7	hb1	9	6	0	24	V	2
0	1	8	hb1	0	0	0	0	Baldío	1
0	1	9	hb1	0	0	0	0	Baldío	2
0	1	11	hb1	9	6	0	24	V	2
0	1	12	hb1	7	4	0	14	IV	1
0	1	13	hb1	9	6	30	24	V	1
0	1	14	hb1	8	5	0	19	V	1
0	1	15	hb1	0	0	0	0	Baldío	1
0	1	16	hb1	0	0	0	0	Baldío	1
0	3	5	baldío	0	0	0	0	Baldío	0
0	3	6	hb1	0	0	0	0	Baldío	1
0	3	7	hb1	0	0	0	0	Baldío	1
0	3	8	s/c	0	0	0	0	Baldío	0
0	3	14	hb1	0	0	0	0	Baldío	1
0	3	15	hb1	0	0	0	0	Baldío	1
0	3	16	baldío	0	0	0	0	Baldío	0
0	3	17	baldío	0	0	0	0	Baldío	0
0	3	18	ha1	0	0	0	0	Baldío	1
0	3	9	hb1	8	2	0	16	IV	1
0	3	4	baldío	0	0	0	0	Baldío	0
0	3	3	hb1	0	0	-20	0	Baldío	1
0	3	2	hb1	0	0	0	0	Baldío	2
0	3	1	s/c	0	0	0	0	Baldío	2
0	3	19	baldío	0	0	0	0	Baldío	0

Conformada la base de datos, en función de los materiales empleados y lo propuesto en la sección 1.3, se identificó el tipo de vulnerabilidad en cada caso (figura 1.80).

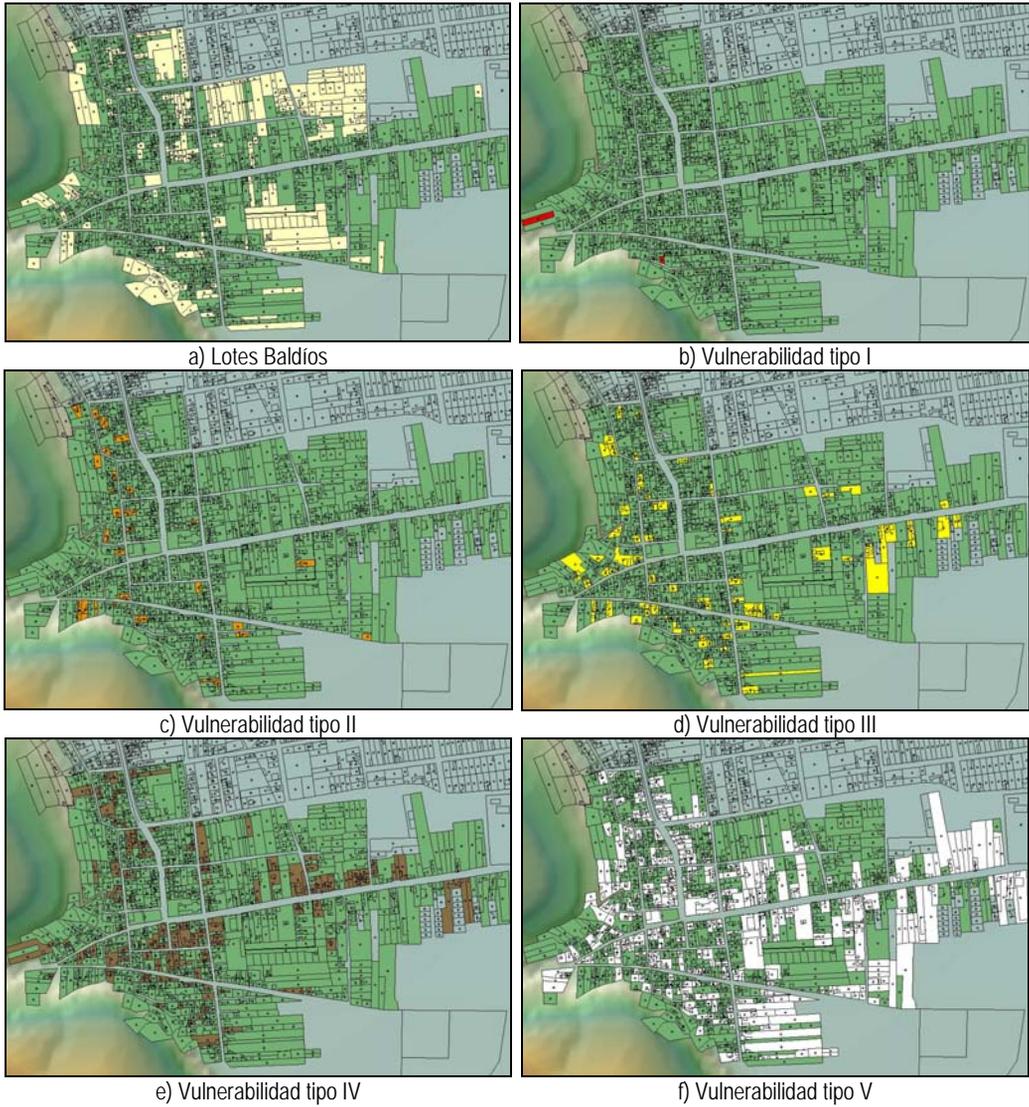


Figura 1.80 *Identificación de la vulnerabilidad por vivienda, en Santa María Jajalpa, Edo. Mex.*

Finalmente, la tipología definida para el caso de Santa María Jajalpa corresponde a su mapa de vulnerabilidad por inundaciones, el cual se muestra en la figura 1.81.

