



Serie: Atlas Nacional de Riesgos

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

Fenómenos Hidrometeorológicos



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

SECRETARÍA DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN CIUDADANA

Rosa Icela Rodríguez Velázquez

SECRETARIA DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN CIUDADANA

Laura Velázquez Alzúa

COORDINADORA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL

Enrique Guevara Ortiz

DIRECTOR GENERAL CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED)

1ª edición, noviembre 2006

Versión electrónica, 2021

Ciudad de México

© SECRETARÍA DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN CIUDADANA

Avenida Constituyentes 947, edificio B, planta alta

Colonia Belén de las Flores

Álvaro Obregón, C. P. 01110, Ciudad de México

Teléfono: 55 1103 6000

<https://www.gob.mx/sspc>

© CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Av. Delfín Madrigal 665,

Col. Pedregal de Santo Domingo,

Coyoacán, C. P. 04360, Ciudad de México

Teléfono: 55 5424 6100

www.gob.mx/cenapred

Comentarios: editor@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.

Óscar 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



Serie: Atlas Nacional de Riesgos

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

Fenómenos Hidrometeorológicos



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

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:

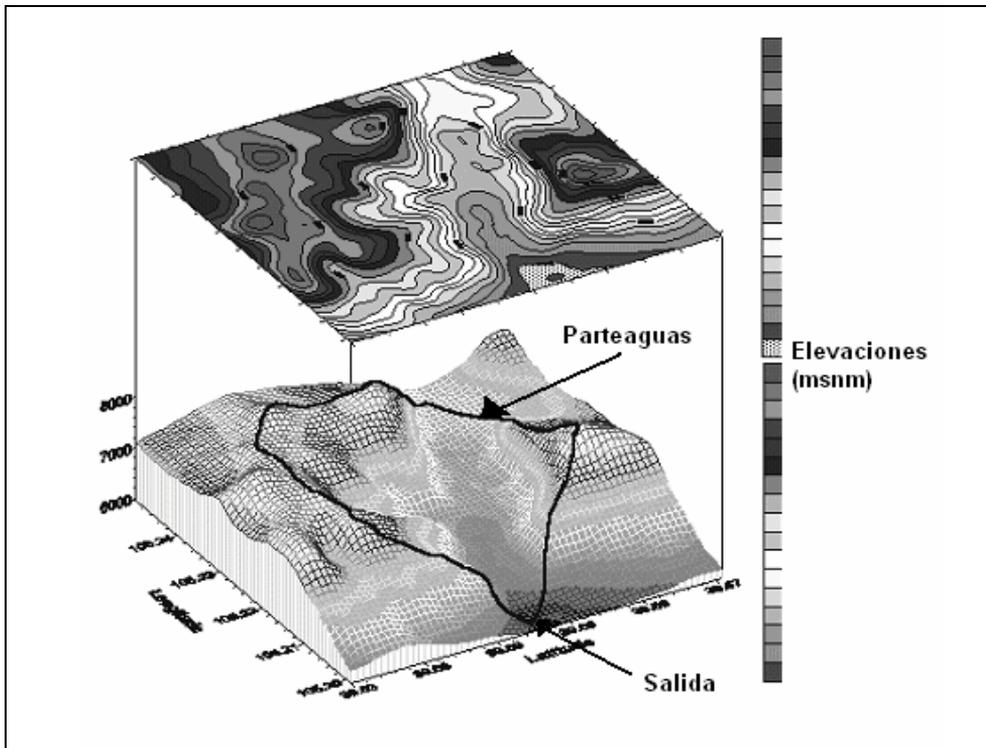


Figura 1.1 Cuenca hidrológica

- 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.

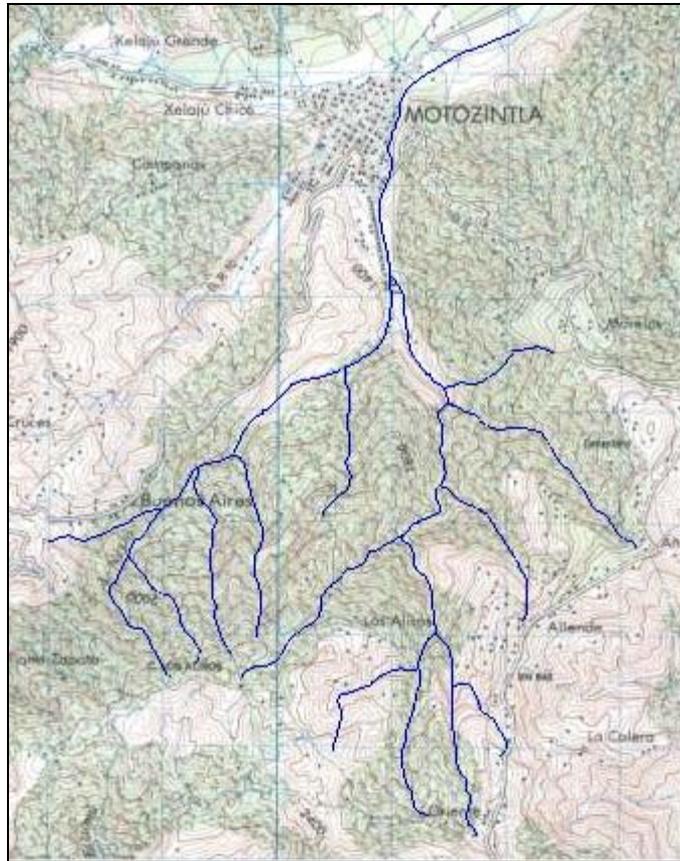


Figura 1.2 Identificación del arroyo y sus afluentes

- 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).

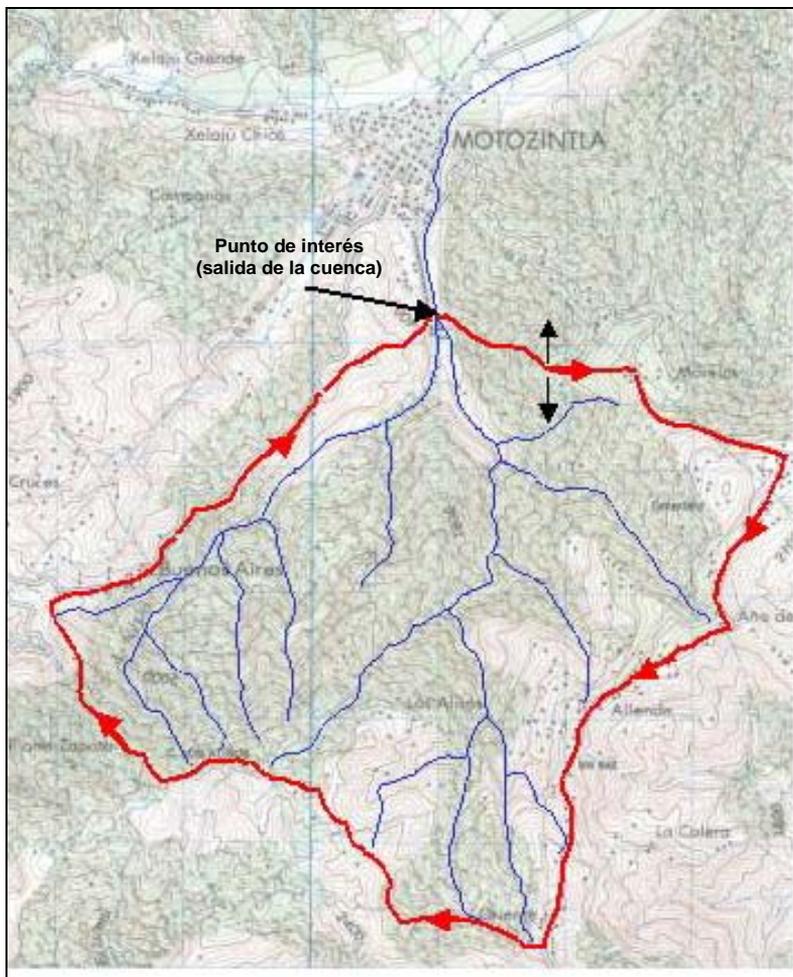


Figura 1.3 Trazo del parteaguas

1.2.4 Clasificación de las cuencas hidrológicas

Existen dos tipos de cuenca de acuerdo al tipo de salida de los escurrimientos:

1. Exorreicas: El punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar (figura 1.4a). El caso más típico de cuenca hidrológica, es el río Bravo, ubicado en la frontera norte de nuestro país, el cual está en una gran cuenca hidrológica, que es compartida por los E. U. A., y cuya salida da hacia el golfo de México, cerca de la ciudad de Matamoras, en el estado de Tamaulipas.
2. Endorreica: La cuenca no tiene salida, y por lo general es un lago (figura 1.4b). Un caso de este tipo de cuenca es el valle de México. Históricamente este valle tenía un lago, el cual ha sido secado y sobre su lecho yergue actualmente la ciudad de México, por lo que se ha tenido que hacer una salida artificial para descargar sus aguas pluviales.

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 $> 100 \text{ km}^2$

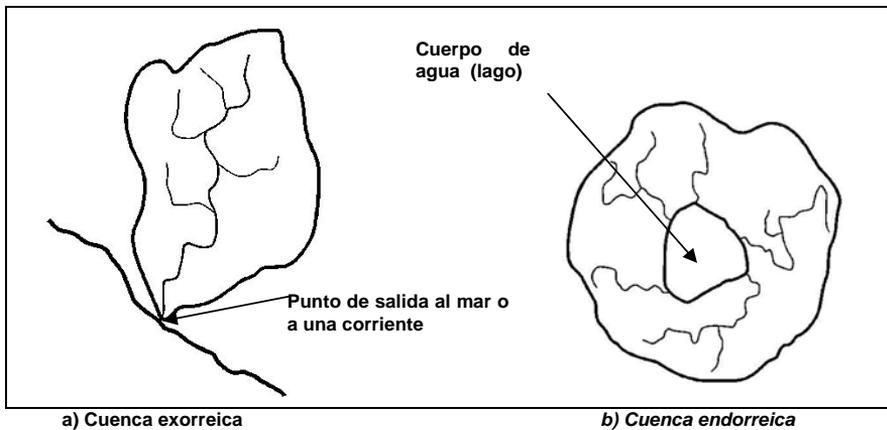


Figura 1.4 Tipos de cuencas (fuente: <http://www.ccvn.org.mx/gestion.htm#1>)

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.

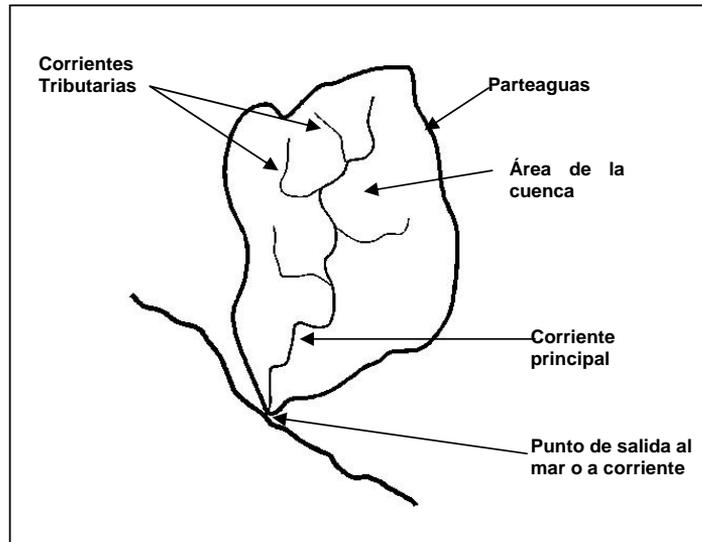


Figura 1.5 Principales características de una cuenca hidrológica

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.

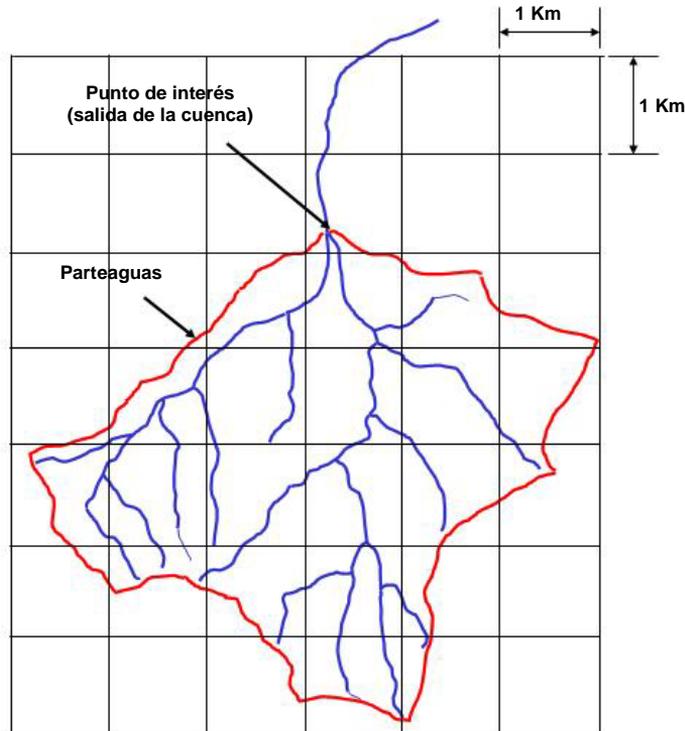


Figura 1.6 Cuadrícula para determinar el área de la cuenca

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.

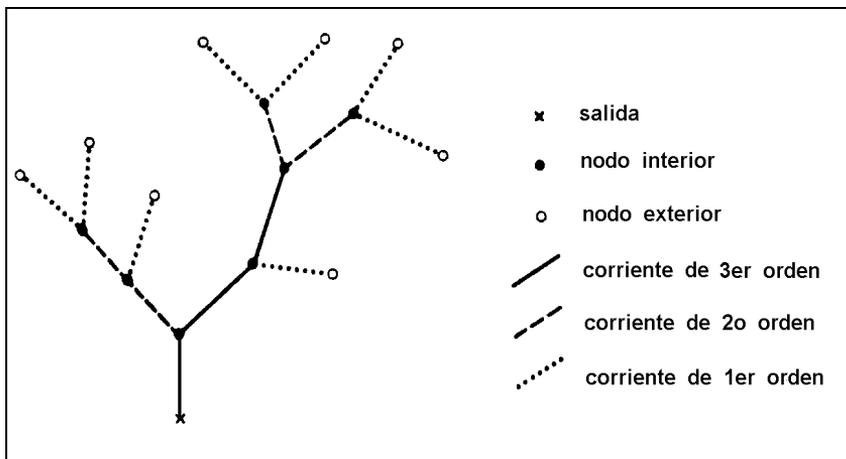


Figura 1.7 Sistema de ordenación de corrientes

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.

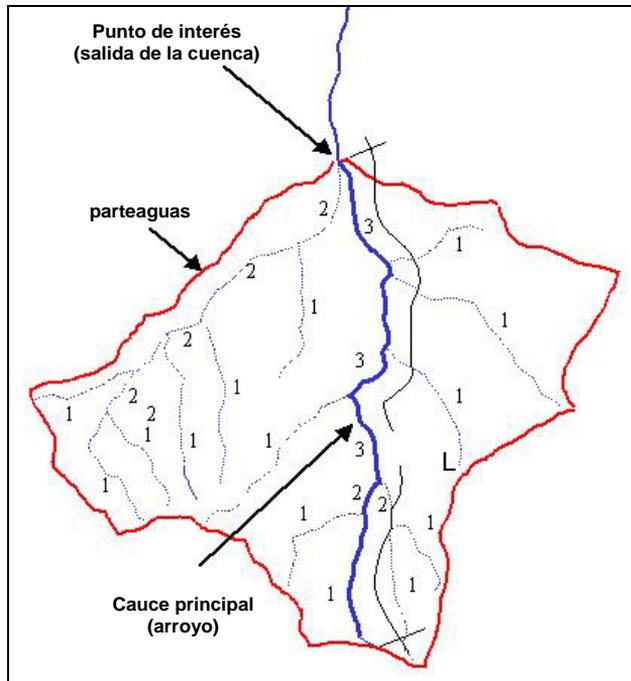


Figura 1.8 Identificación de la corriente de mayor orden o corriente principal

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.

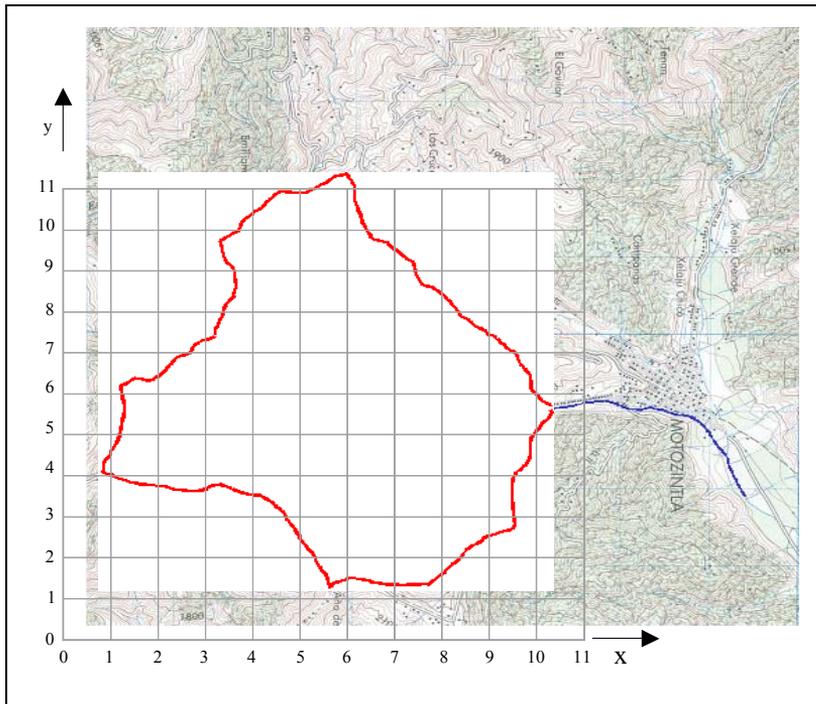


Figura 1.9 Cuadrícula para el cálculo de la pendiente de la cuenca

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.

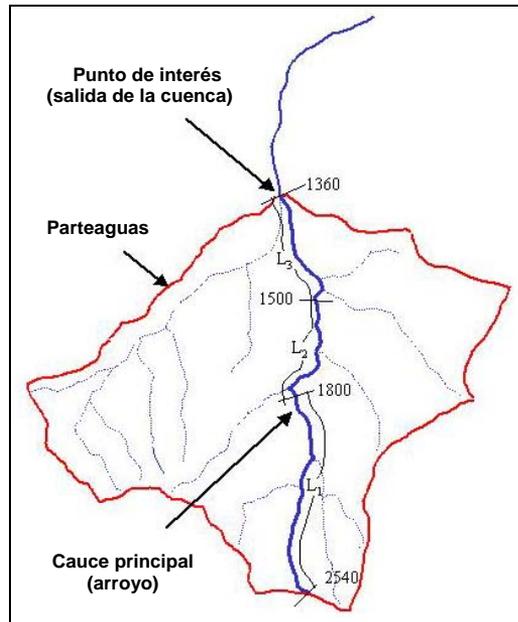


Figura 1.10 División de la corriente principal en tres tramos

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

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.

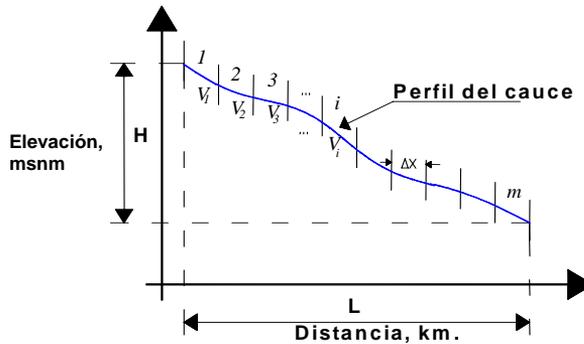


Figura 1.11 Pendiente media

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.