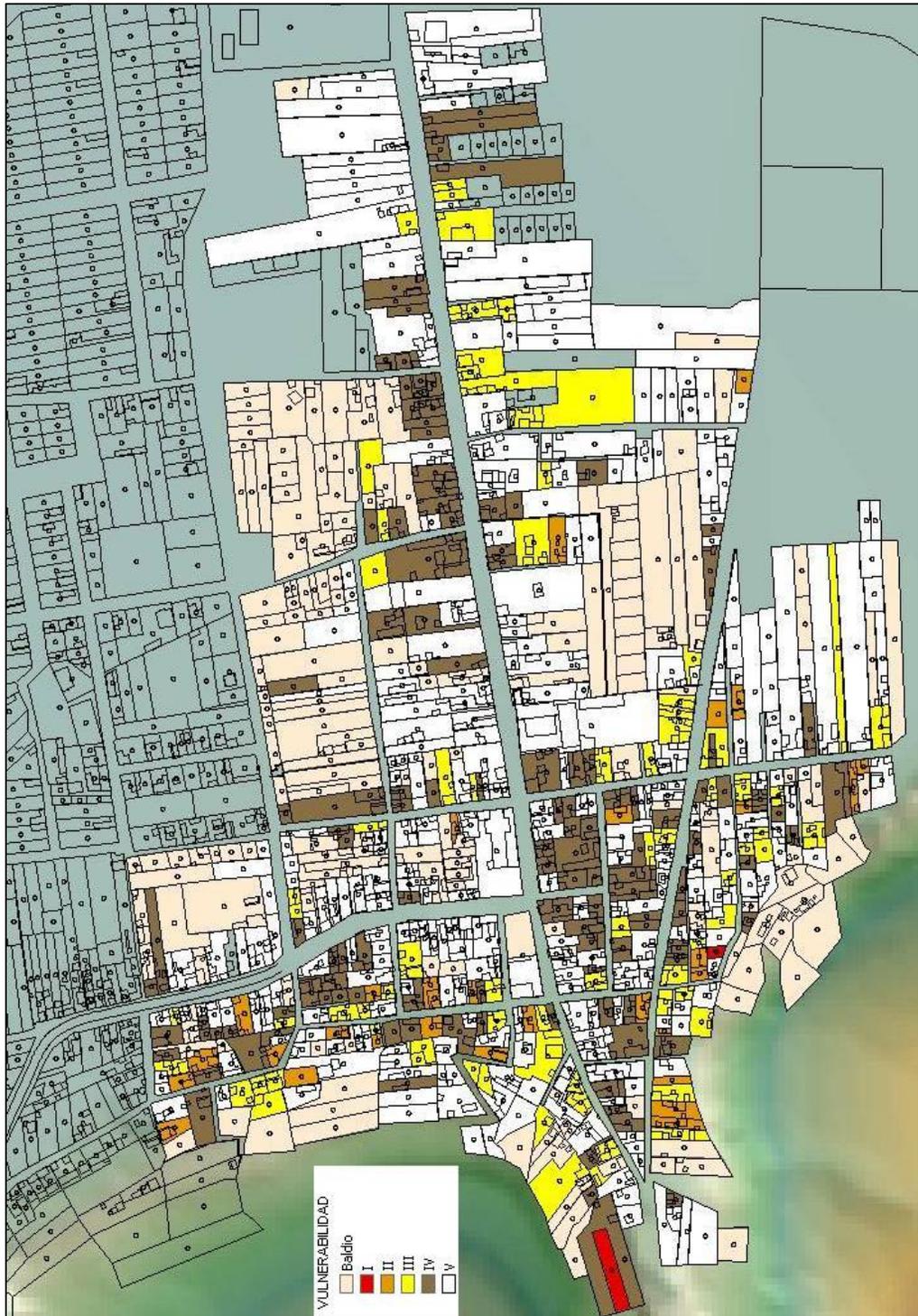


Figura 1.81 Mapa de vulnerabilidad por inundaciones de Santa María Jalalpa, Estado de México

Con este primer mapa, figura 1.81, es claro que la población misma tiene plenamente identificado su problema de inundaciones, por lo que sobre las calles Vicente Guerrero y Libertad, en la mayoría de los casos, las viviendas son menos vulnerables. Nótese que en un alto porcentaje, las casas caen en el tipo V, es decir, son casas con muros de mampostería reforzada y losa de concreto ligada con elementos estructurales.

Como se verá más adelante, al calcular los daños asociados para cada periodo de retorno analizado, en las viviendas donde su entrada ha sido sobreelevada (figura 1.82), tardan más en presentarse daños, aunque después de un cierto evento, una vez que el tirante de agua ha superado la sobreelevación, los daños dentro de la vivienda son similares a aquéllas en las que no se cuenta con esta medida.

Estimación de la vulnerabilidad

En función de los materiales usados para su construcción y de acuerdo con lo anterior, las viviendas se clasificaron en cinco niveles (tabla 1.43).

Tabla 1.43 Índice de vulnerabilidad según el tipo de vivienda

Tipo	Índice de vulnerabilidad	Color propuesto	Valor máximo de los daños
I	Alto	Rojo	\$12,500
II	Medio - alto	Naranja	\$50,000
III	Medio	Amarillo	\$150,500
IV	Medio – bajo	Verde	\$300,000
V	Bajo	Blanco	\$450,000



Figura 1.82 Identificación de viviendas con sobreelevación en su entrada

Por otra parte, las funciones de vulnerabilidad definidas en la sección 1.3 “Criterios de evaluación de la vulnerabilidad física”, de esta guía son:

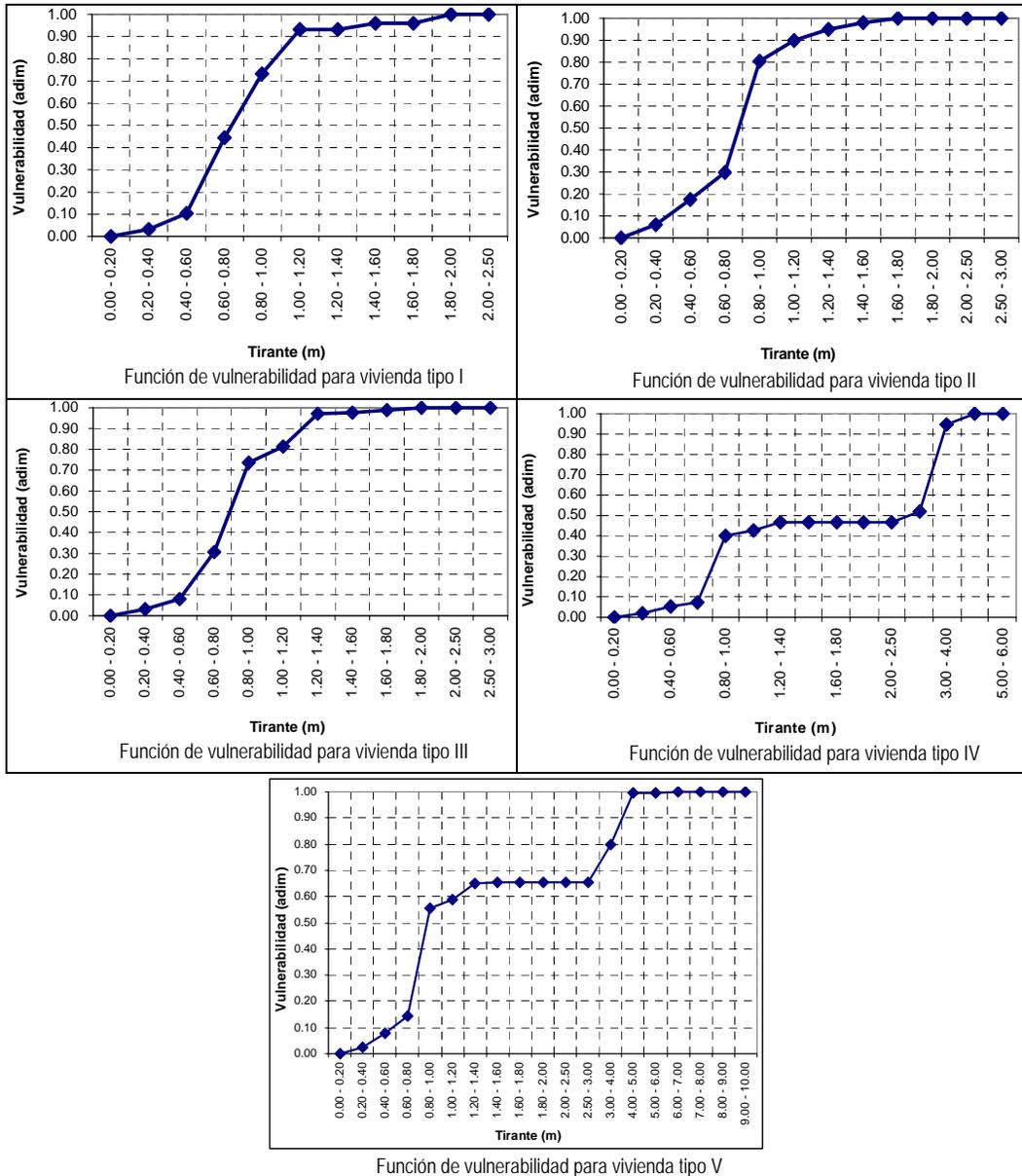


Figura 1.83 Funciones de vulnerabilidad para los diferentes tipos de vulnerabilidad de la vivienda

Esta parte finaliza una vez que se identificó la vulnerabilidad para cada una de las viviendas (tabla 1.43) y se asigna su correspondiente función de vulnerabilidad (figura 1.83).

1.5.3.10 Evaluación del riesgo

Para este punto, ya se ha terminado tanto el estudio de peligro como el de vulnerabilidad. Para la localidad de Santa María Jajalpa la estimación del riesgo por inundación se hizo de dos maneras:

- Para cada periodo de retorno analizado
- Para todos los periodos de retorno analizados

En ambos casos, el procedimiento usado para determinar los tirantes asociados con cada periodo de retorno, la estimación de la vulnerabilidad en cada caso, la definición de los daños en cada escenario y, finalmente el cálculo del riesgo asociado se realizó de acuerdo con el siguiente algoritmo:

Magnitud de la inundación (tirantes de agua en las diferentes secciones transversales

El tirante de agua calculado para sección y en cada escenario es el resultado de la primera parte de esta metodología (peligro), es decir, que ya ha sido procesada.

Como ejemplo, para el periodo de retorno de 2 años, el tirante para las diferentes secciones, (figura 1.75) se muestra en la tabla 1.44.

Tabla 1.44 Tirantes para el evento con periodo de retorno de 2 años

Sección Transversal	Tirante de agua (m)
0 + 000	0.85
0 + 020	0.95
0 + 040	0.55
0 + 060	0.47
0 + 080	0.55
0 + 132	0.45
0 + 162	0.60
0 + 247	0.43
0 + 302	0.37
0 + 336	0.25
0 + 409	0.26
0 + 468	0.24
0 + 484	0.25
0 + 520	0.28
0 + 536	0.30
0 + 604	0.30
0 + 616	0.24
0 + 664	0.24
0 + 720	0.24

Entre cada dos secciones transversales se promedia el tirante (figura 1.84) y esa es la elevación del agua con la que se define la vulnerabilidad de las viviendas.

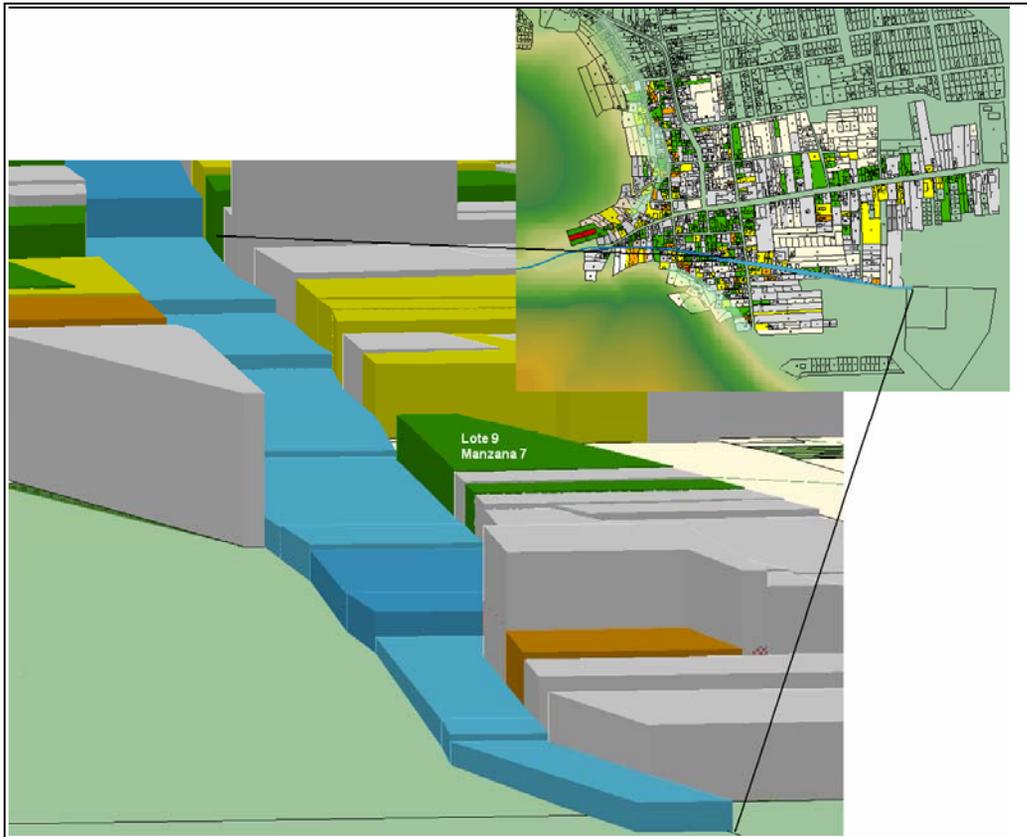


Figura 1.84 Tirante promedio entre secciones adyacentes

Estimación de la vulnerabilidad

Después de verificar los materiales en techo y muros de las viviendas e identificar el tipo al que corresponde (entre I y V), de acuerdo con las tablas 1.38, 1.39 y 1.40, se selecciona la función de vulnerabilidad correspondiente.

Por ejemplo, para la vivienda ubicada en la manzana 7, lote 9 (mostrada en la figura 1.84, sus características son las siguientes:

Muros: Mampostería sin elementos de concreto

Techo: Lámina

Nivel de desplante respecto de la calle: -0.20 m

El **tipo de vivienda** en cuestión es: 16

Por lo que le corresponde una **vulnerabilidad: IV**

La función de vulnerabilidad que debe usarse para estimar el porcentaje de pérdidas en esa vivienda es: tipo IV (figura 1.83).