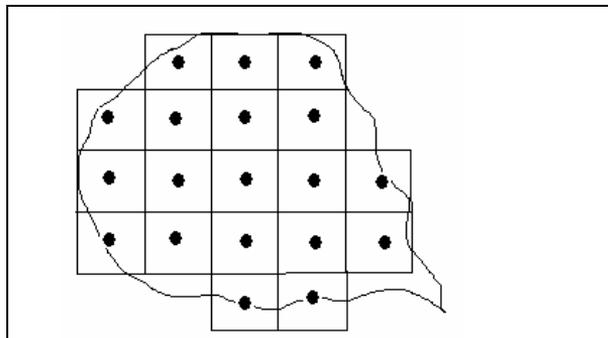


Figura 1.14 Malla para muestreo

- 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	Coeficiente 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 (Tr) 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.

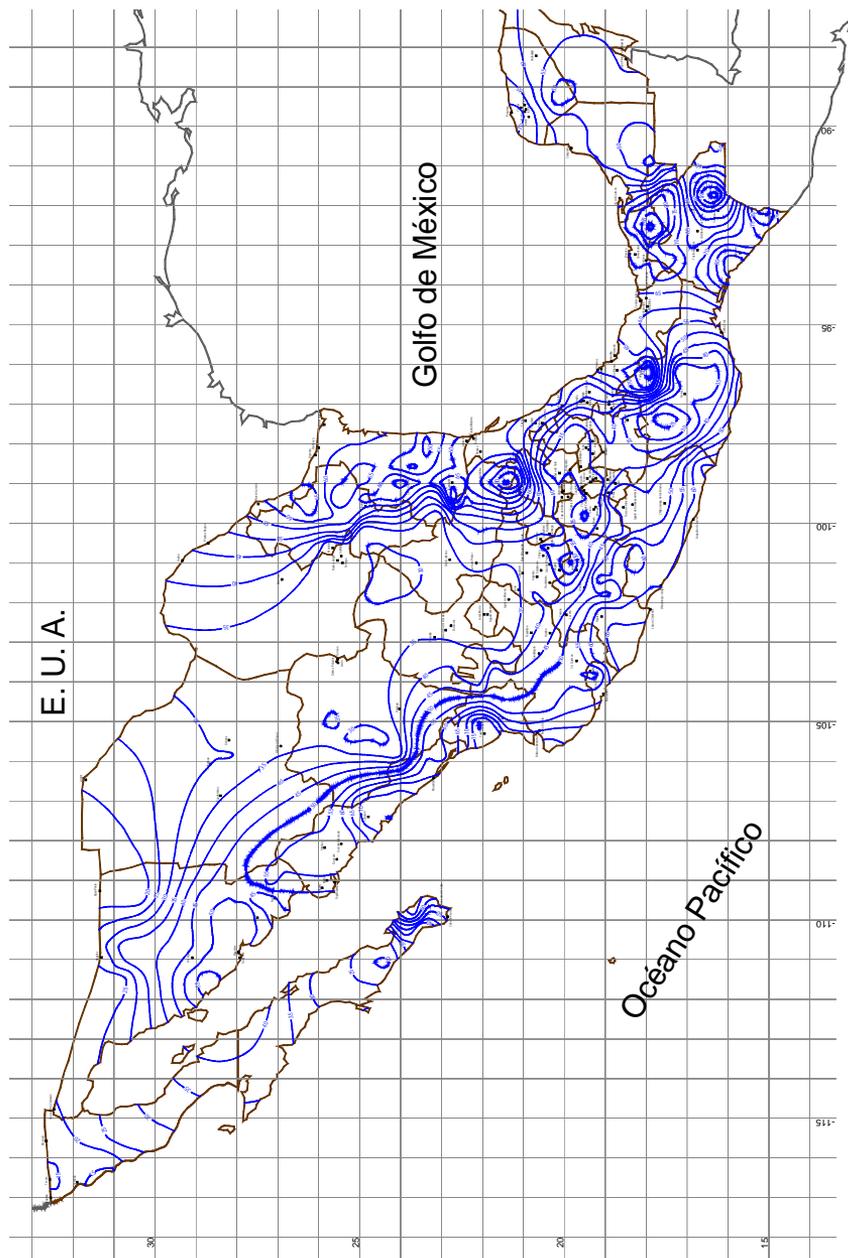


Figura 1.15 Mapa de isoyetas con duración de una hora y con periodo de retorno (Tr) de 5 años (Salas, 2003)

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 Picture	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	-

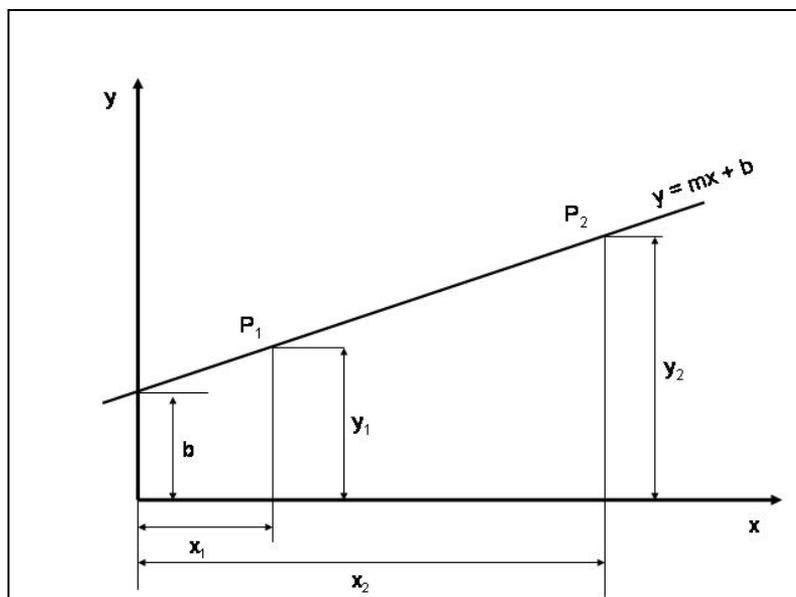


Figura 1.16 Fórmula y representación en el plano cartesiano de la línea Recta

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:

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

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 < ϕ < 500 mm)	0.05
Gravas (3.5 < ϕ < 100 mm)	0.1
Arena gruesa (2.4 < ϕ < 3.5 mm)	0.2
Arena mediana (1.22 < ϕ < 2.4 mm)	0.23
Arena fina (0.075 < ϕ < 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.

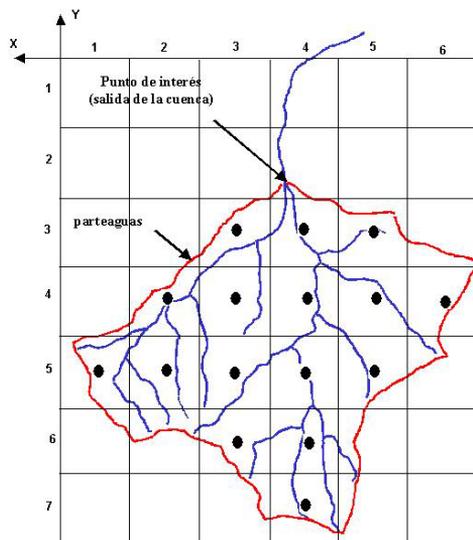


Figura 1.17 Muestras para clasificar el tipo de suelo en la cuenca de Motozintla

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.

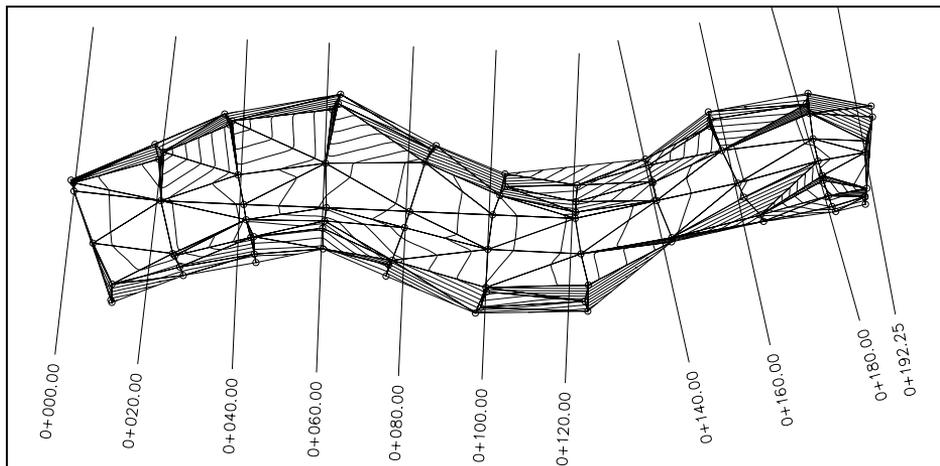


Figura 1.18 Dibujo en planta del levantamiento de un arroyo

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).

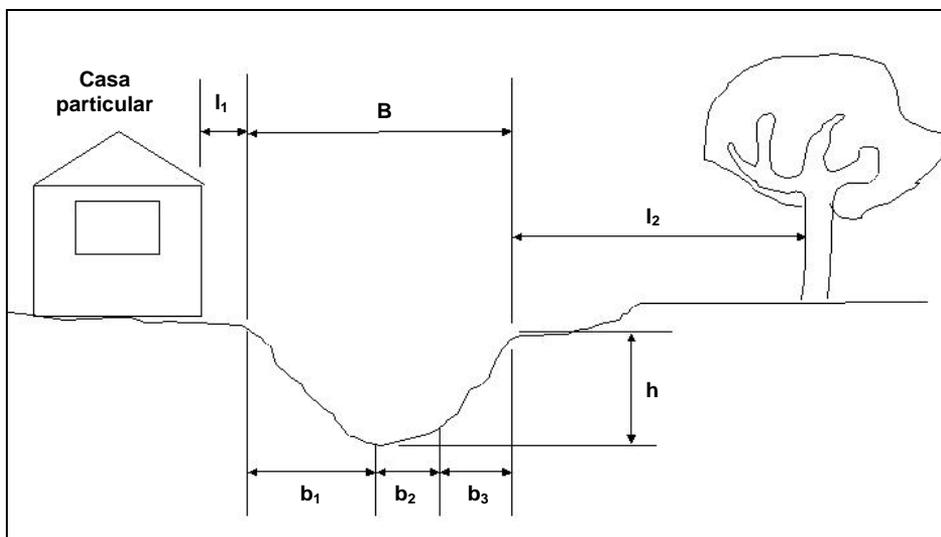


Figura 1.19 Levantamiento de una sección crítica para un cauce natural

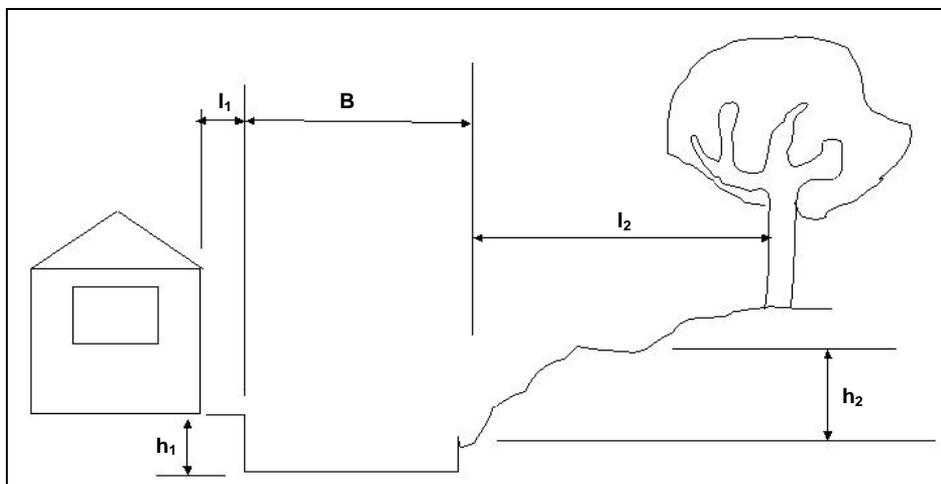


Figura 1.20 Levantamiento de una sección crítica para un cauce no natural

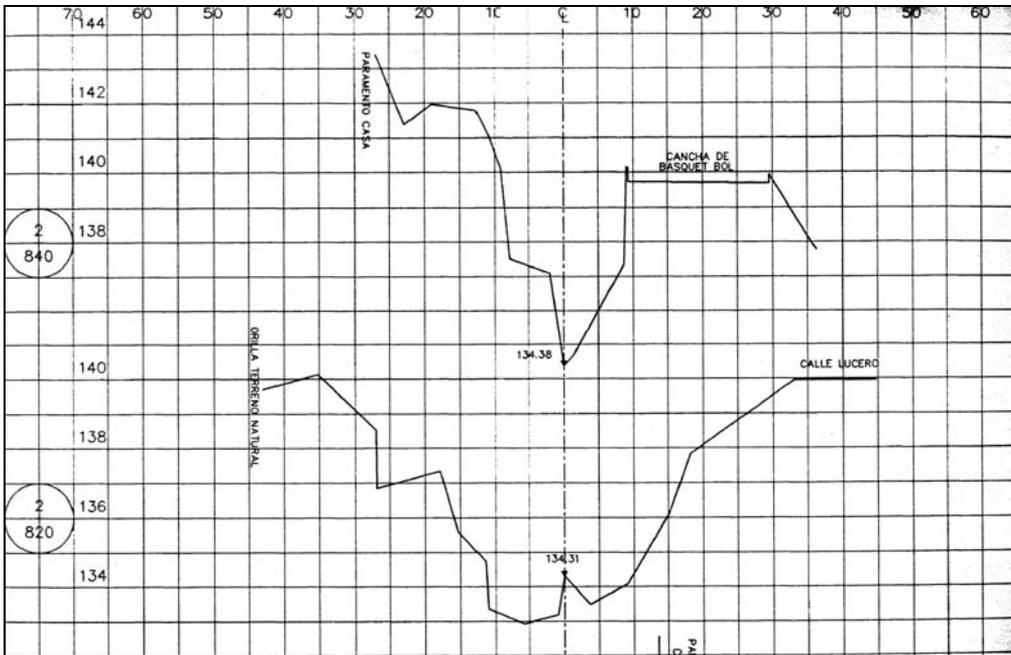


Figura 1.21 Dibujo de dos secciones transversales a escala

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.

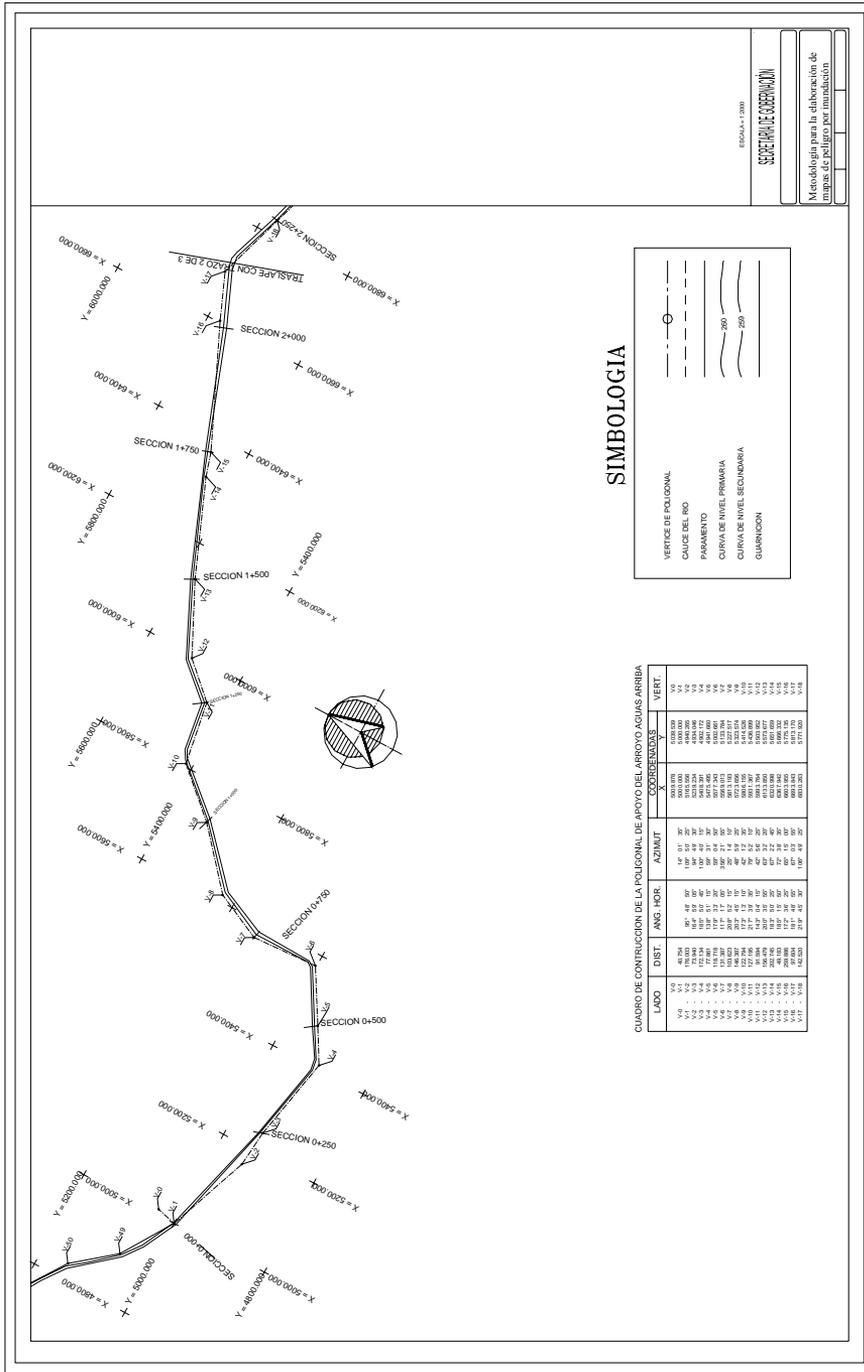


Figura 1.22 Dibujo en planta del levantamiento topográfico del arroyo

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.

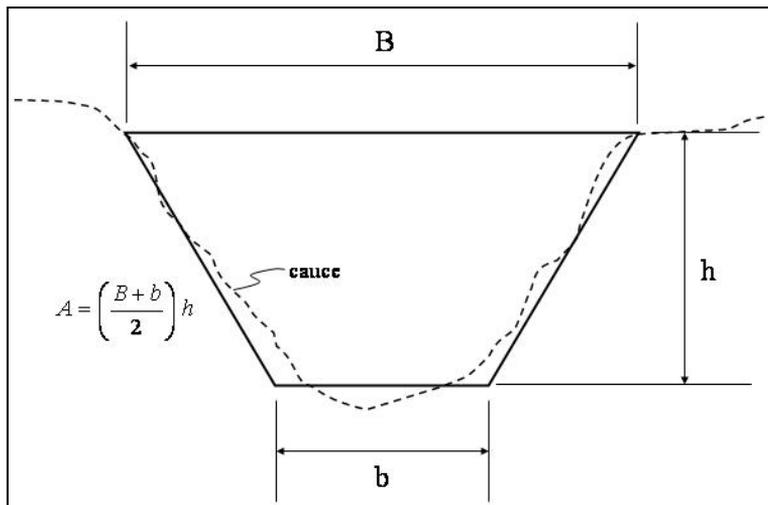


Figura 1.23 Sección transversal de un cauce natural circunscrita en un trapecio

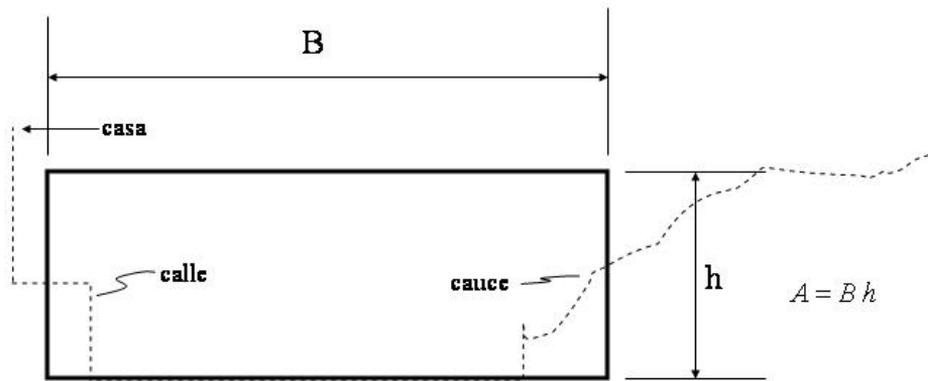


Figura 1.24 Sección transversal de un cauce no natural circunscrita en un rectángulo

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.