De acuerdo con los resultados del peligro, el tirante promedio para $T_r = 2$ años, frente a esa vivienda es 0.24 m; sin embargo, en esta vivienda se tiene un desnivel de -0.20 m, es decir, que está desplantada 0.20 m por debajo del nivel de la calle. Lo anterior significa que cuando el agua entre de la calle a la vivienda, tendrá una altura de $0.24 + 0.20 = 0.44$ m. Al entrar a la gráfica de la figura 1.83 con 0.44 m, resulta una vulnerabilidad de 0.05.

Definición de los daños

De acuerdo con la tipología de las viviendas (tabla 1.43), para el tipo IV se tiene que el monto total del menaje expuesto es de \$300,000. Adicionalmente, sabiendo que para un tirante de 0.24 m el porcentaje de pérdidas en la vivienda ubicada en el lote 9 de la manzana 7, será igual al 5% del valor del menaje en la misma, el total de las pérdidas sería:

$$(\$300,000)(0.05) = \$15,000$$

Cálculo del riesgo

Para definir el riesgo en cada vivienda, es necesario llevar a cabo los tres pasos anteriores para cada lote, es decir, calcular los daños en toda la localidad, o en la zona afectada. Posteriormente, el rango en el que varían las pérdidas (desde la mínima hasta la máxima, de acuerdo con lo que se haya calculado) se divide en intervalos y cada vivienda se ubica en el que le corresponda.

Para cada periodo de retorno analizado (escenarios)

Para cada uno de los periodos de retorno analizados en la parte de peligro, se calcularon las elevaciones alcanzadas por el agua (tirantes) en las diferentes secciones que se obtuvieron del levantamiento topográfico (figura 1.77), sobre la calle Vicente Guerrero, en función del gasto.

Dado que algunas de las viviendas fueron desplantadas por encima de la calle, se realizan las tareas siguientes:

1. Comparar el tirante de agua respecto a la elevación de desplante de la vivienda. Si el tirante está por debajo del nivel de la entrada de la vivienda (este está sobreelevada o no) no entra agua en la vivienda, en caso contrario la vivienda sí es afectada por una inundación. Para determinar la altura de la inundación dentro de la vivienda, al tirante de agua se le resta la sobreelevación.
2. Con ese valor (tirante real) se entra a la función de vulnerabilidad correspondiente, de acuerdo con el tipo de vivienda del que se trate, para estimar el porcentaje de daños.
3. Para estimar el riesgo, ese porcentaje de daños se multiplica por el valor de cada vivienda y por la probabilidad de ocurrencia del evento (tabla 1.43).

$$R(i) = C P(i) V(i)$$

donde:

- R_p riesgo para el próximo evento con periodo de retorno "i", pesos
 C Costo de la vivienda, en función de su tipología, pesos
 $P(i)$ Probabilidad de ocurrencia del evento con periodo de retorno "i", adimensional (ver anexo 3)
 $V(i)$ Vulnerabilidad de cada vivienda, adimensional

Tabla 1.45 Probabilidad de ocurrencia de un evento en función del T_r

$T_r(i)$	$P(i)$
2	0.6000
5	0.2000
10	0.1200
25	0.0400
50	0.0200
100	0.0120
250	0.0040
500	0.0020
1000	0.0010
2000	0.0006

Escenario para periodo de retorno de 2 años

De acuerdo con el análisis realizado (figura 1.85a), aún para este periodo de retorno, resulta que existen algunas viviendas con problemas de inundación, principalmente en la parte inicial de la calle (que es la parte más estrecha, por lo que se presentan los mayores tirantes).

De acuerdo con los resultados del análisis, aunque esta recurrencia es muy frecuente (0.60), existen viviendas que son afectadas por la entrada de agua; al examinar el valor de los tirantes de agua que se presentan en la zona afectada (figura 1.85b), se observa que éstos son relativamente pequeños, por lo que los daños originados dentro de cada vivienda (figura 1.85c) es bajo. Por último, el valor de los daños para un evento correspondiente a $T_r = 2$ años (figura 1.85d), tiene un valor del riesgo de \$556,872.



Figura 1.85a Lotes inundados para $T_r = 2$ años



Figura 1.85b Vulnerabilidad en los lotes inundados para $T_r = 2$ años



Figura 1.85c Daños por inundación para $T_r = 2$ años



Figura 1.85d Riesgo de inundación para $Tr = 2$ años

Escenario para periodo de retorno de 100 años

Aunque en este escenario (figuras 1.86) el tirante promedio sube un 36%, alcanzando los 2.31 m, la vulnerabilidad sólo se incrementa 2%.

Para este escenario, en el 29% de las viviendas se tiene una pérdida mayor al 80%, y de ellas, el 25% es pérdida total. A partir de este evento, las viviendas que son afectadas ya no cambian en número, sólo en la cantidad del daño.

Para este escenario, los daños son de \$104,354.



Figura 1.86a Lotes inundados, $Tr = 100$ años

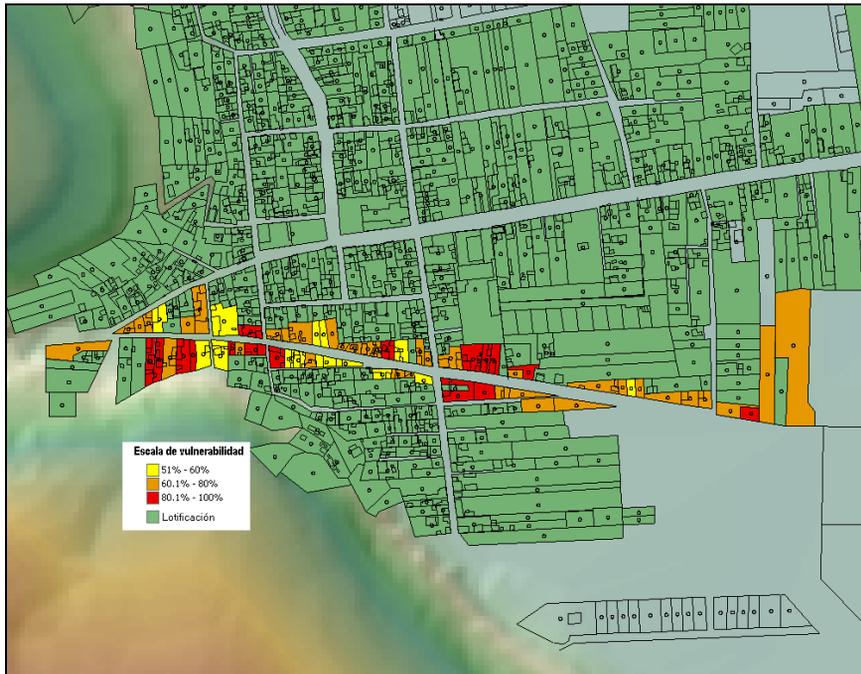


Figura 1.86b Vulnerabilidad en los lotes inundados, $Tr = 100$ años

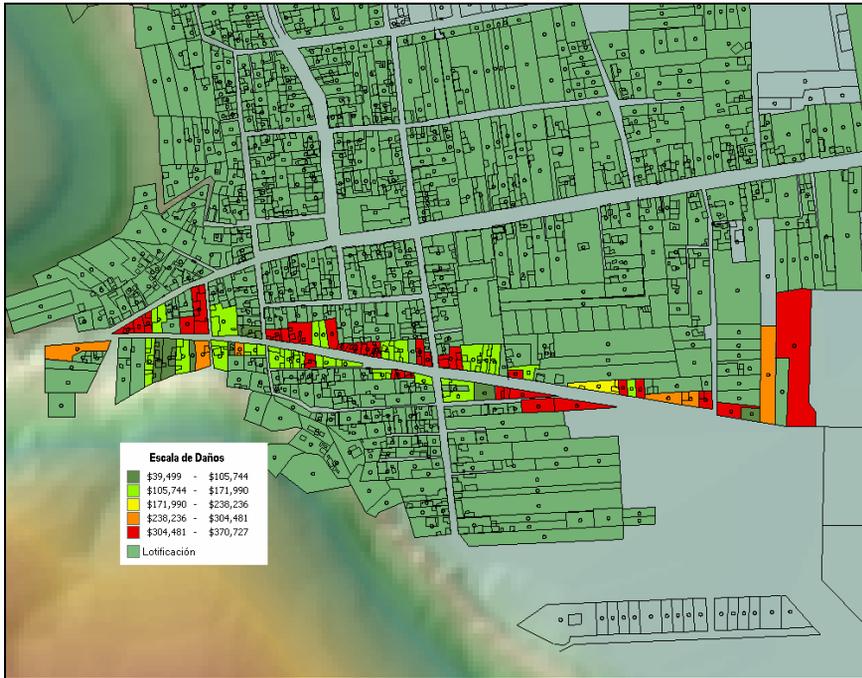


Figura 1.86c Daños por inundación, $Tr = 100$ años



Figura 1.86d Riesgo de inundación, $Tr = 100$ años

De la misma forma en la que se analizaron los periodos de retorno de 2 y 100 años, se procede para todo el rango que se sugiere en esta guía (2, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000 y 2000). El resultado para cada uno de los escenarios que se estudian, se presenta en el anexo 2 de esta guía y, la tabla 1.46 es un resumen de ellos.

Tabla 1.46 Resultados del análisis de riesgo para diferentes periodos de retorno

No.	Periodo de retorno (años)	Caudal (m ³ /s)	Tirante promedio (m)	Vulnerabilidad promedio (adim)	Daños (Miles de \$)	Riesgo (Miles de \$)	Riesgo acumulado (Miles de \$)	Variación del riesgo (%)
1	2	5.46	0.30	0.07	928	557	557	0%
2	5	7.84	0.46	0.14	1,814	363	920	39%
3	10	8.50	0.50	0.16	2,073	249	1,168	21%
4	25	20.36	1.26	0.68	8,012	320	1,489	22%
5	50	27.55	1.70	0.72	8,477	170	1,658	10%
6	100	31.62	2.31	0.74	8,696	104	1,763	6%
7	250	36.88	2.55	0.77	9,195	37	1,800	2%
8	500	39.99	2.69	0.80	9,644	19	1,819	1%
9	1000	42.42	2.81	0.83	10,053	10	1,829	1%
10	2000	45.37	2.94	0.86	10,512	6	1,835	0%

Con ella se pueden hacer varias observaciones: Conforme aumenta el periodo de retorno crecen los escurrimientos y, consecuentemente, el tirante promedio en la localidad (elevación media del agua en la zona afectada). Dado que una de las características de la función de vulnerabilidad es que es creciente, para mayores periodos de retorno, son de esperarse valores de vulnerabilidad mayores y, por lo tanto, un incremento en los daños (figura 1.87).

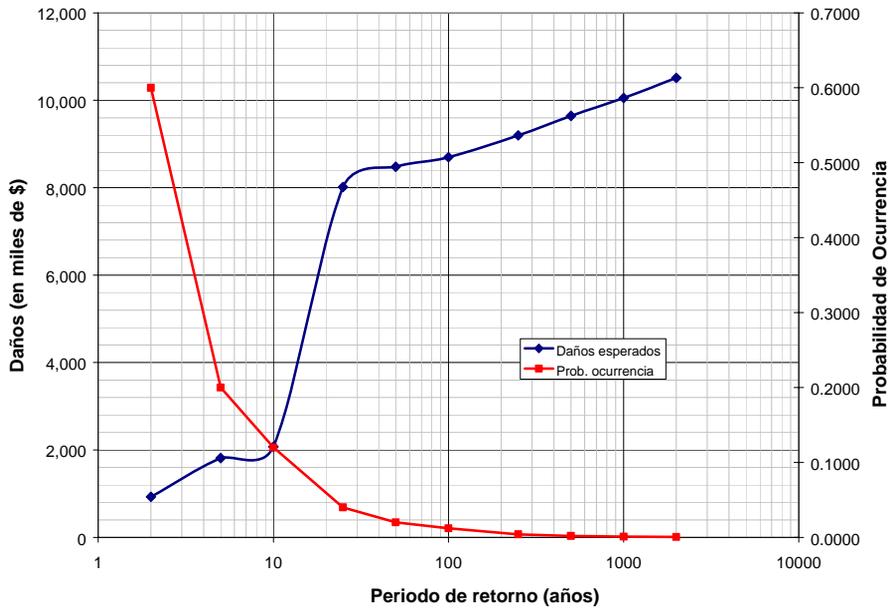


Figura 1.87 Variación de los daños y la probabilidad de ocurrencia en función del periodo de retorno

El resultado que llama la atención es el correspondiente al riesgo para cada escenario ya que, a diferencia de las variables anteriores, éste decrece, debido a que la probabilidad de ocurrencia disminuye más rápidamente (figura 1.87), por lo que el producto final disminuye para los eventos más grandes.

Una vez obtenidos los resultados anteriores, y dibujándolos en una gráfica, es posible visualizar que para periodos de retorno mayores a 100 años, ya no es significativo el análisis puesto que al multiplicar por su probabilidad de ocurrencia, el producto $V \times P$ disminuye mucho (esto mismo puede verse en la tabla 1.46, en la columna llamada “variación del riesgo”), luego entonces, no será necesario analizar todos los escenarios propuestos.