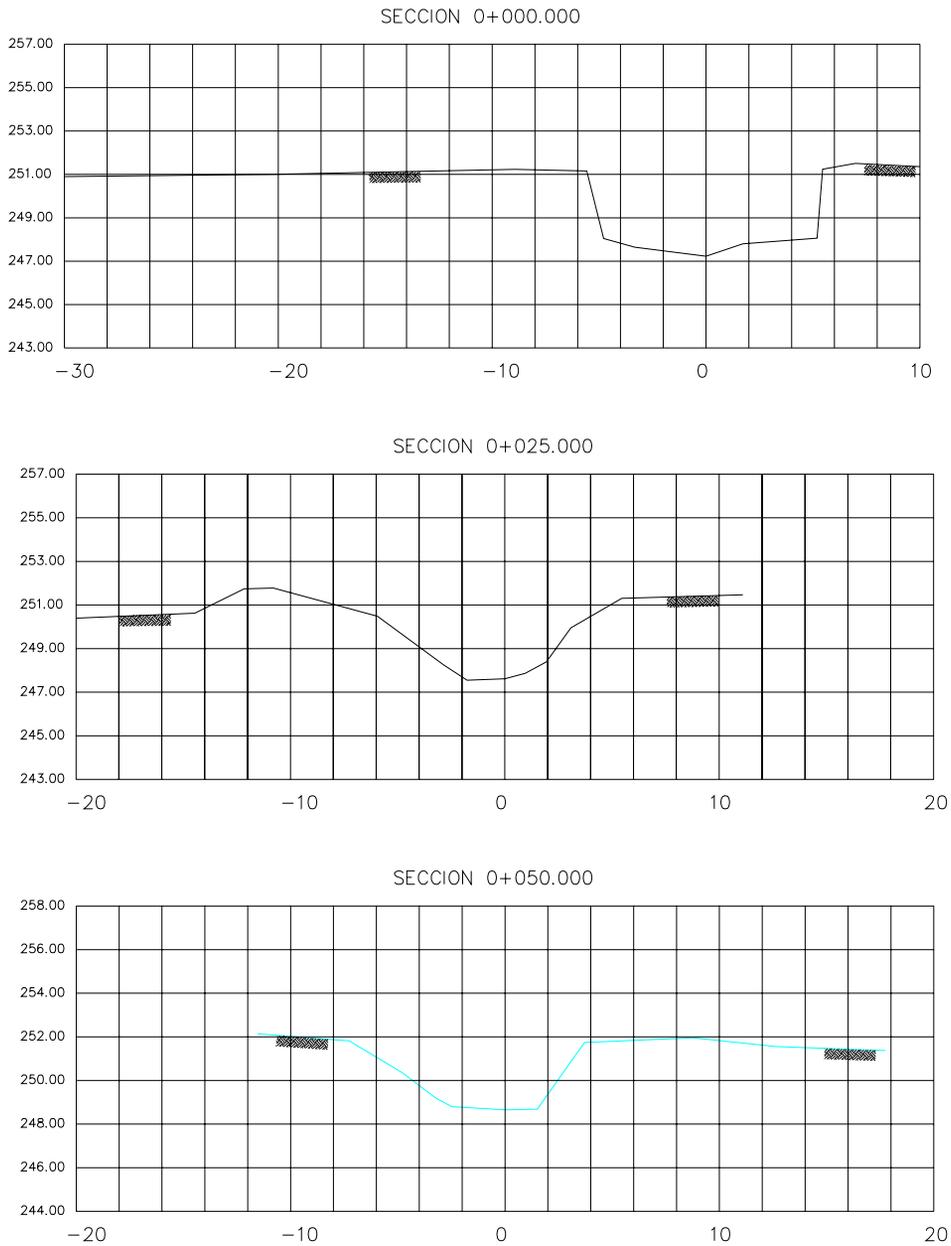


Figura 1.25 Secciones transversales del arroyo a cada 25.0 m

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.

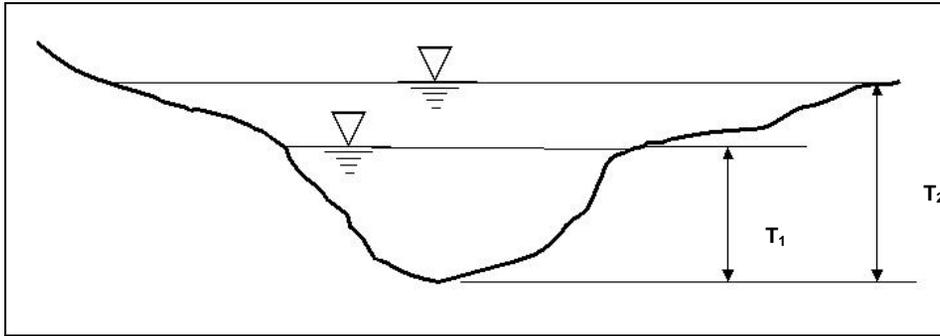


Figura 1.26 Si $A_G < A_h$ se presenta la inundación

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

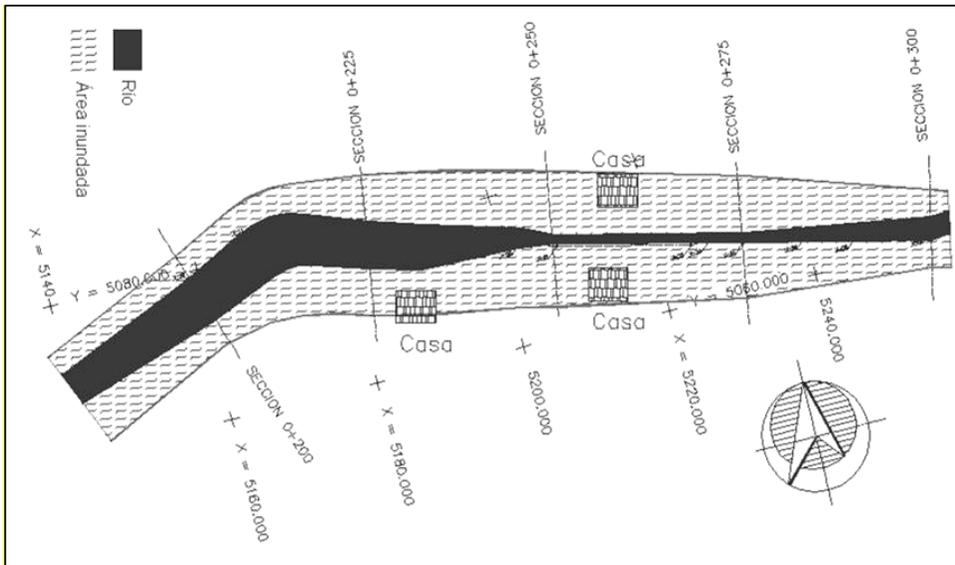


Figura 1.27 Mapa de peligro por inundaciones para un periodo de retorno de cinco años

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 repellido
M6	Madera
M7	Adobe con repellido
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 repellido y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
8	III	Vivienda con muros de adobe sin repellido y techo de palma
9	III	Vivienda con muros de adobe sin repellido 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 repellido y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
13	IV	Vivienda con muros de adobe con repellido y techo de palma
14	IV	Vivienda con muros de adobe con repellido y techo de teja
15	V	Vivienda con muros de adobe con repellido 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.

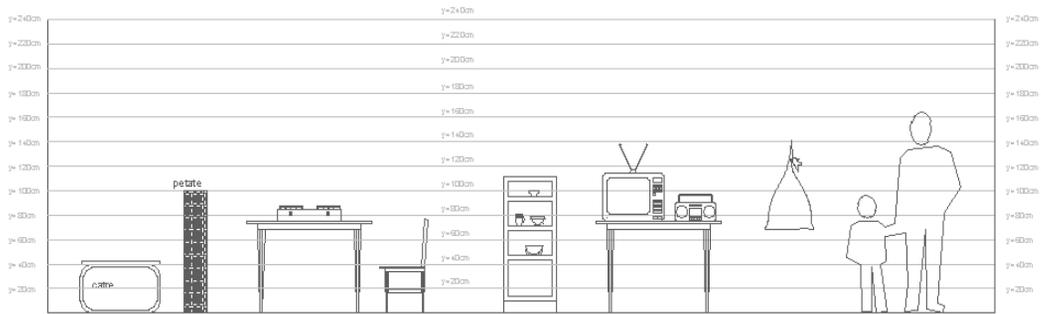


Figura 1.28 Menaje para la vivienda tipo I (una sola planta)

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.

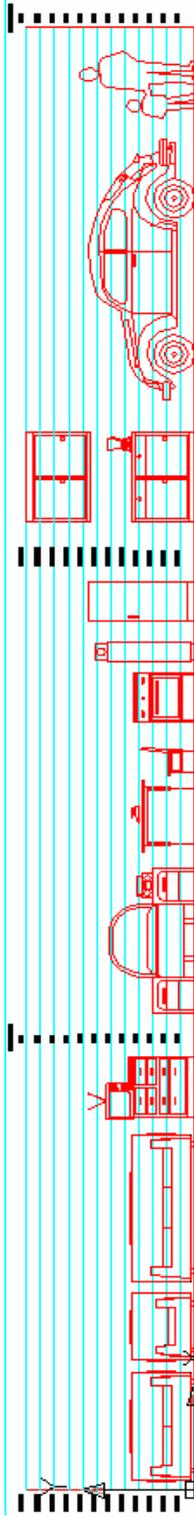


Figura 1.29 Menaje para la vivienda tipo II (una sola planta)

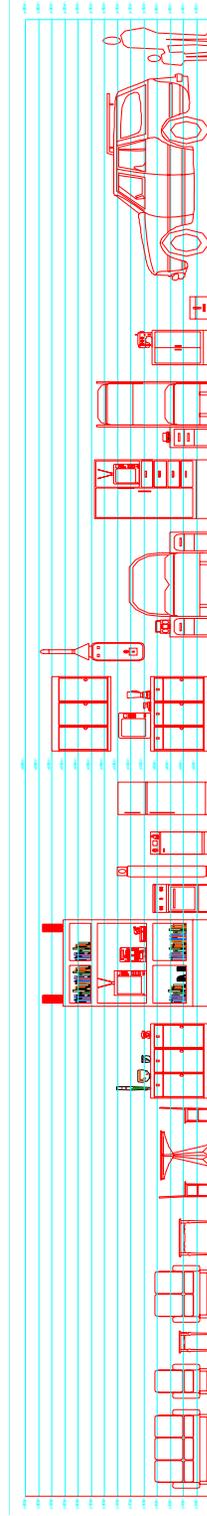


Figura 1.30 Menaje para la vivienda tipo III (una sola planta)

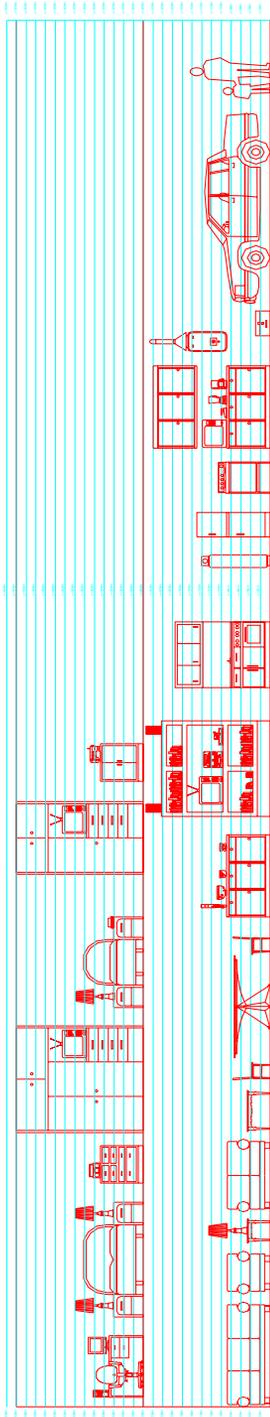


Figura 1.31 Menaje para la vivienda tipo IV (dos plantas)

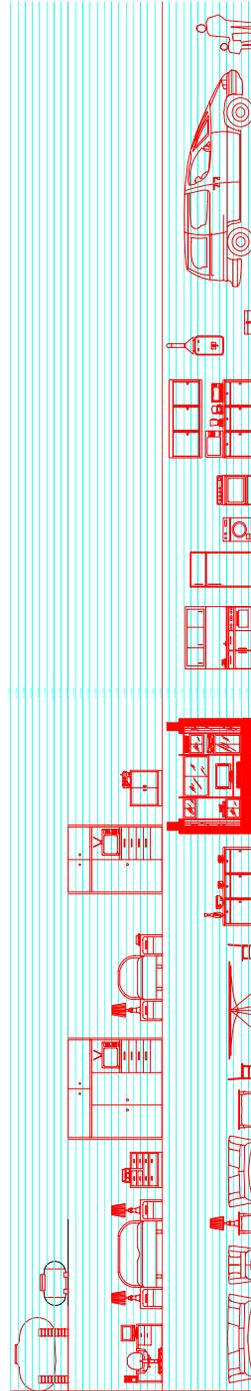


Figura 1.32 Menaje para la vivienda tipo V (dos plantas)

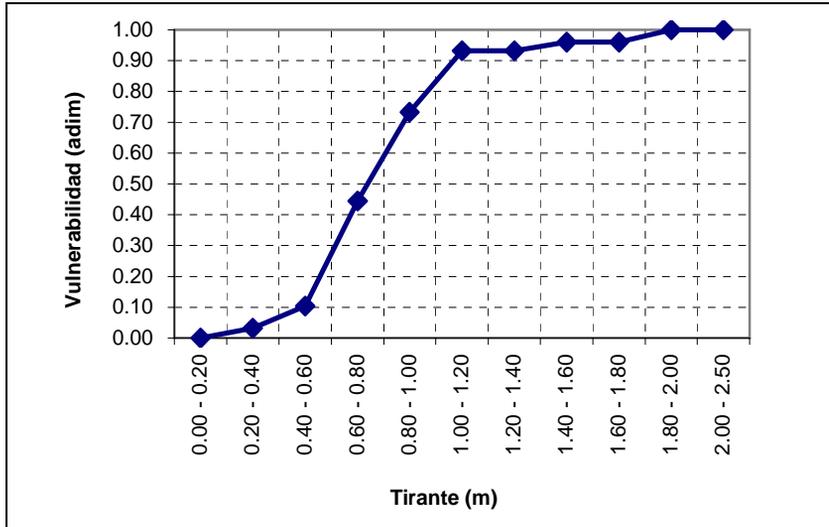


Figura 1.33 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo I

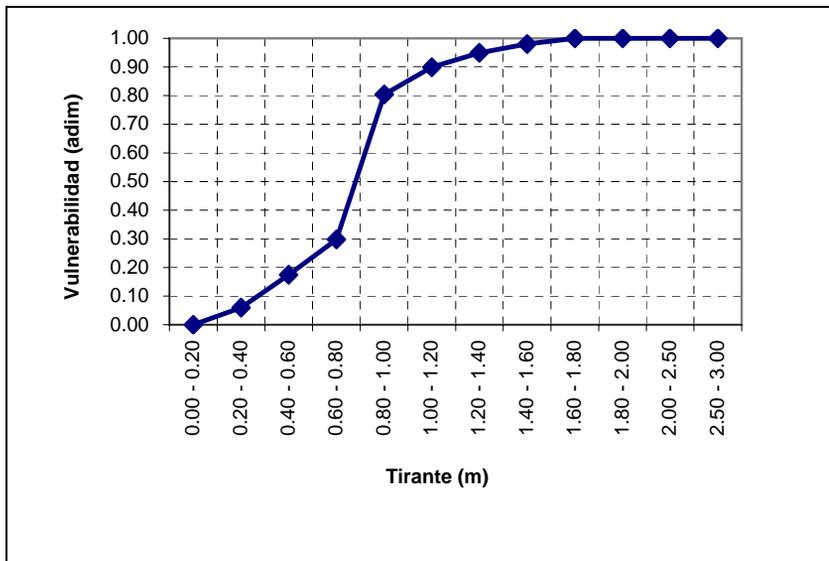


Figura 1.34 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo II

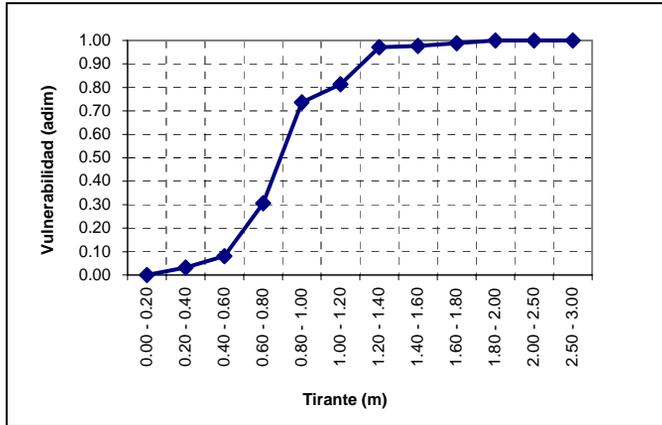


Figura 1.35 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo III

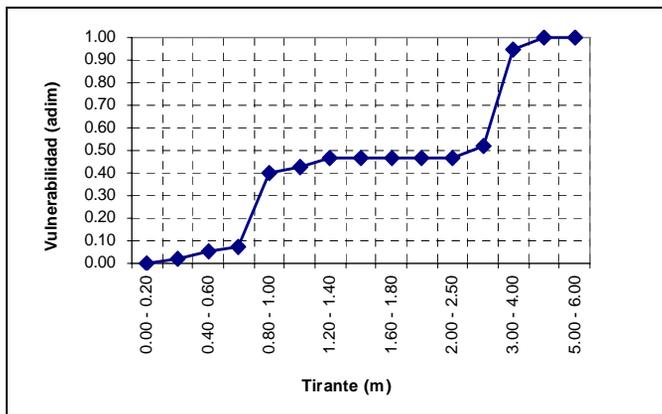


Figura 1.36 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo IV

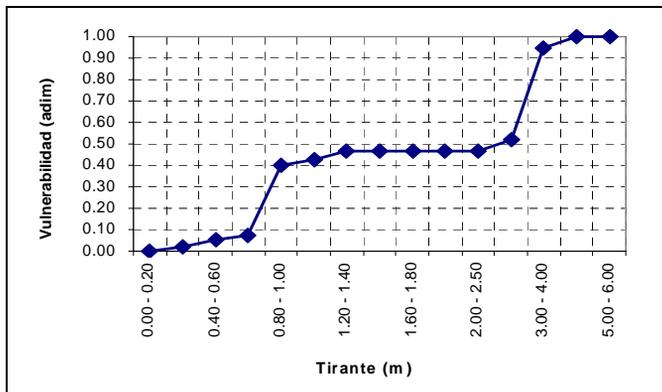


Figura 1.37 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo V

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.