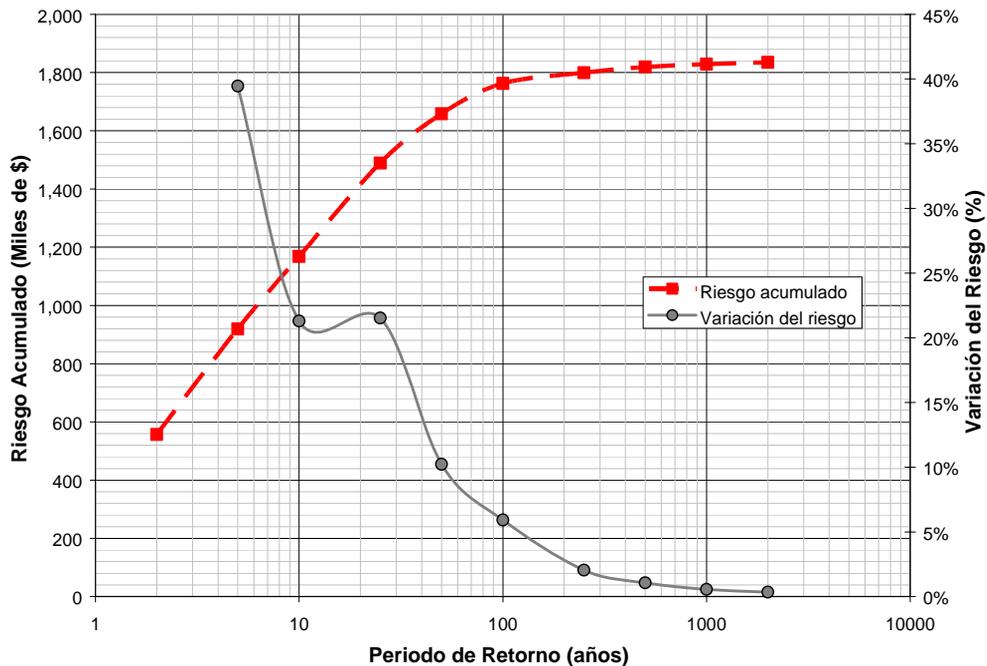


Figura 1.88 Riesgo acumulado y variación del mismo de acuerdo con el periodo de retorno

La figura anterior permite observar que para periodos de retorno mayores a 100 años, la variación del riesgo es menor al 5%, por lo que su análisis y posterior inclusión en los resultados, no representa una variación significativa de los resultados.

Daños para todos los periodos analizados (valor esperado de los daños)

Para el caso en el que interesa realizar una planeación a mediano y largo plazo, en la que sea posible identificar claramente las zonas donde se ubican los mayores daños con la finalidad de eliminarlos, o al menos disminuirlos, se requiere el uso de un mapa que contenga el valor esperado de los daños por inundación, en cualquier momento.

En este caso se estima el valor esperado de los daños (riesgo) de los bienes expuestos que se tiene año con año, mediante la sumatoria del producto de las funciones de vulnerabilidad, peligro y el valor de los bienes expuestos de cada vivienda:

$$R(i) = C \sum_{i=1}^n P(i) V(i)$$

donde:

- $R(i)$ Riesgo ante el próximo evento, pesos
- C Costo de la vivienda, en función de su tipología, pesos
- $P(i)$ Probabilidad de ocurrencia del evento con periodo de retorno "i", adimensional
- $V(i)$ Vulnerabilidad de cada vivienda, adimensional

Los valores usados para la probabilidad de ocurrencia son los mismos que aparecen en la tabla 1.43. Este último producto puede ser presentado de dos formas diferentes:

Valor esperado de los daños

La siguiente ecuación sirve para calcular el riesgo por inundación en una vivienda y para un evento dado; sin embargo, la estimación del riesgo en una vivienda en particular, para todo el rango de eventos por analizar está dado por:

$$R_j = \sum_{i=1}^n C_j P(i) \cdot V_j(Y_i)$$

Mientras que, para estimar el riesgo de la localidad completa, o al menos la zona con problemas de inundación, se procede a sumar el valor del riesgo para todas las viviendas:

$$R_{municipal} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_j P(i) \cdot V_j(Y_i)$$

donde:

- n índice que se refiere al número total de viviendas en la localidad
- m índice que se refiere al número total de eventos por analizar

El mapa de la figura 1.89 muestra el valor esperado de los daños, en términos monetarios.

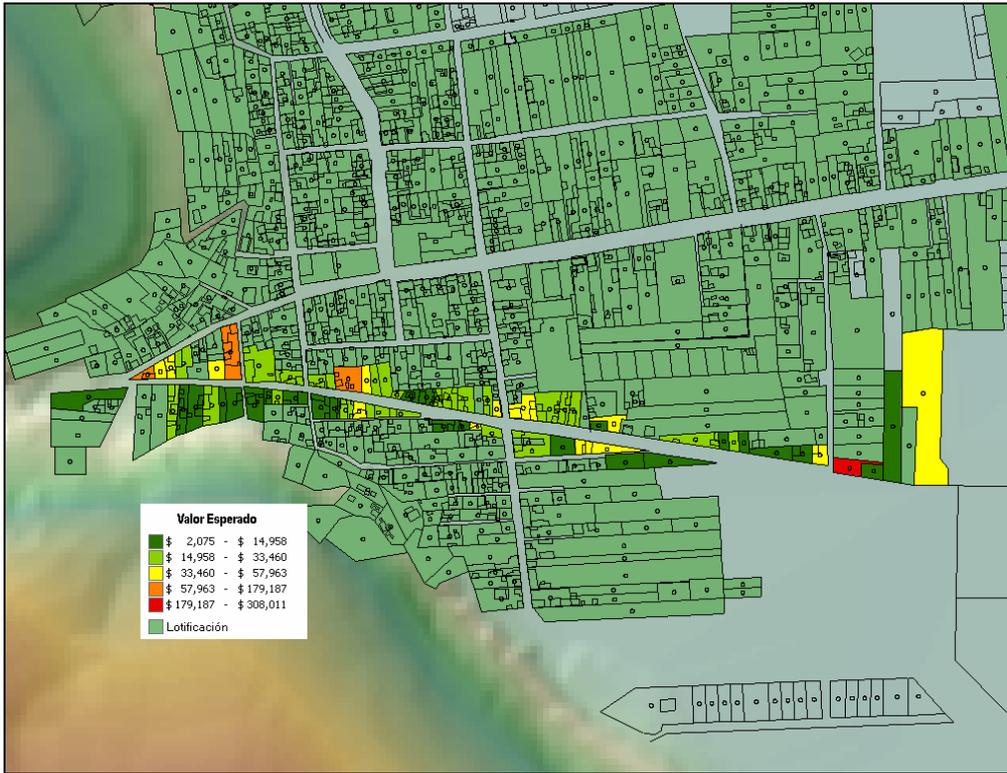


Figura 1.89 Valor esperado de los daños

Índices de riesgo

Para presentar la información en un mapa de índices de riesgo, previamente se debe normalizar el valor de los daños, para después expresarla con una escala de cero a uno, con la finalidad de identificar las zonas con mayores pérdidas.

$$I_{R_j} = \frac{R_j}{C_{MAX}}$$

donde:

- I_{R_j} Índice de riesgo para la vivienda “j”, adimensional
- C_{MAX} valor del bien expuesto más alto dentro de la localidad, pesos
- R_j valor esperado para la vivienda “j”, pesos

R_j será	Bajo	si	$0.00 < I_{R_j} < 0.33$
R_j será	Medio	si	$0.33 < I_{R_j} < 0.67$
R_j será	Alto	si	$0.67 < I_{R_j} < 1.00$

Para el caso del ejemplo, con la finalidad de conseguir una mejor distribución de los índices de riesgo, se tomaron cinco rangos uniformemente distribuidos. El resultado se presenta en la figura 1.90.