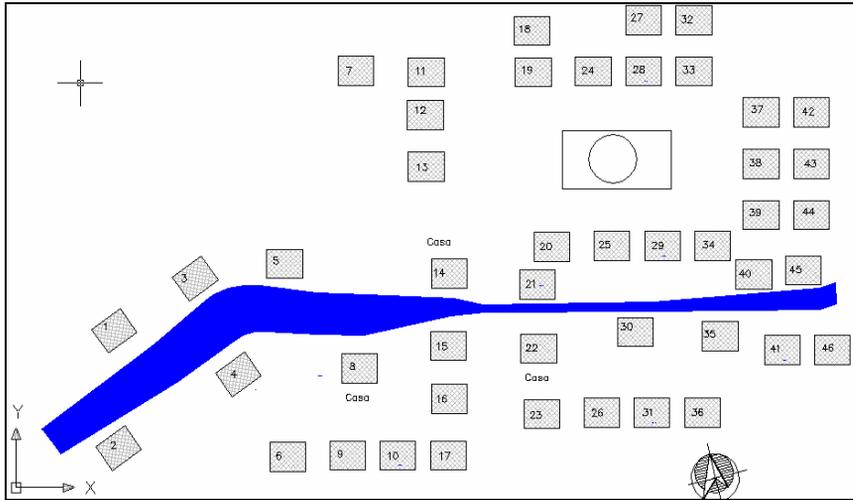


Figura 1.38 Planimetría de la localidad (columna 1 de la tabla 1.19)

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:

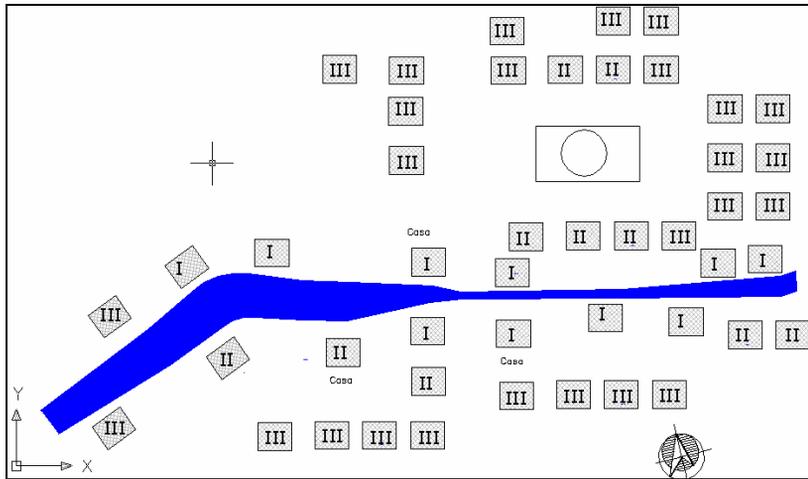


Figura 1.39 Tipificación de la vivienda en la localidad (columna 5 de la tabla 1.20)

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.

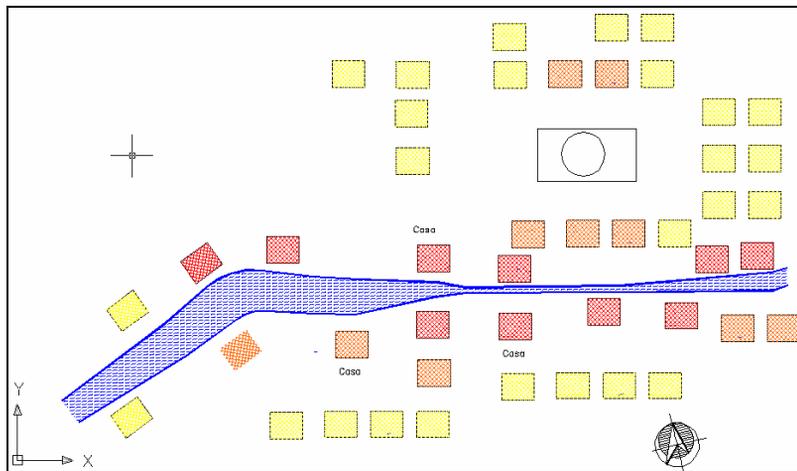


Figura 1.40 Mapa de vulnerabilidad (columna 6 de la tabla 1.20)

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

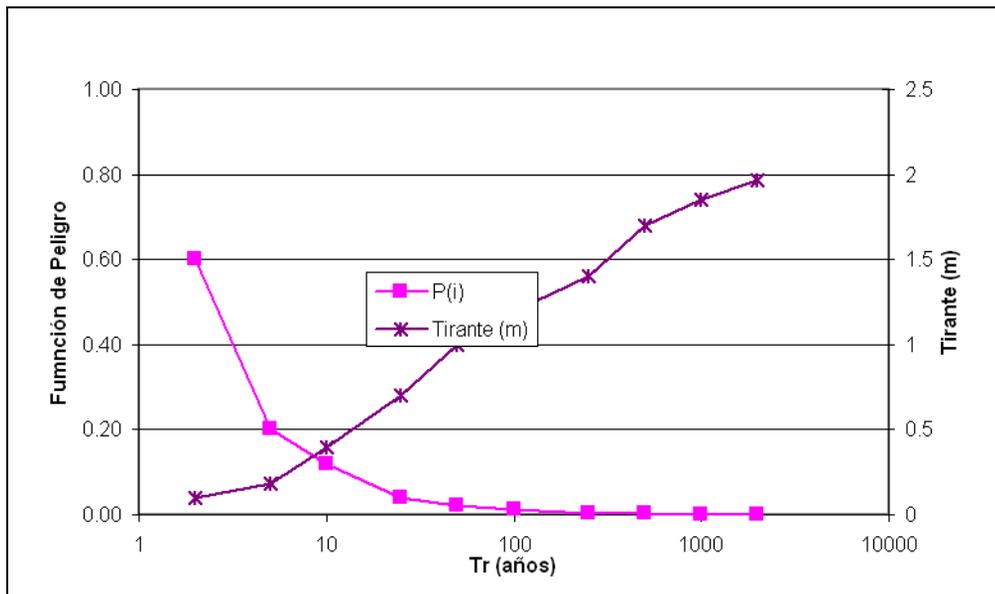


Figura 1.41 Función de peligro y riesgo

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.

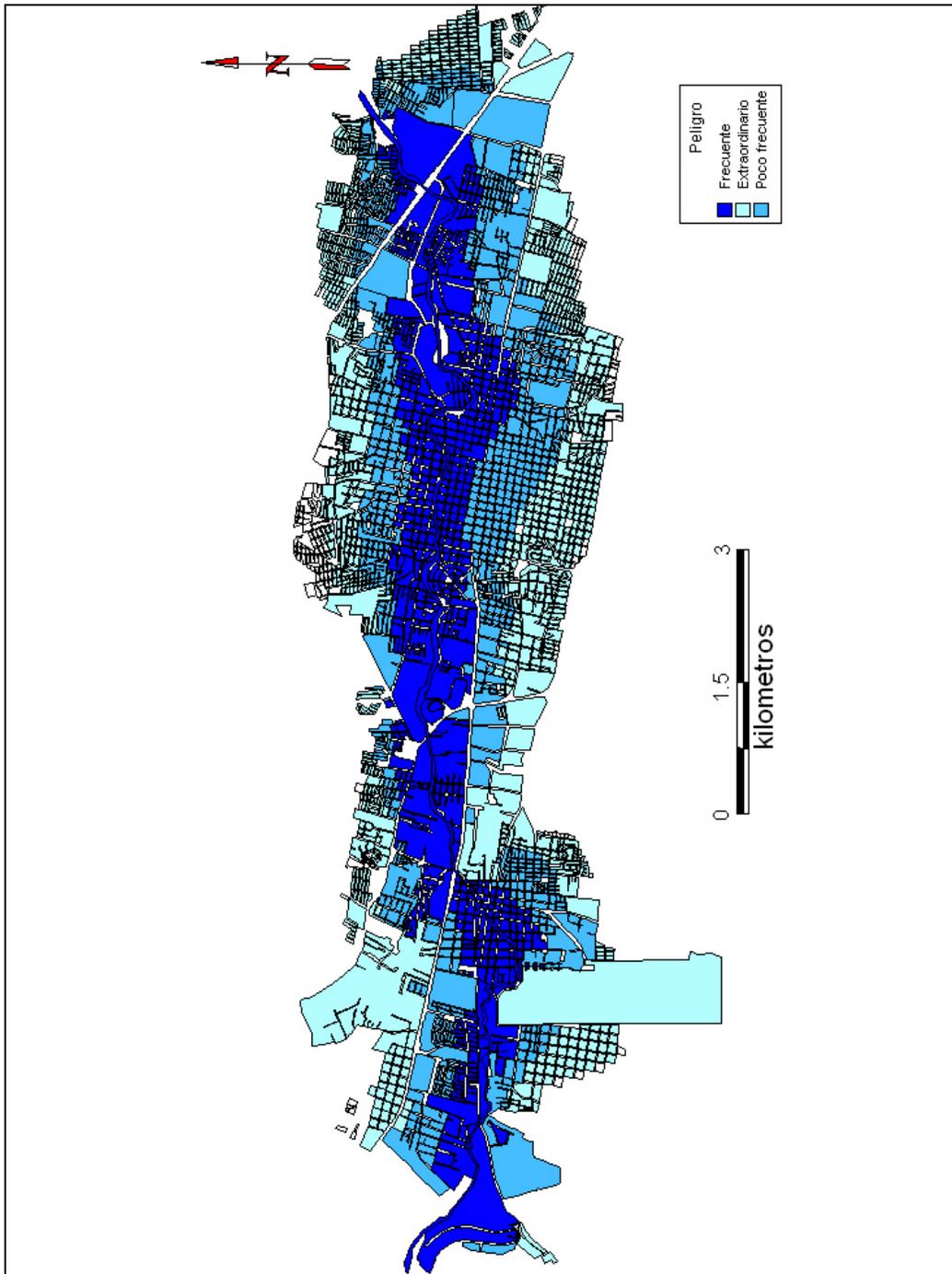


Figura 1.42a Mapa de peligro por inundaciones en una cierta localidad

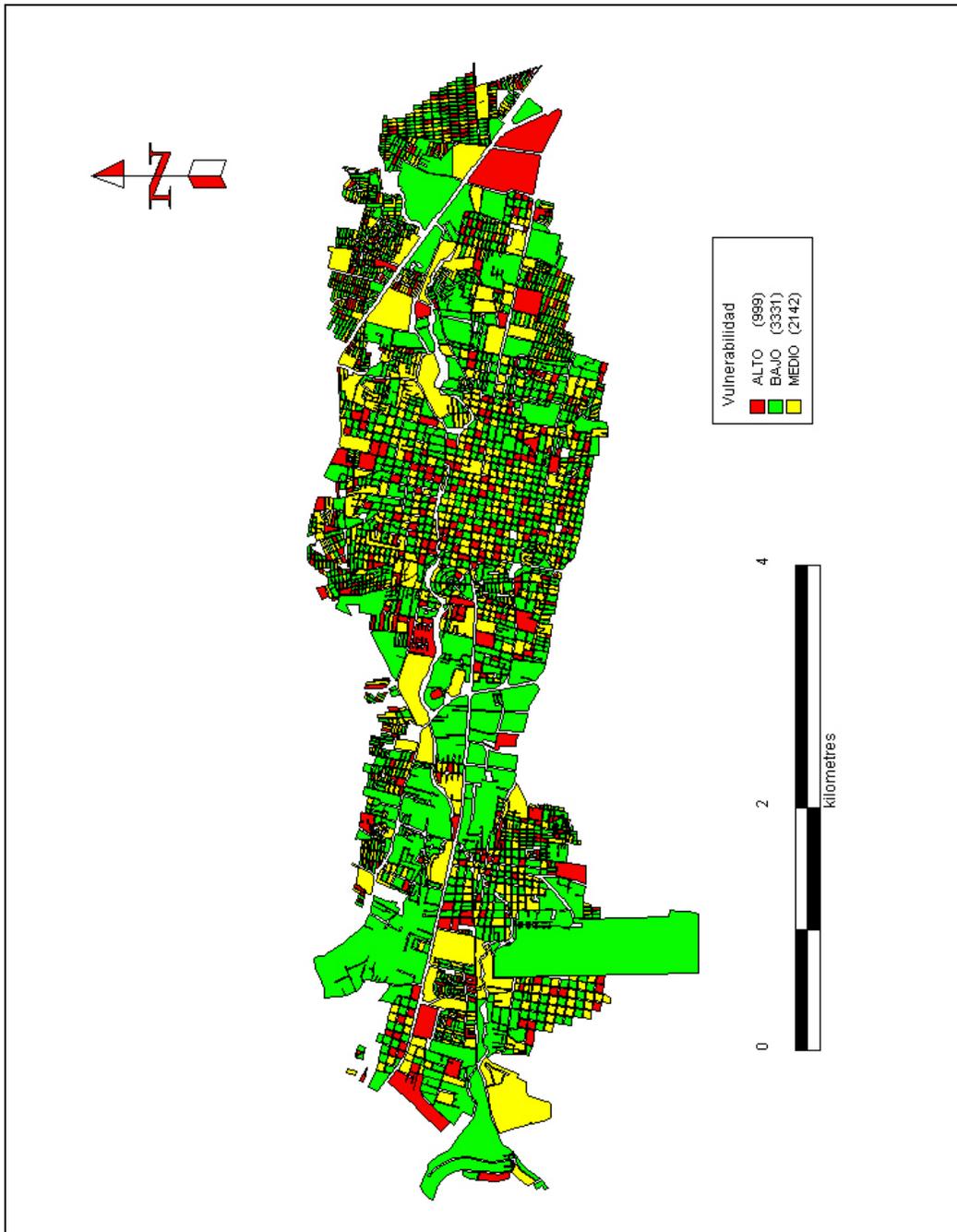


Figura 1.42b Mapa de vulnerabilidad por inundaciones en una cierta localidad

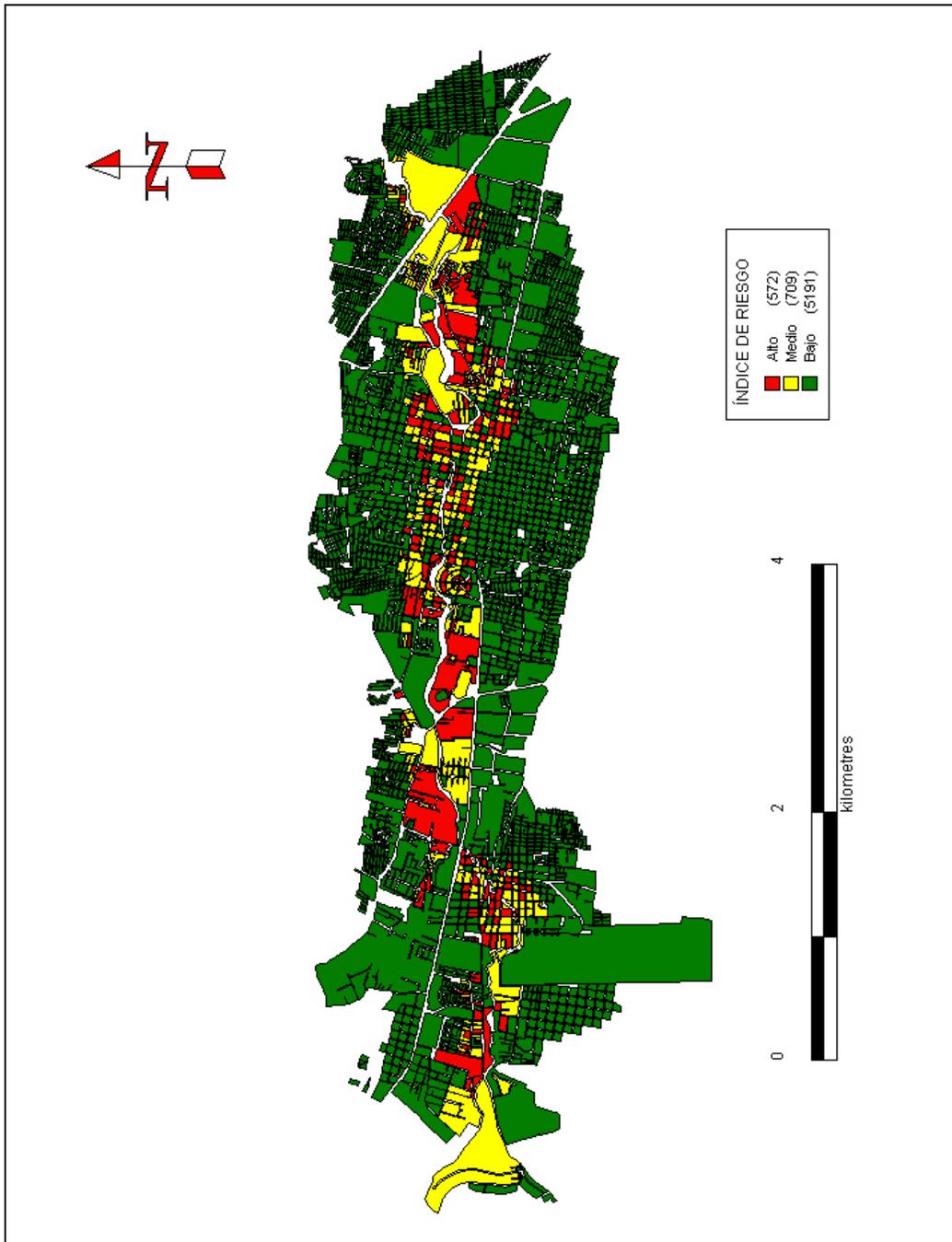


Figura 1.42c Mapa de índice de riesgo por inundaciones en una cierta localidad

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.

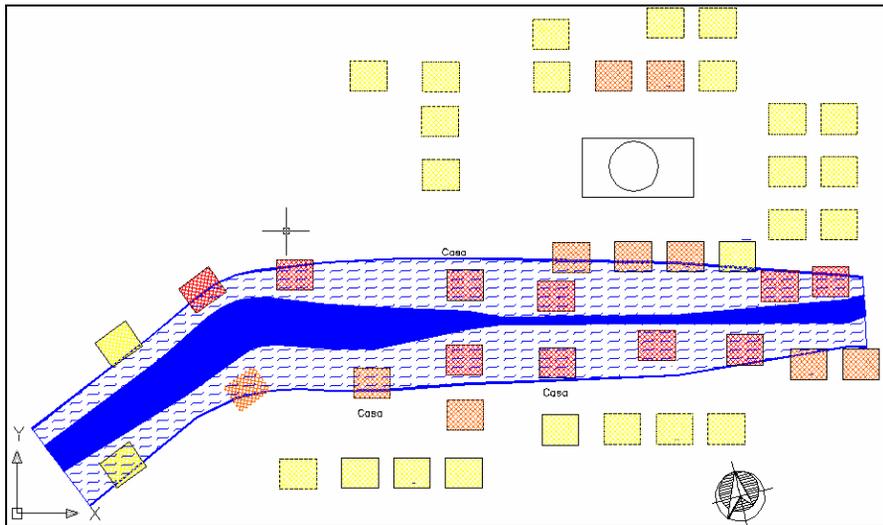


Figura 1.43 Superposición de mapas de peligro y de vulnerabilidad

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)	Tirante (m)	Daños (%)	Nivel agua (m)	Tirante (m)	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.

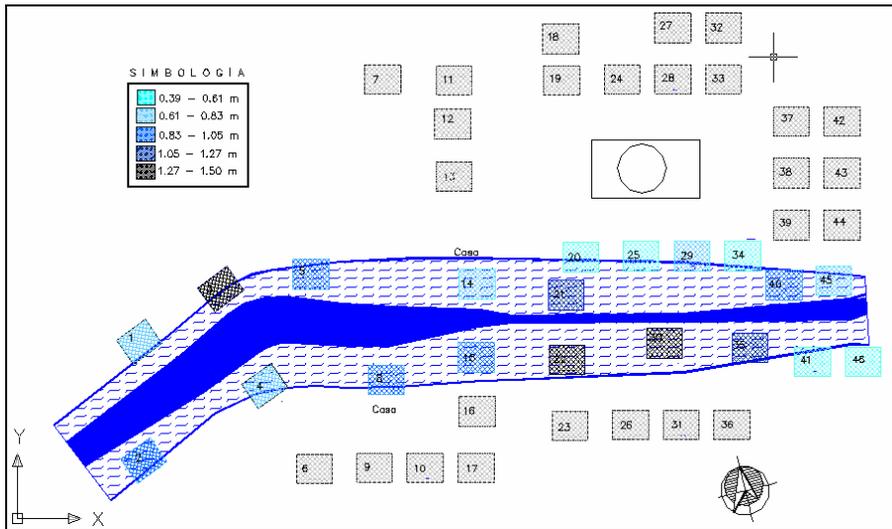


Figura 1.44 Nivel de agua en cada casa afectada por la inundación (columna 8 de la tabla 1.20)

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.

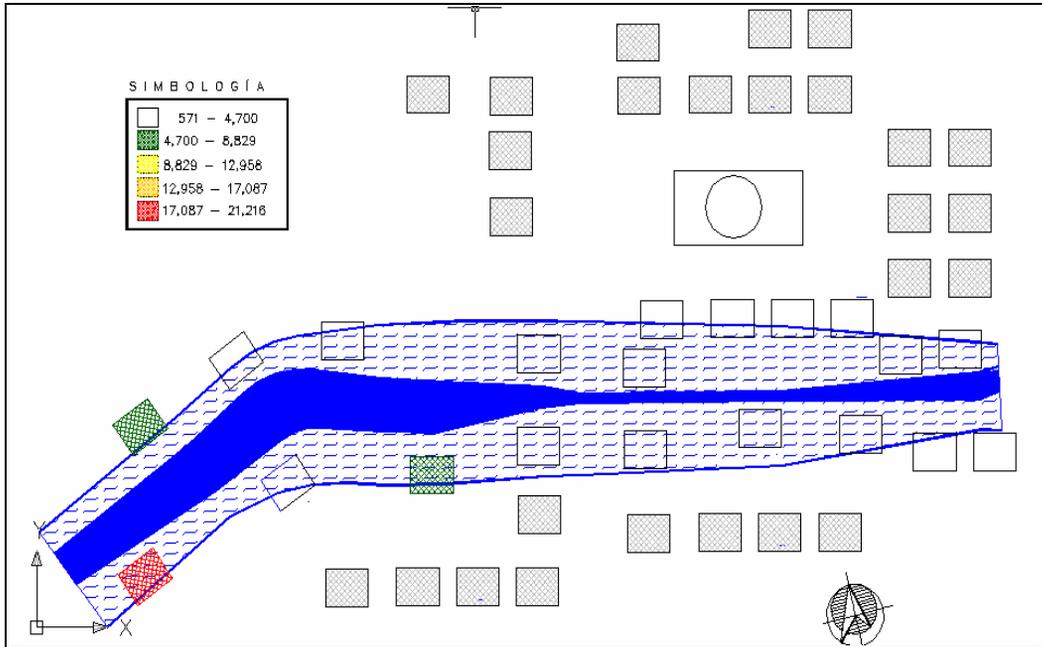


Figura 1.45 Mapa de riesgo de inundación para un $Tr = 5$ años (pérdidas calculadas)

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.

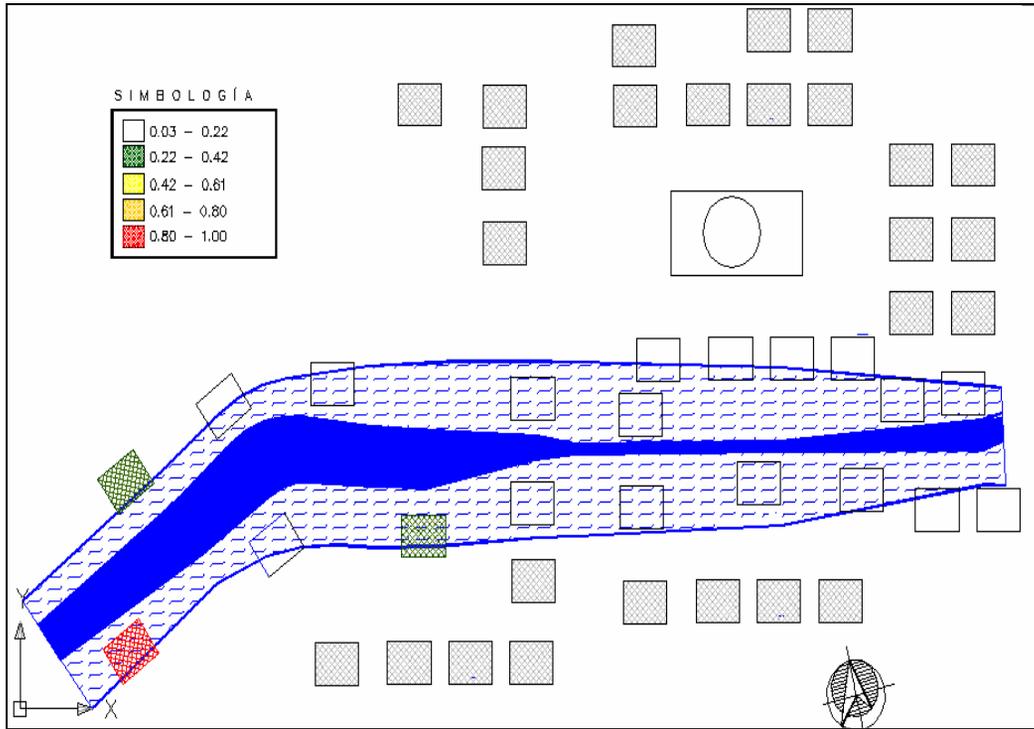


Figura 1.46 Mapa de riesgo de inundación para un $Tr = 5$ años (índices de riesgo)

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.

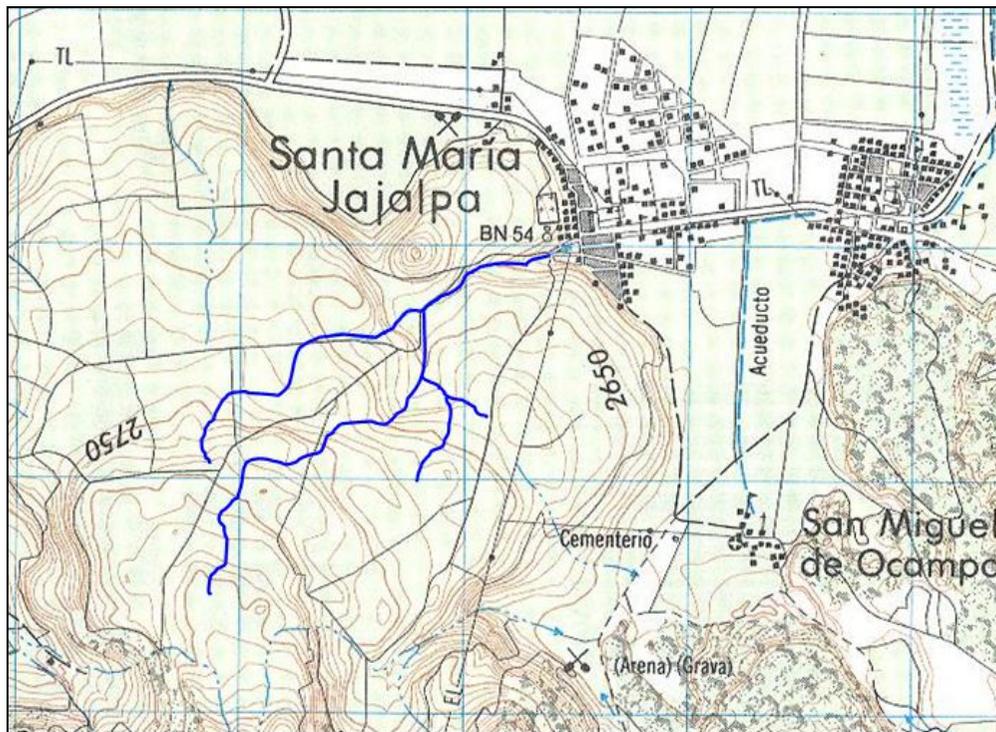


Figura 1.54 Identificación del arroyo y sus afluentes

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

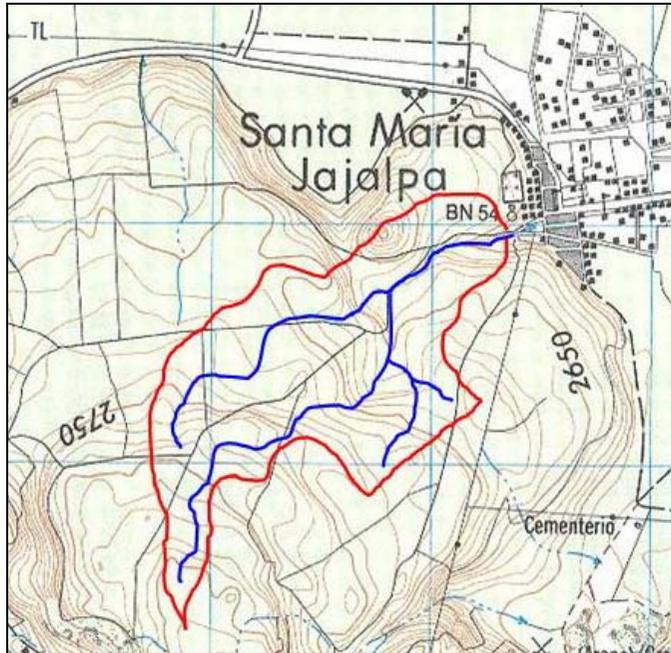


Figura 1.55 Trazo del parteaguas

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 cuadrito 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

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

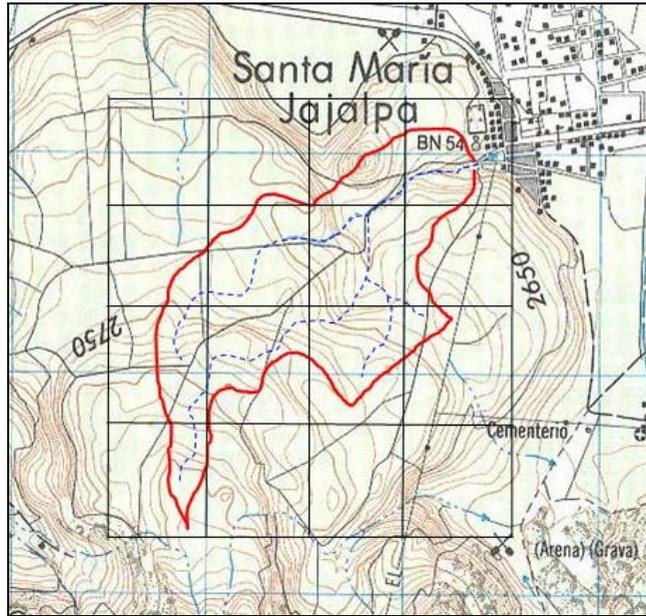


Figura 1.56 Cuadrícula para determinar el área de la cuenca

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.

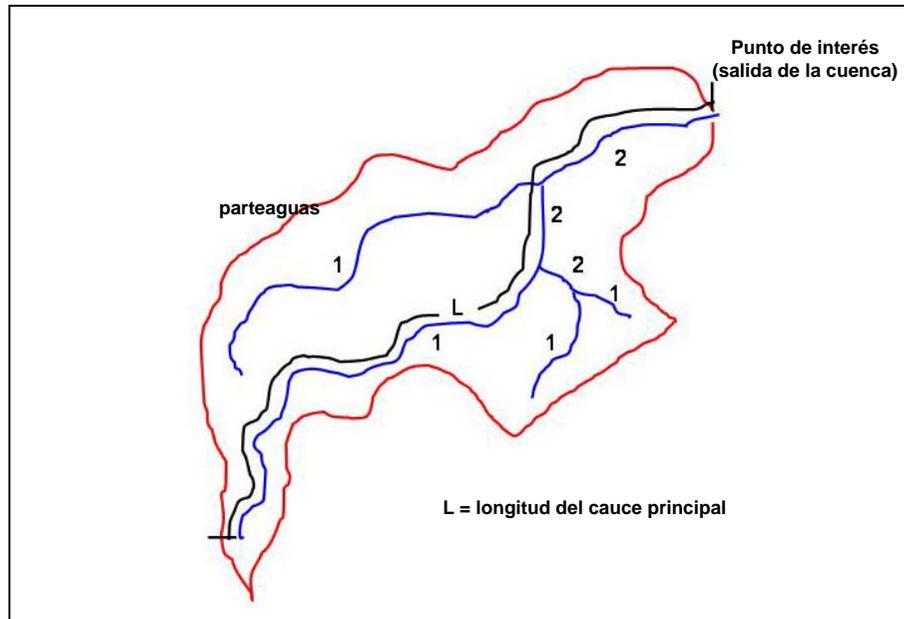


Figura 1.57 Identificación de la corriente de mayor orden o corriente principal

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.

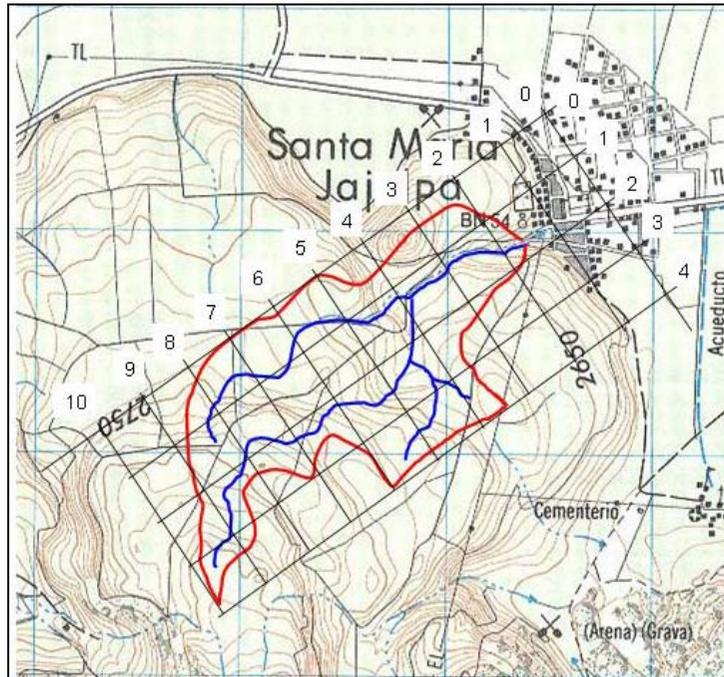


Figura 1.58 Identificación de la corriente de mayor orden o corriente principal

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.

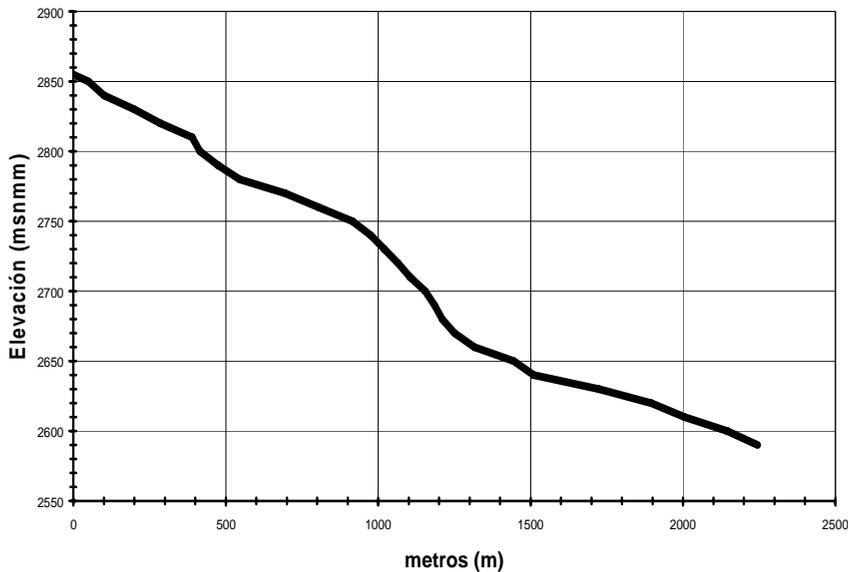


Figura 1.59 Perfil del cauce principal

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%.

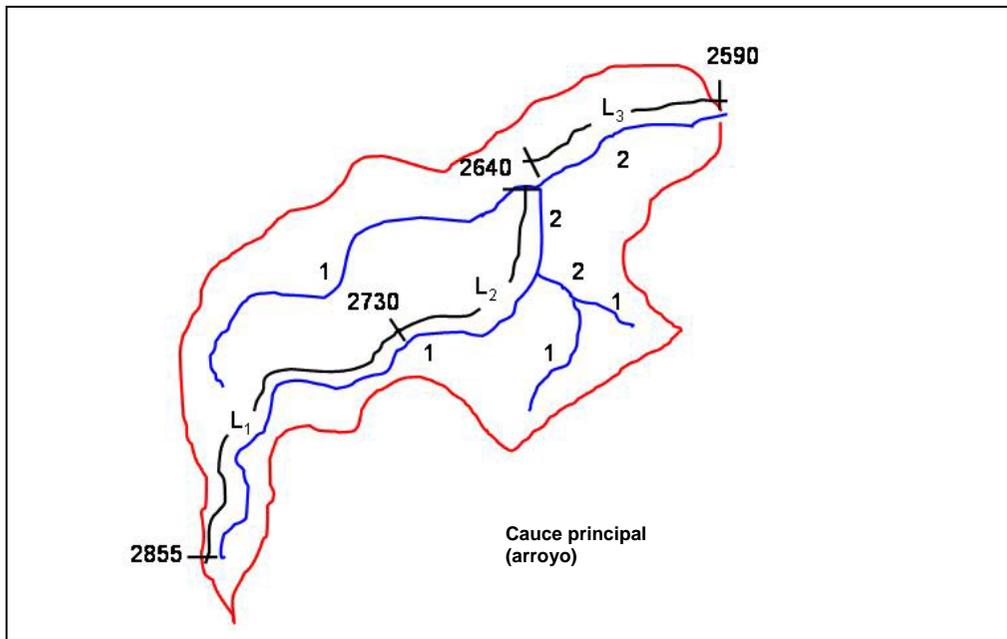


Figura 1.60 División de la corriente principal en tres tramos

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).