Figura 1.90 Índice de riesgo

De acuerdo con los resultados del análisis, es de esperarse que la vivienda más dañada sea la correspondiente al lote 7 de la manzana 6, debido principalmente a que se encuentra construida 1.00 m por debajo del nivel medio de la calle, lo que ocasiona que para cualquier evento, el tirante de agua en la misma tenga un incremento de 1.00 m. Adicionalmente, esta vivienda es del tipo V, es decir, de las más caras.

De igual manera, los siguientes lotes que deben contar con atención para disminuir su riesgo, son:

No.	Manzana	Lote
1	19	14
2	21	1
3	21	6
4	21	10
5	18	19
6	19	5
7	19	29

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la metodología mostrada en esta guía se puede estimar el peligro, la vulnerabilidad y el riesgo por inundación en una comunidad rural que esté influenciada por algún arroyo o río que la cruce o fluya cerca de ella.

La aplicación de esta metodología no es una tarea trivial, por lo que se deben aprovechar los recursos humanos y materiales disponibles. Por ejemplo, se sugiere apoyarse en estudiantes de carreras técnicas y sociales, tales como ingeniería, arquitectura, sociología o psicología que mediante su servicio social desempeñen actividades relacionadas con la metodología, como pueden ser los levantamientos de las secciones transversales de la corriente, la clasificación de viviendas o las pruebas de campo para estimar el volumen de material que puede ser arrastrado.

Aun cuando es posible llevar a cabo la aplicación de esta metodología con equipo básico, se recomienda contar con computadoras y sistemas de información geográfica, así como equipo de topografía y un GPS.

Esta guía proporciona los elementos básicos para la elaboración de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas, aunque carece de un módulo que lleve a cabo la modelación de una avenida por un cauce o por una planicie. Lo anterior debe llevarse a cabo mediante modelos matemáticos, normalmente aplicados en software especializado.

El propósito de elaborar los mapas de riesgo por inundaciones es:

- Identificar aquellas zonas donde puede ocurrir, en el futuro, que la población pierda sus bienes y, en el caso de que se trate de avenidas súbitas, de su misma integridad física,
- Identificar sitios de interés para estudios más formales y exhaustivos, y
- Analizar escenarios en los que se pongan a prueba diferentes medidas de mitigación, con objeto de priorizar cada una de éstas, en función de un estudio costo – beneficio.

En el caso de Santa María Jalapa, al calcular la pendiente de la cuenca, se encontró que esta variable no es una condición suficiente para que existan avenidas súbitas; sin embargo, el tiempo de concentración de la cuenca, indica que sí es susceptible a las avenidas súbitas. Con este ejemplo de aplicación se pone de manifiesto, que el parámetro más importante para definir si una inundación es súbita o no, es el tiempo de concentración.

En la guía, se ha planteado la elaboración de funciones de vulnerabilidad tomando en cuenta sólo el menaje de la vivienda. Se ha tratado de ubicar a la vivienda de acuerdo con su tipo, dentro de una escala que va desde un asentamiento irregular hasta una residencia, con la finalidad de inferir el menaje “promedio” de la casa, de acuerdo con el tipo de la misma. La tipificación de la vivienda trata de englobar las características de los diferentes tipos de casas que pueden encontrarse en el país, por lo que cualquier vivienda puede ser catalogada en uno de los cinco rangos propuestos.

De la identificación del tipo de las viviendas, con base en los materiales de construcción usados, se observó que la población de Santa María Jalapa está consciente de su vulnerabilidad, ya que un alto porcentaje de las casas ubicadas a lo largo de la calle – canal “Vicente Guerrero” son de mampostería y concreto. Con la finalidad de evitar grandes daños ante la ocurrencia de un evento extraordinario, el resto de las casas que no caen dentro del tipo V, deberán disminuir su vulnerabilidad, es decir, pasar a muros de mampostería y losa de concreto.

Asimismo, una segunda acción que puede llegar a reducir su vulnerabilidad y que se encontró en varias de las casas de la localidad, consiste en elevar la entrada de la misma. Aunque esta medida sólo funciona para eventos con un corto periodo de recurrencia (hasta 50 años, aunque en algunos casos, comienzan a tener problemas con eventos más pequeños) es posible evitar un porcentaje importante de los daños asociados con eventos menores a dicho valor.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de riesgo, la recomendación que se obtiene es que para localidades donde el valor de los bienes expuestos no es alto, es suficiente trabajar con periodos de retorno hasta de 100 años. En el caso de que estén en peligro vidas humanas, o el valor de los bienes expuestos sea muy alto, por ejemplo en zonas urbanas o complejos especiales (aeropuertos, petroquímicas, etc.) se recomienda hacer el análisis hasta los 2000 años.

Dado que la predicción del fenómeno de avenidas súbitas es imposible de realizar con mucho tiempo de anticipación por la propia naturaleza de su generación, se recomienda:

- Aplicar un programa de concientización e información en la población, sobre el riesgo al que están expuestos por avenidas súbitas, para que estén preparados y sepan qué hacer antes, durante y después de un evento de tales características.
- Poner señales de aviso de peligro por avenidas súbitas donde mayor impacto tienen éstas, al inicio de la zona urbana (donde comienzan las calles Vicente Guerrero y Morelos, hacia su cruce con la calle Constitución), para que la población esté enterada que ante la ocurrencia de una precipitación intensa esa zona es de alto peligro. En otros países tienen señalizaciones como las que se muestran a continuación, de donde se puede tomar la idea para ilustrar el peligro por avenidas súbitas en Jajalpa.



Figura 1.91 Señalización sobre peligro por avenidas súbitas en E.U. (traducción: ¡Suba la pendiente por seguridad en caso de una avenida súbita!)

- Instalar una estación medidora de lluvia en la parte alta de la cuenca, para iniciar el registro histórico de lluvia en la zona y obtener, con el tiempo, el umbral de lluvia por avenidas súbitas en Jajalpa.

La principal actividad económica de la población en Santa María Jajalpa es la agricultura. Más del 90% de la superficie de la cuenca del río Barranca San Joaquín son campos de cultivo, así entonces la recomendación para evitar la erosión en las laderas de esta cuenca es la construcción de terrazas (ver anexo 4).

En el futuro se incorporará el análisis de la vivienda misma, donde el objetivo es tratar de identificar el grado de resistencia y su comportamiento ante diferentes inundaciones, para estar en posibilidad de identificar cuáles viviendas pueden sufrir daños, en qué grado y cuáles no.

En un análisis de riesgo más completo, se deben tomar en cuenta los servicios básicos en la comunidad, por lo que, el siguiente paso debe estar encaminado a la elaboración de funciones de vulnerabilidad de escuelas, hospitales, carreteras, puentes, sistemas de agua potable, sistemas de alcantarillado, etc.