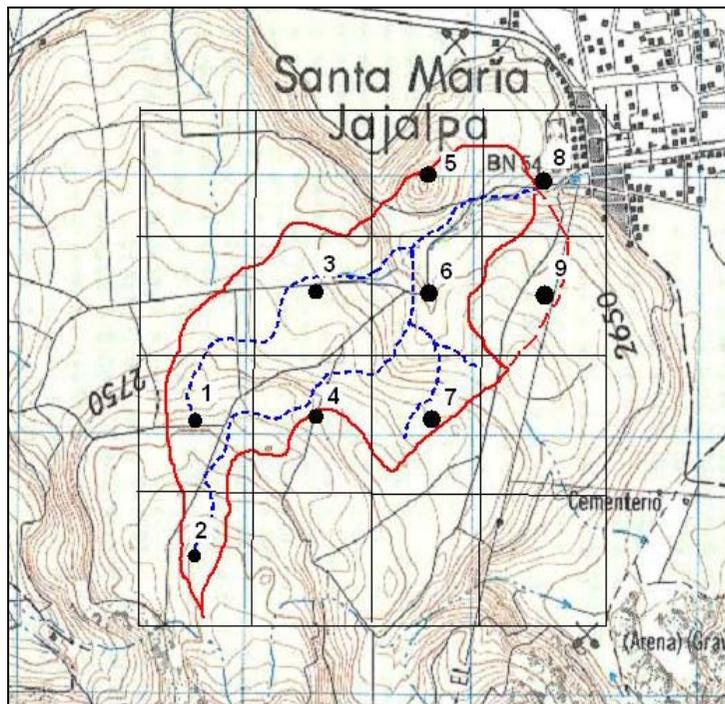


Figura 1.61 Puntos de muestreo de suelo

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.

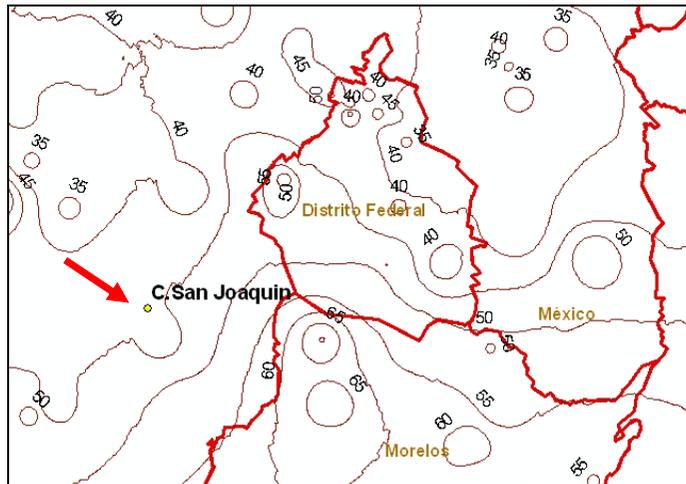


Figura 1.72 Isoyetas con $tr = 2$ años y $d = 24h$

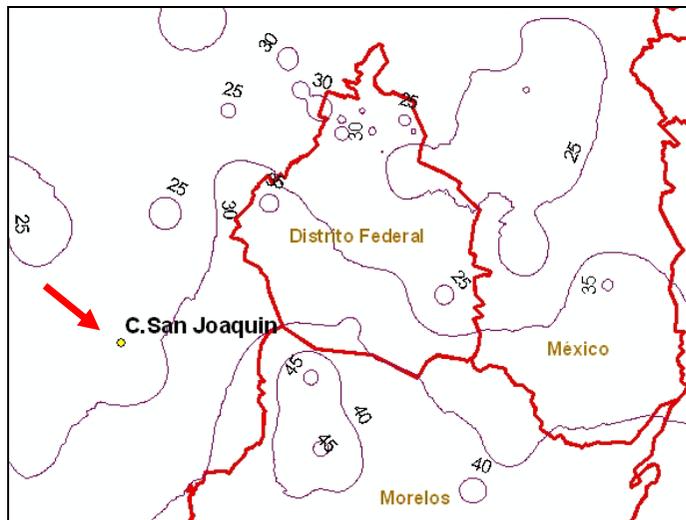


Figura 1.73 Isoyetas con $tr = 2$ años y $d = 1h$

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 ($tr = 2$ 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

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

$$K = 0.30, \text{ de la tabla 1.4 de esta guía}$$

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

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

$$C = 1.0, \text{ de la tabla 1.5 de esta guía}$$

$$P = 1.0, \text{ de la tabla 1.6 de esta guía}$$

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.

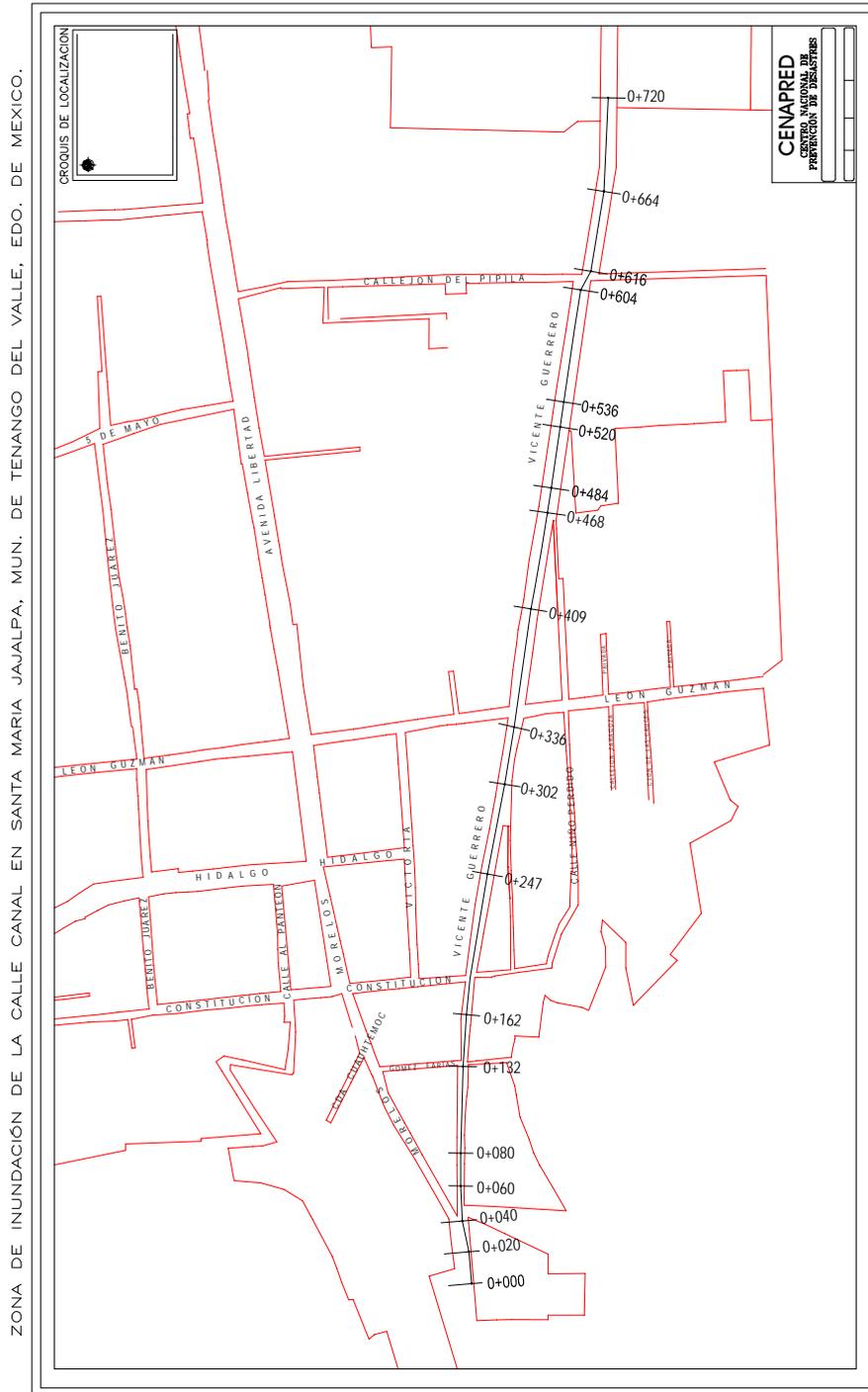


Figura 1.74 Levantamiento topográfico



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

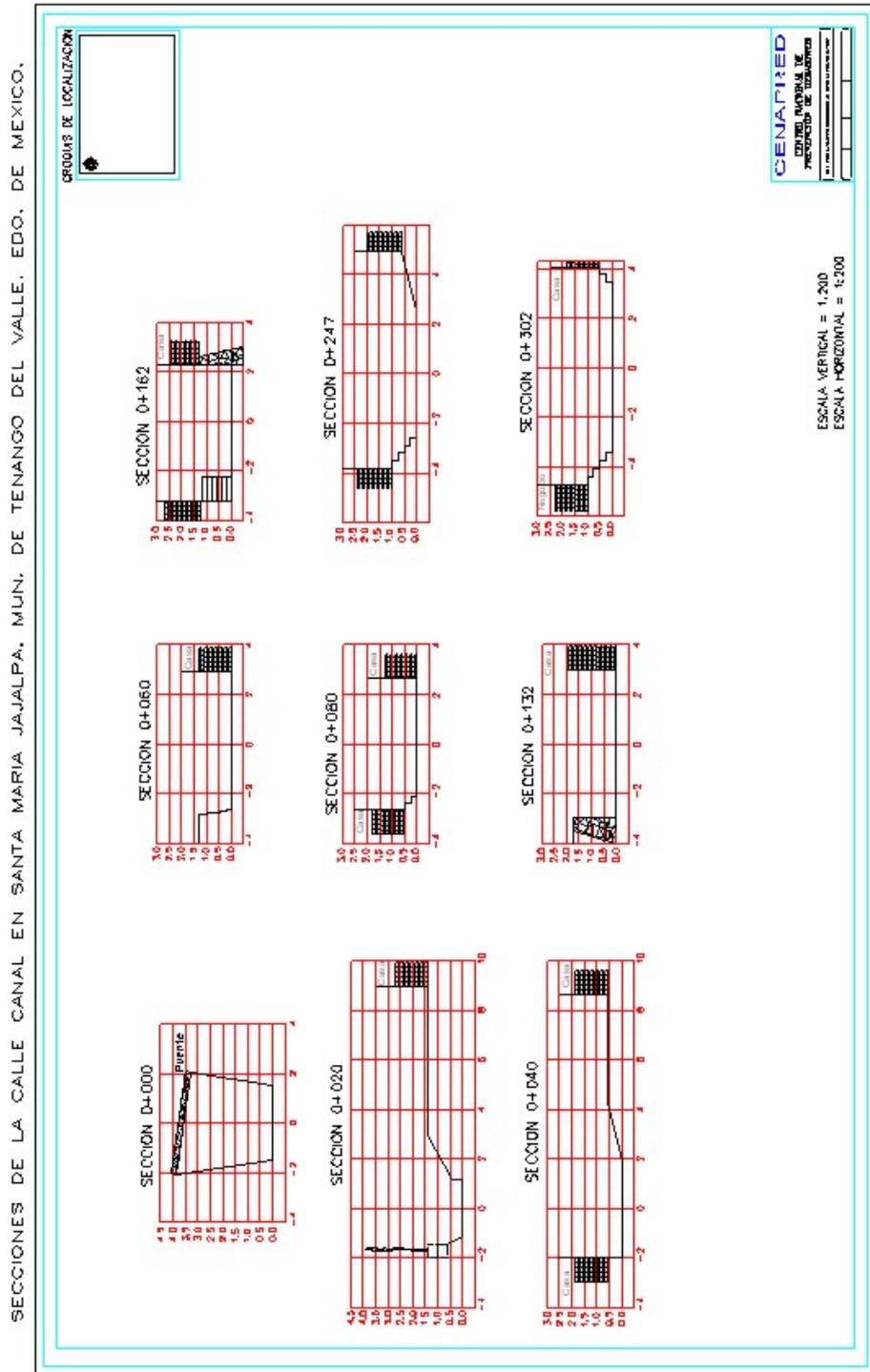


Figura 1.76a Levantamiento topográfico, secciones transversales

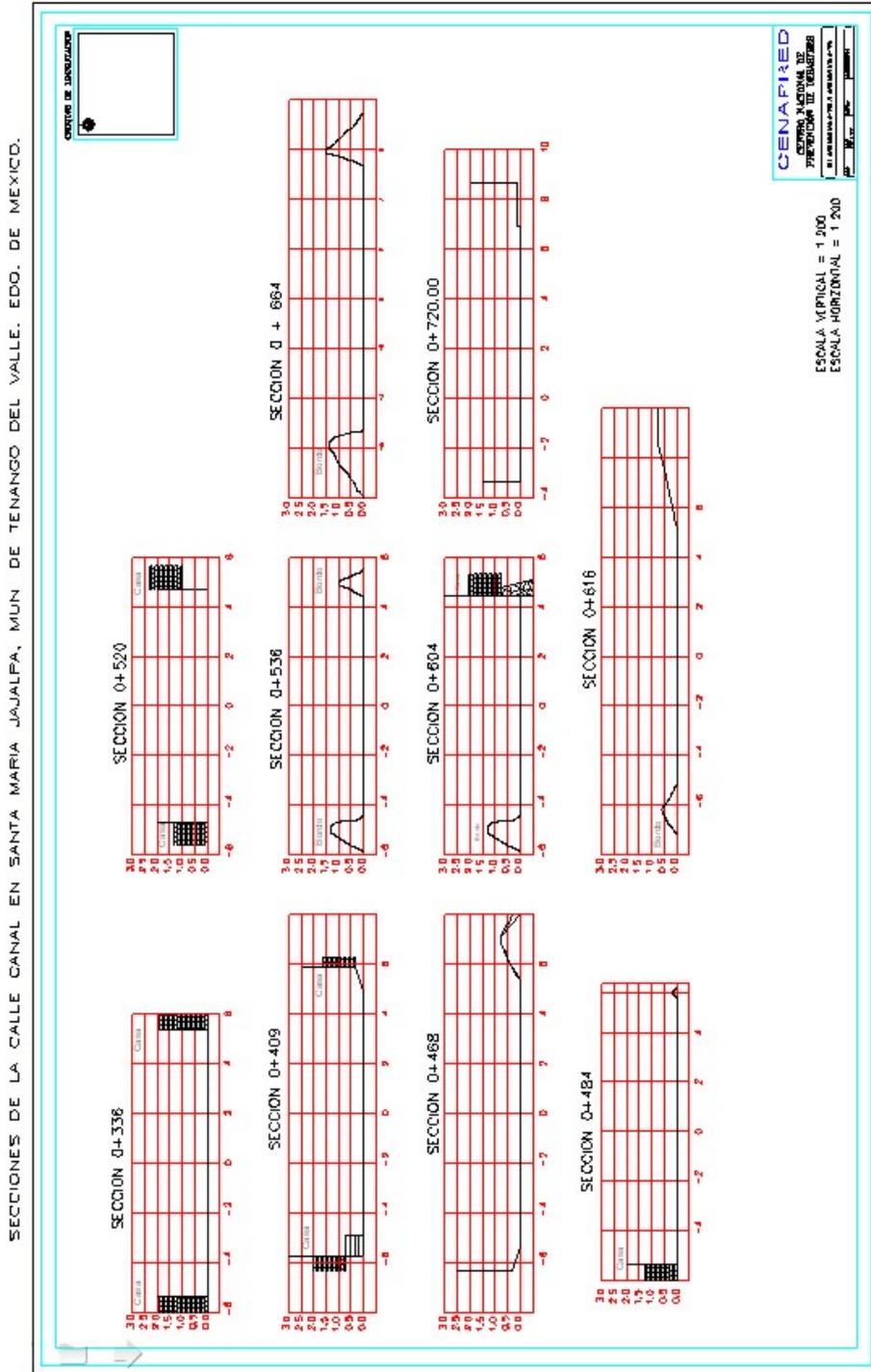


Figura 1.76b Levantamiento topográfico, secciones transversales

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

ZONA DE INUNDACIÓN DE LA CALLE CANAL EN SANTA MARIA JAJALPA, MUN. DE TENANGO DEL VALLE, EDO. DE MEXICO.



Figura 1.77 Zona de inundación

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

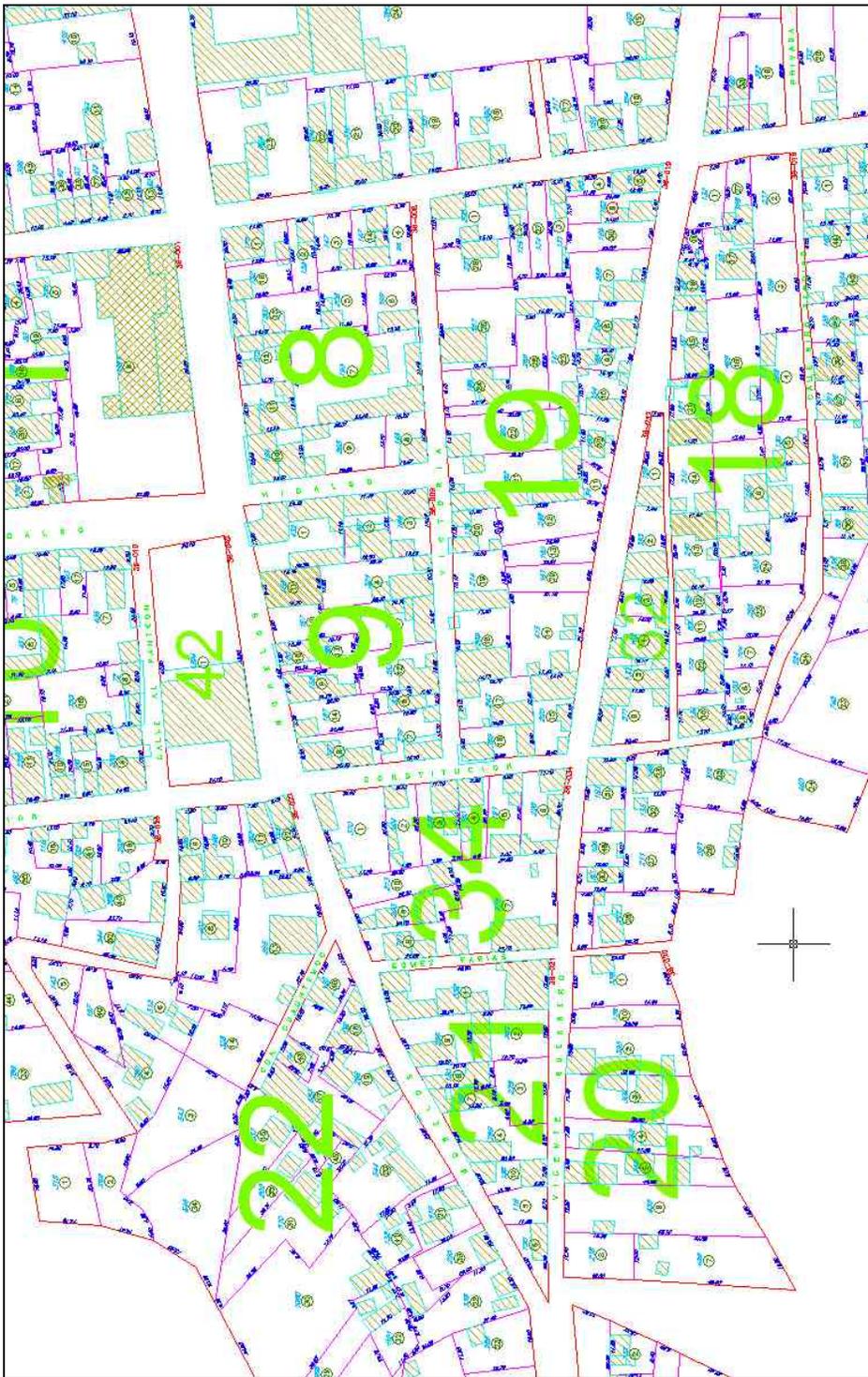


Figura 1.78 Ejemplo de la información digital disponible (fuente: oficina de catastro, Mun. Tenango del Valle)

Tabla 1.39 Ejemplo de la base de datos catastral
(Fuente: oficina de catastro, Mun. Tenango del Valle)