La estimación del riesgo elaborada con esta metodología conlleva a una valoración sujeta a errores de precisión debida a las hipótesis usadas para facilitar el análisis de los fenómenos que intervienen, como son:

- no considerar el efecto regulador en los cauces,
- no considerar las pérdidas de carga del flujo en el cauce,
- una mala definición de las características fisiográficas de la cuenca,
- posibles errores al efectuar el levantamiento de secciones, así como de la clasificación de viviendas,
- clasificación incorrecta del tipo de suelo, y
- falta de actualización de los mapas de lluvias, es decir, que no se consideren los eventos extraordinarios más recientes.

No obstante lo anterior, los resultados obtenidos son una buena aproximación de la realidad.

GLOSARIO

Abanico aluvial: Acumulación de materiales depositados por una corriente, con forma de cono o de abanico, que sale de zona de relieve abrupto (montañosa) hacia otra llana (planicie) y se expande.

Área de la cuenca: El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el partaguas.

Arroyo: Corriente de agua. Generalmente se atribuye a los ríos de bajo caudal.

Avenida: La avenida se produce sobre los ríos y es el incremento del nivel del agua en el río debido a que fluye un caudal mayor al que normalmente presenta.

Características fisiográficas: Son los rasgos propios de cada cuenca y su cauce principal, tales como el área de la cuenca y la pendiente del cauce principal.

Cauce. Lecho de los ríos y arroyos por donde corren las aguas producidas por la precipitación.

Cuenca endorreica: El punto de salida del cauce está dentro de los límites de la cuenca y por lo general es un lago

Cuenca exorreica: El punto de salida del cauce se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar

Cuenca homogénea: Una cuenca es homogénea cuando tiene las mismas características físicas y de almacenamiento en toda su área.

Cuenca: Es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia el mismo punto de salida

Erosión: Es el transporte de partículas sólidas por agentes externos, como son la lluvia y el viento.

Escurrimiento: Es el agua proveniente de la precipitación, circula sobre o bajo la superficie terrestre y llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

Gaviones: Contenedor en forma de cubo, formado con malla ciclónica y lleno de piedras, usado en obras hidráulicas, para formar con elementos de pequeño tamaño y peso, otros más grandes y pesados.

Gasto o caudal: 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.

Hidrograma: Es la representación gráfica de la variación continua del gasto en el tiempo. Para cada punto del hidrograma se conoce el gasto que está pasando en el sitio de medición. El área bajo la curva de esta gráfica es el volumen de agua que ha escurrido durante el lapso entre dos instantes.

Hidrología: Es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación, y distribución sobre y debajo de la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.

Histograma: Técnica estadística que permite dibujar los puntos obtenidos entre dos variables para representar la variación de una respecto de la otra.

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.

Isoyetas: Son líneas que unen puntos de igual precipitación.

Pendiente del cauce: Cuesta o declive de un cauce. Medida de la inclinación de un cauce.

Parteaguas: Es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas

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. En general, 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 de muchos años.

Levantamiento topográfico: Acción realizada para describir y delinear detalladamente la superficie de un terreno.

Red de Drenaje: La red de drenaje de una cuenca está integrada por un cauce principal y una serie de tributarios cuyas ramificaciones se extienden hacia las partes más altas de las cuencas

Respuesta hidrológica: Es la forma como actúa la cuenca luego de registrar una precipitación. Dicha respuesta define si el caudal registrado a la salida de la cuenca es mayor o menor y si tardará más o menos tiempo en registrarse. Depende de la intensidad y la duración de la lluvia, así como de las características fisiográficas de la cuenca.

Terraza: Es un tipo de muro de contención, que generalmente se construye del material disponible en el lugar (mampostería) y son de forma trapecial.

Tiempo de concentración: Es el tiempo que tarda en llegar la lluvia que cae en la parte más lejana hasta la salida de la cuenca.

Tirante: Elevación de la superficie del agua sobre un punto en el terreno.

BIBLIOGRAFÍA

Aparicio, “Fundamentos de Hidrología de Superficie”, Limusa, Noriega editores, Décima Reimpresión, 2001.

Bras R L, “Hydrology, an Introduction to Hydrologic Science”, Addison – Wesley Publishing Company, 1990.

Chow, V T, “Handbook of applied hydrology”, McGraw-Hill, New York, 1964.

Chow, V T, “Open-channel Hydraulics”, McGraw-Hill, New York, 1959.

Eslava M H, “Programación y Aplicación del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico”, tesis de maestría, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México 1997.

Fuentes M., O. A., *et al*, “Sistemas de Alerta Hidrometeorológica en Acapulco, Tijuana, Motozintla y Monterrey”, Informe Técnico, Coordinaciones de Investigación e Instrumentación, Área de Riesgos Hidrometeorológicos, Área de Instrumentación Hidrometeorológica, CENAPRED, diciembre 2002.

García J. Fermín, “Cálculo de sedimentogramas sintéticos en laderas”, tesis de doctorado en preparación, DEPFI, UNAM, México 2003.

García J. Fermín, *et. al.*, “Erosión en laderas”, cuaderno de investigación no. 24, CENAPRED, México 1995.

Gracia S. Jesús, “Erosión”, Fascículo No. 8, CENAPRED, México 1994.

Kirkby, Morgan, “Erosión de suelos”, LIMUSA, México 1984.

Rodríguez – Iturbe I. y Valdés J B, “The Geomorphologic Structure of the Hydrologic Response”, Water Resources Research, Vol. 15, No. 6, 1979.

Salas S., M. A. y Jiménez E., M., "Obtención de Mapas de Precipitación con Duraciones de una y 24 H y Tr = 5 Años aplicados en la Protección Civil", XIII Congreso Nacional de Meteorología, Los Cabos, México, noviembre 2003.

Springall G. R., “Hidrología, 1ra parte”, Series del Instituto de Ingeniería, No. D-7, abril 1970.

Strahler, A N, “Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology”, Trans Am Geophys Union. 38(6): 913 –920, 1957.

Valdés J B, Fiallo Y. y Rodríguez – Iturbe I, “A Rainfall – Runoff Analysis of the Geomorphologic IUH”, Water ResourCes Research, Vol. 15, No. 6, 1979.

Censo General de Población y Vivienda 2000, INEGI.

Vázquez C., M. T., *et al*, “Lluvias intensas en Santa María Jajalpa”, Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2001, serie 3 Impacto

socioeconómico de los desastres en México, p.p. 78-82, Coordinación de Investigación, CENAPRED, noviembre 2002.

Notas elaboradas por los Ingenieros Leobardo Domínguez Mora, María Teresa Vázquez Conde y por el Dr. José Lugo Hubp a partir de la visita de campo a Santa María Jajalpa.

<http://www.chapingo.mx/terra/contenido/18/2/art93-101.pdf>