Rango de municipios															FECHA												
Rango de zonas															2005/05/30												
MUNICIPIO	ZONA	DOMICILIO	LOCALIDAD	COLONIA	AREA HOM.	FE	ALTIMETRIA	POSICION	CLASE A	CATEGORIA	VAL TERRENO	VAL CONSTRUCCION	VAL CATASTRAL	F CAP	FRED												
ED	DPTO	PROPIETARIO	SUPONS	USOCONS	CLA	CAT	UNI	MED	N INT	DOMICILIO FISCAL	TERR. PROP.	TERR. COM	DEST	VAL TERR	VALCONS	DEPRABOT	F CAP	PROF									
00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21	
34	00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21
35	00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21
41	00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21
42	00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21
60	00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21
61	00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21
66	00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21
73	00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21
74	00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21
89	00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21
92	00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21
93	00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21
94	00	0000	1	CALLE	PROVISIONAL	#SN	Cd	PARAJE	CHAMARES	C P.	52320	1756	0	0	18.48	95.00	0.00	1756	1	1756	0	0	0.0000	1000	0	No	199509/21

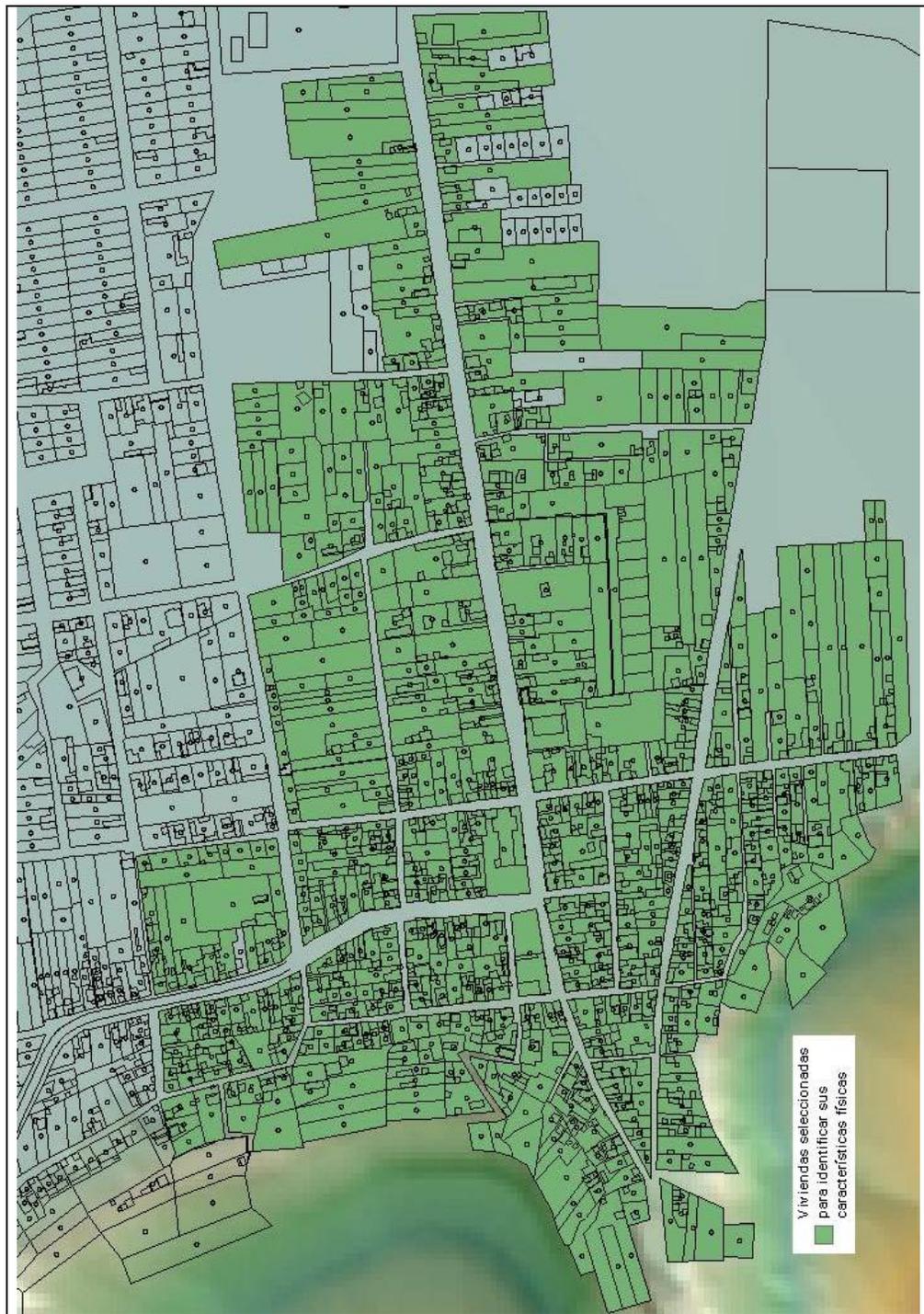


Figura 1.79 Selección de las viviendas para identificar sus características físicas

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).

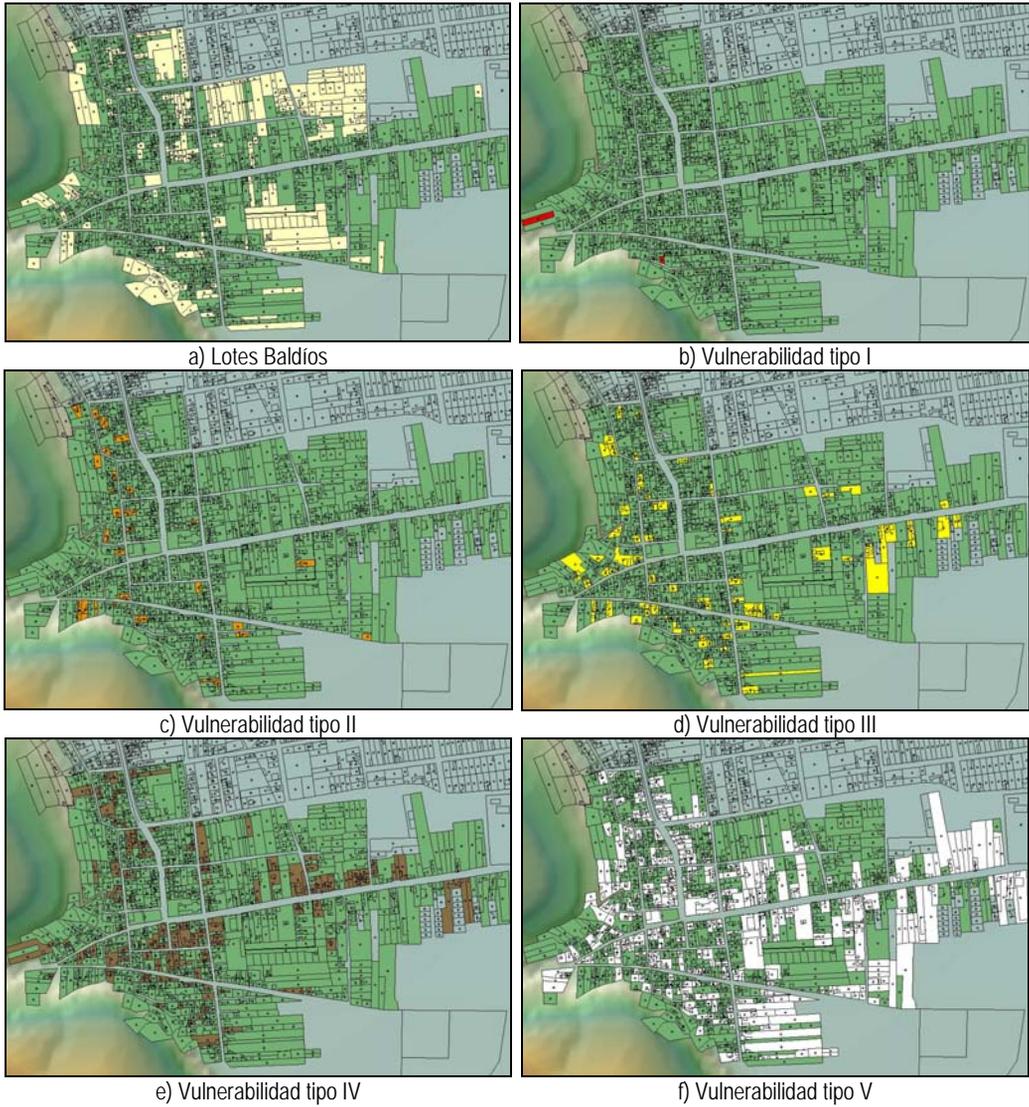


Figura 1.80 *Identificación de la vulnerabilidad por vivienda, en Santa María Jajalpa, Edo. Mex.*

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.

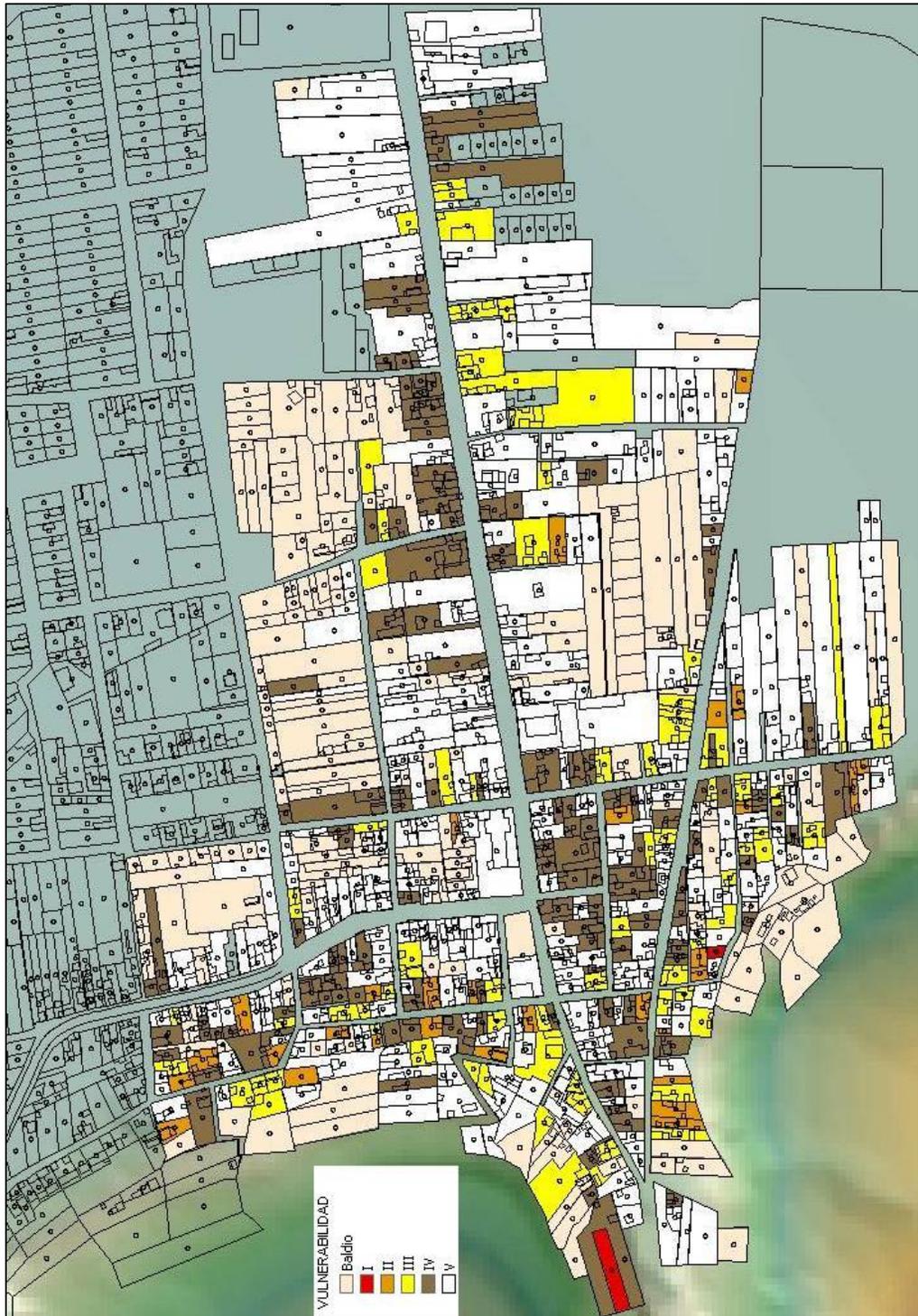


Figura 1.81 Mapa de vulnerabilidad por inundaciones de Santa María Jalalpa, Estado de México

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

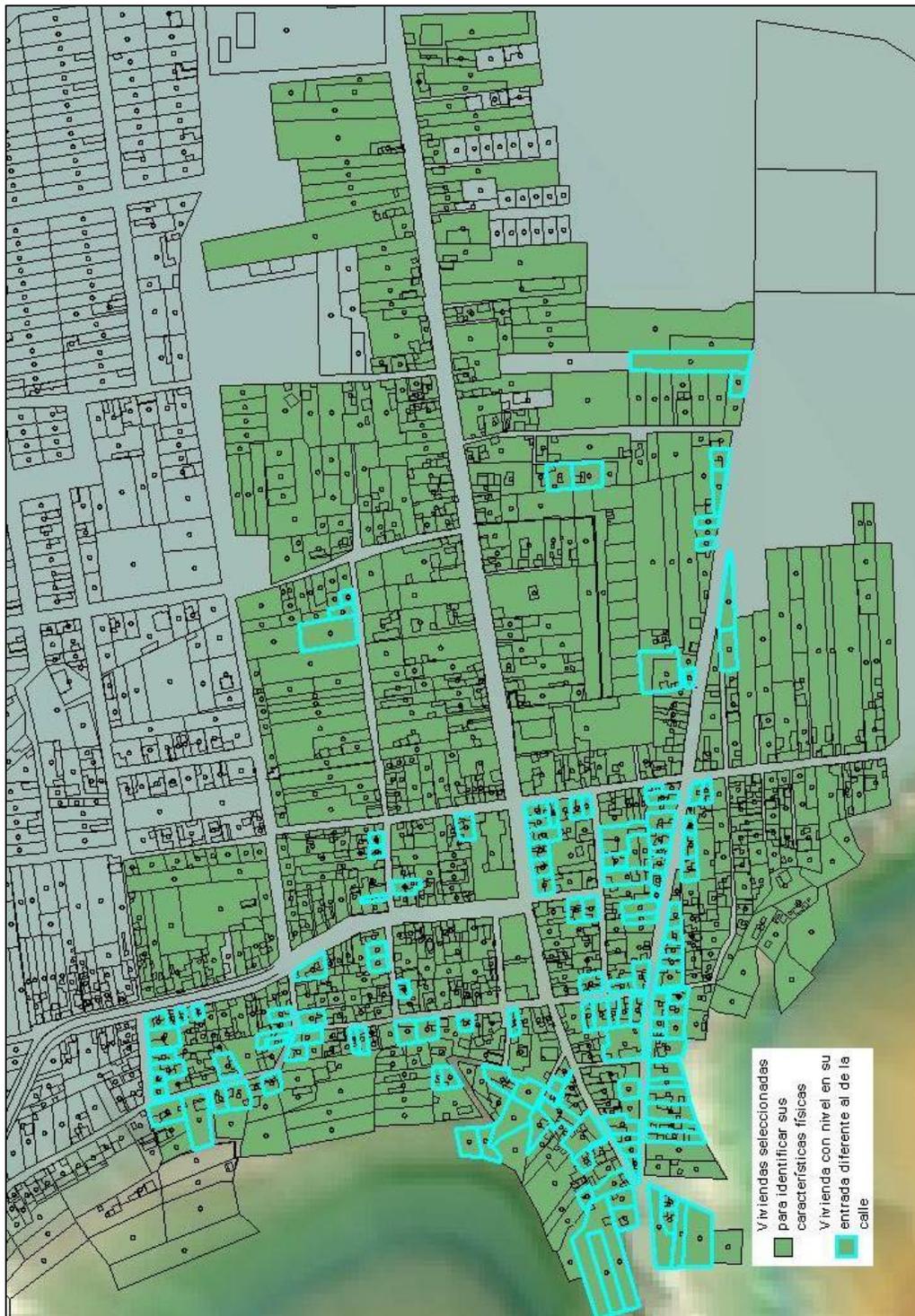


Figura 1.82 Identificación de viviendas con sobreelevación en su entrada

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

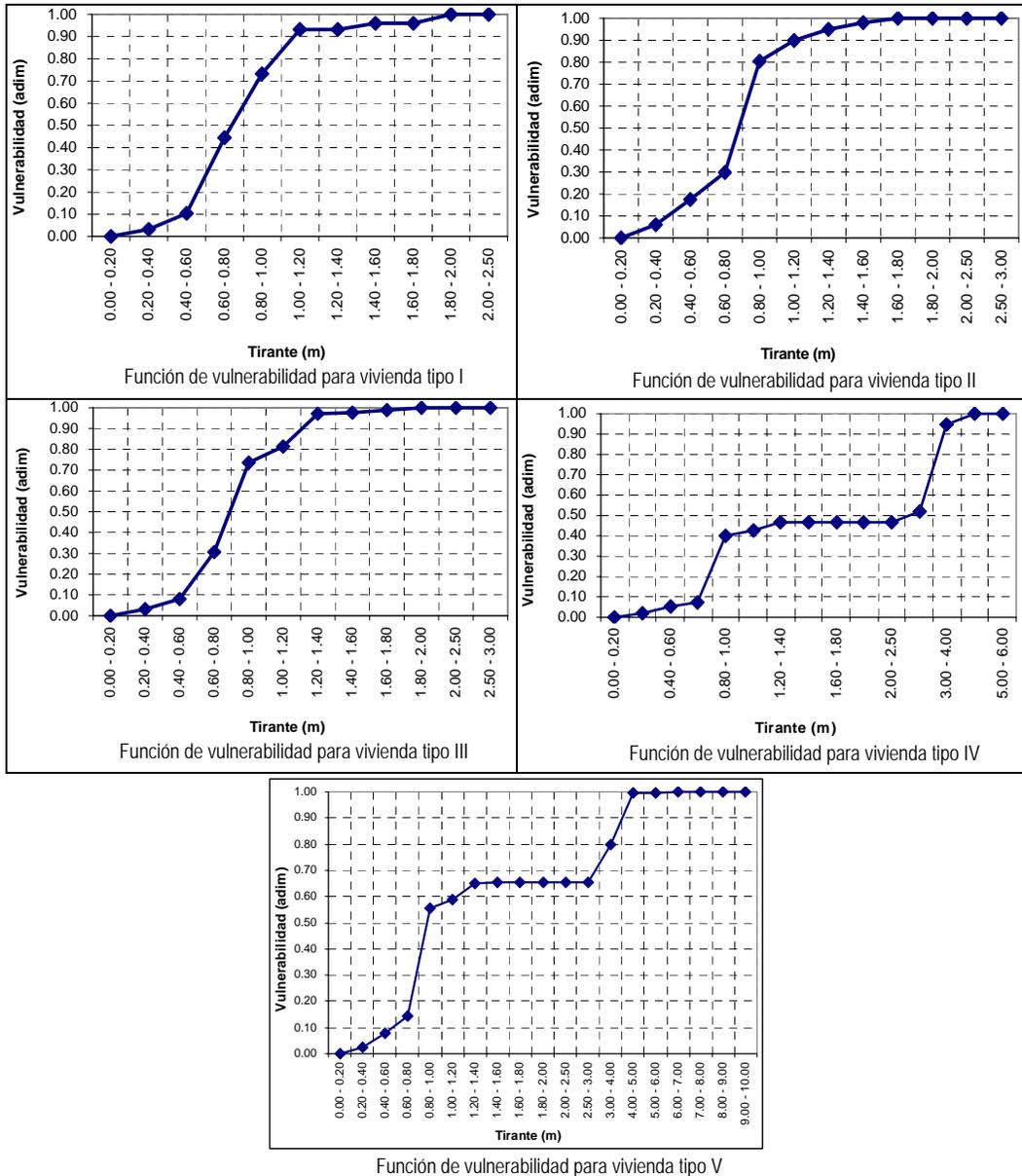


Figura 1.83 Funciones de vulnerabilidad para los diferentes tipos de vulnerabilidad de la vivienda

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.

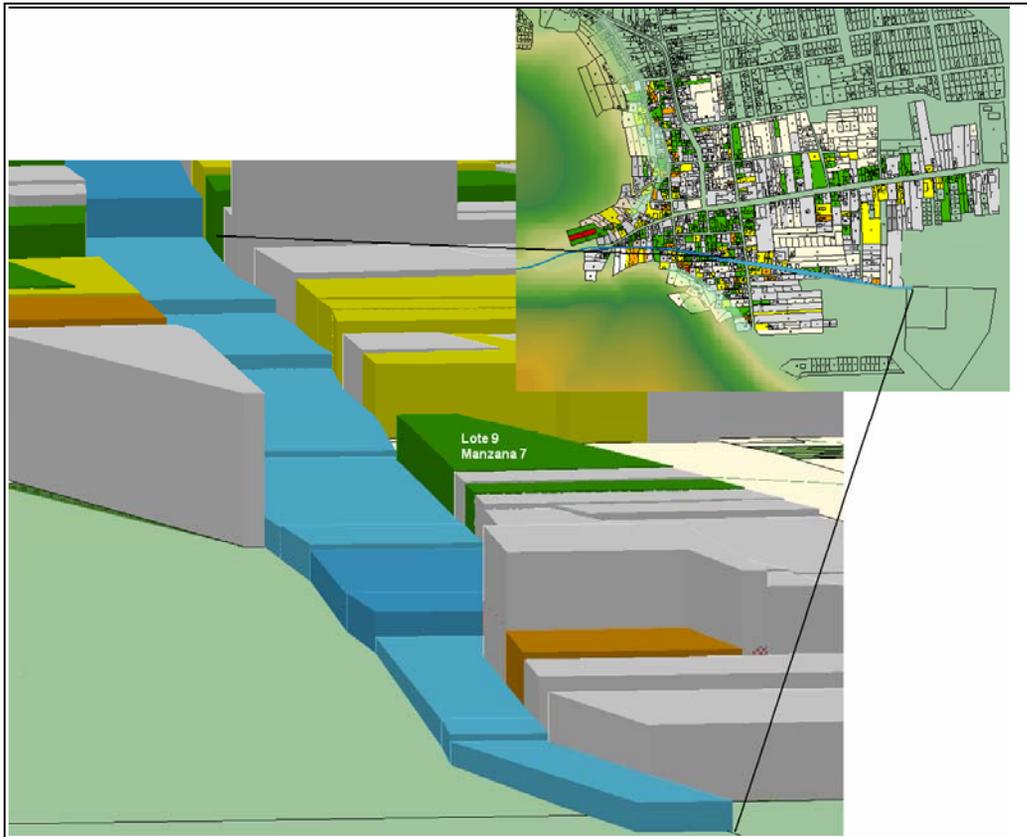


Figura 1.84 Tirante promedio entre secciones adyacentes

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

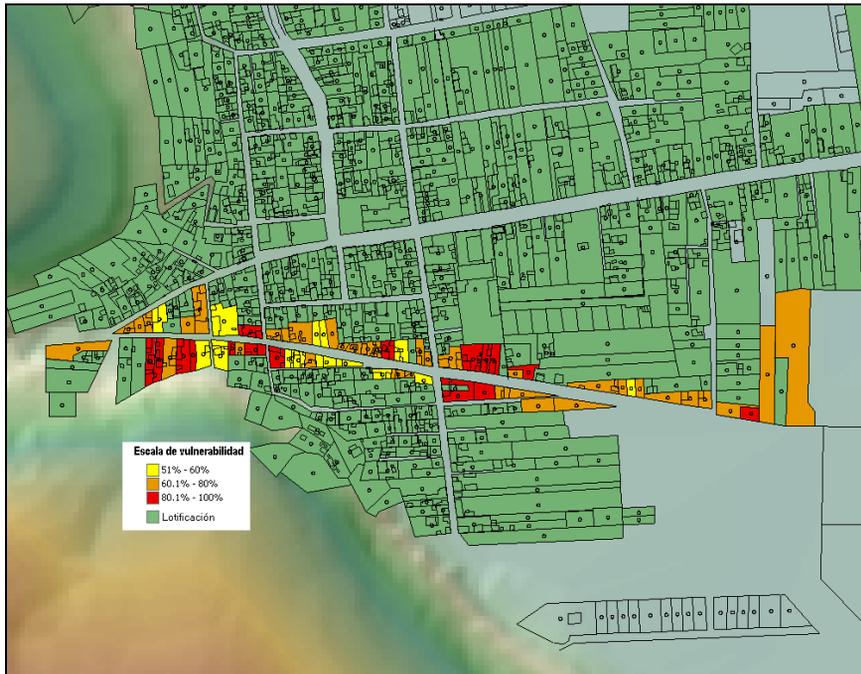


Figura 1.86b Vulnerabilidad en los lotes inundados, $Tr = 100$ años

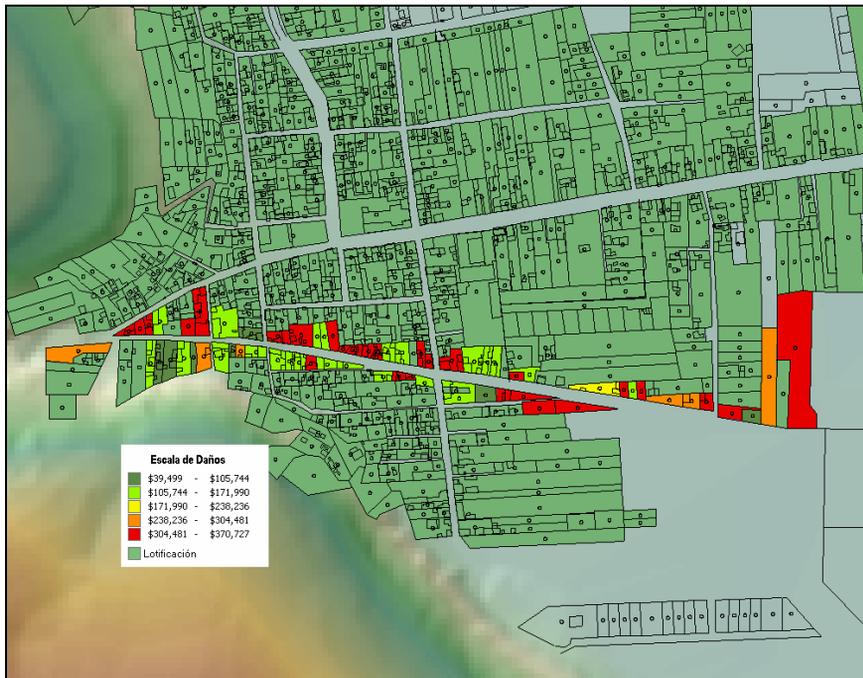


Figura 1.86c Daños por inundación, $Tr = 100$ años

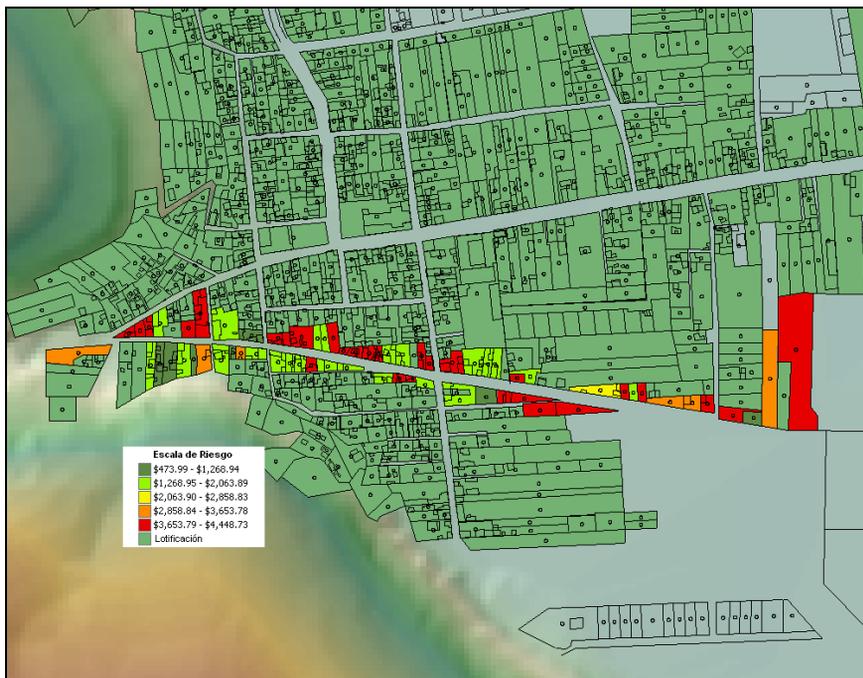


Figura 1.86d Riesgo de inundación, $Tr = 100$ años

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).

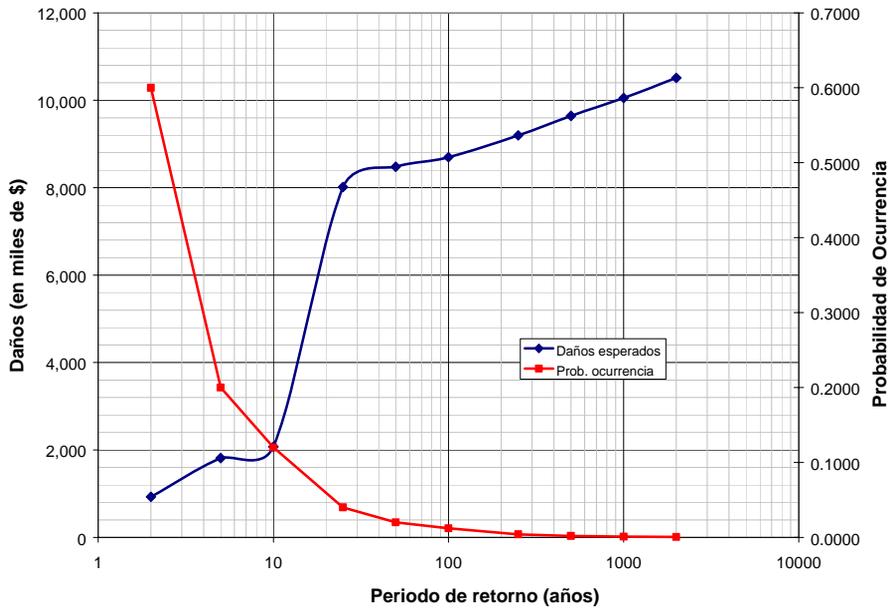


Figura 1.87 Variación de los daños y la probabilidad de ocurrencia en función del periodo de retorno

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.

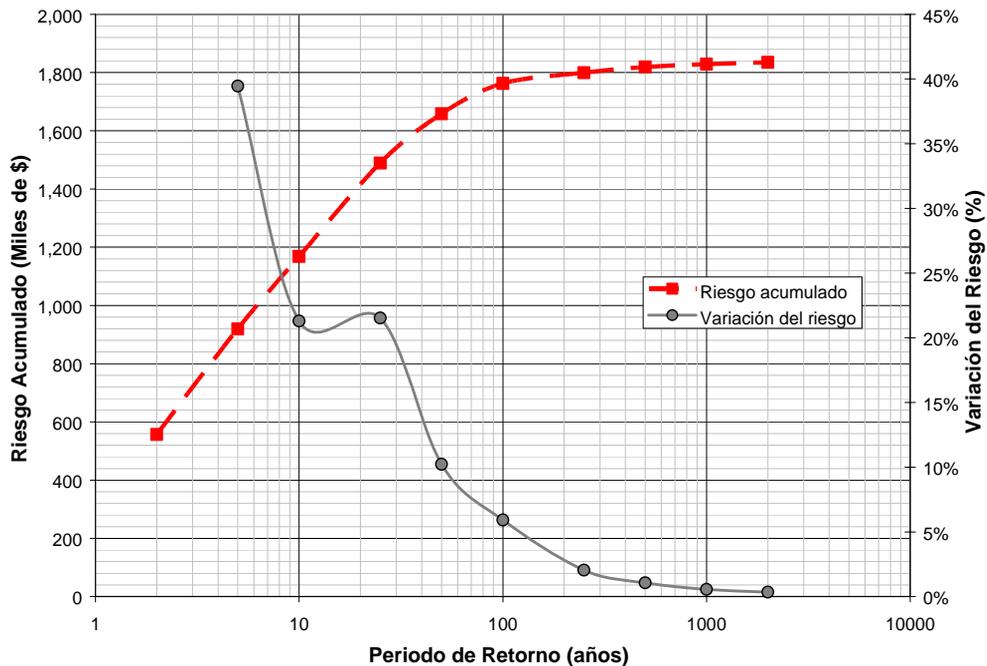


Figura 1.88 Riesgo acumulado y variación del mismo de acuerdo con el periodo de retorno

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.

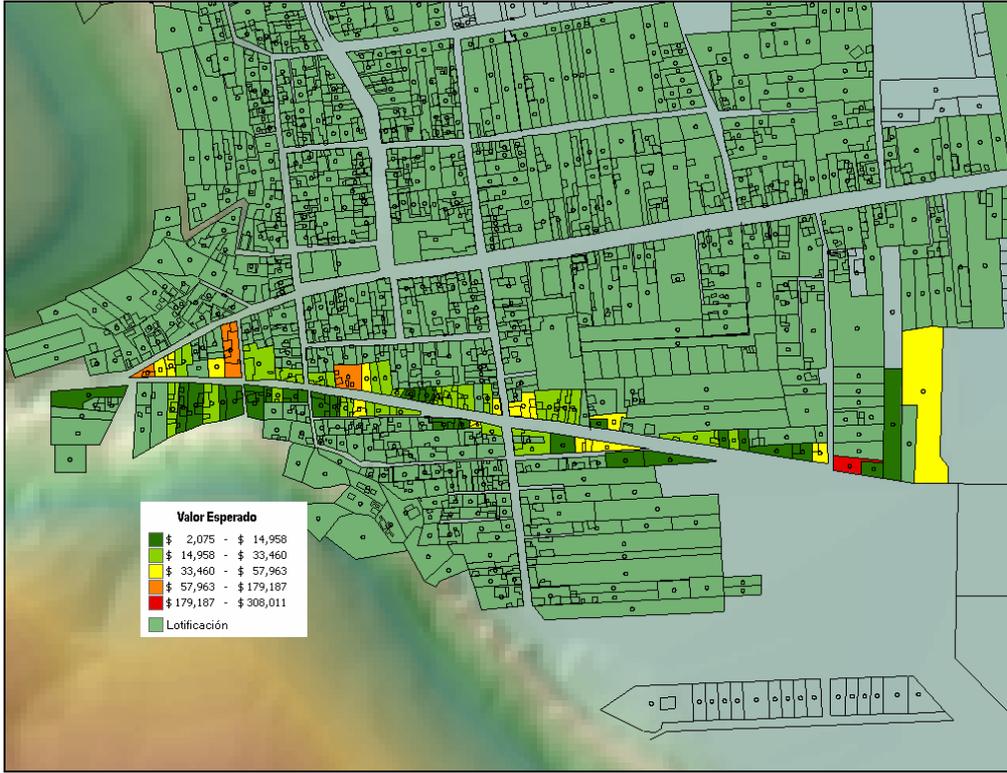


Figura 1.89 Valor esperado de los daños

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 parteaguas.

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, DEPI, 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>

ANEXO 1

MAPAS ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO CON DISTINTAS DURACIONES

ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS Y DURACIÓN DE 1 HORA



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal

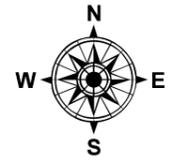
Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS Y DURACIÓN DE 1 HORA



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal

Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS Y DURACIÓN DE 1 HORA



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal

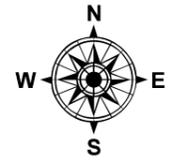
Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS Y DURACIÓN DE 1 HORA



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal

Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 2000 AÑOS Y DURACIÓN DE 1 HORA



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal

Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 1000 AÑOS Y DURACIÓN DE 1 HORA



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal



Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS Y DURACIÓN DE 1 HORA



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal

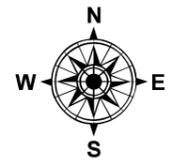


Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006
Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 250 AÑOS Y DURACIÓN DE 1 HORA



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal



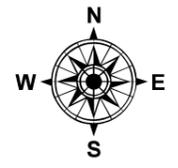
Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS Y DURACIÓN DE 1 HORA



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal



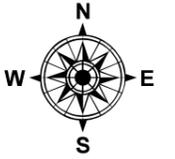
Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS Y DURACIÓN DE 1 HORA



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal

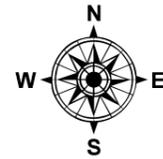
Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS Y DURACIÓN DE 24 HORAS



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal

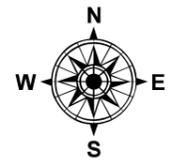
Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 2000 AÑOS Y DURACIÓN DE 24 HORAS



Leyenda

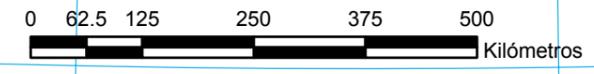
- Isoyetas
- División Estatal



Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 1000 AÑOS Y DURACIÓN DE 24 HORAS



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal

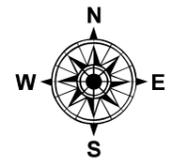
Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS Y DURACIÓN DE 24 HORAS



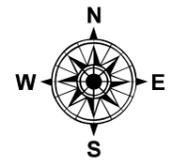
Leyenda
— Isoyetas
□ División Estatal

Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006
Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 250 AÑOS Y DURACIÓN DE 24 HORAS



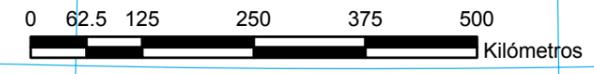
Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal



Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006
Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS Y DURACIÓN DE 24 HORAS



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal



Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS Y DURACIÓN DE 24 HORAS



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal

Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS Y DURACIÓN DE 24 HORAS



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal

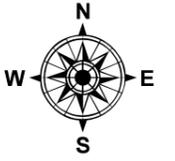
Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS Y DURACIÓN DE 24 HORAS



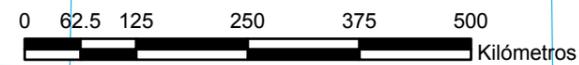
Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal

Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ISOYETAS CON PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS Y DURACIÓN DE 24 HORAS



Leyenda

- Isoyetas
- División Estatal

Riesgos Hidrometeorológicos
Elaboró: Marco A. Salas S.
Fecha: Junio 2006

Fuente: Estudio hidrológico
del I. de I. - U.N.A.M.

Proyección: Cónica Conforme de Lambert



ANEXO 2

**MAPAS DE INUNDACIÓN, VULNERABILIDAD, DAÑOS Y RIESGO
PARA PERIODOS DE RETORNO DESDE 5 HASTA 2000 AÑOS**

Escenario para un periodo de retorno de 5 años

Los resultados del análisis para el periodo de retorno de 5 años, se muestran en las figuras A.1. En ellas se observa que aumenta el número de viviendas, respecto de las correspondientes para $Tr = 2$ años.



Figura A.1a Lotes inundados para $Tr = 5$ años



Figura A.1b Vulnerabilidad en los lotes inundados para $Tr = 5$ años

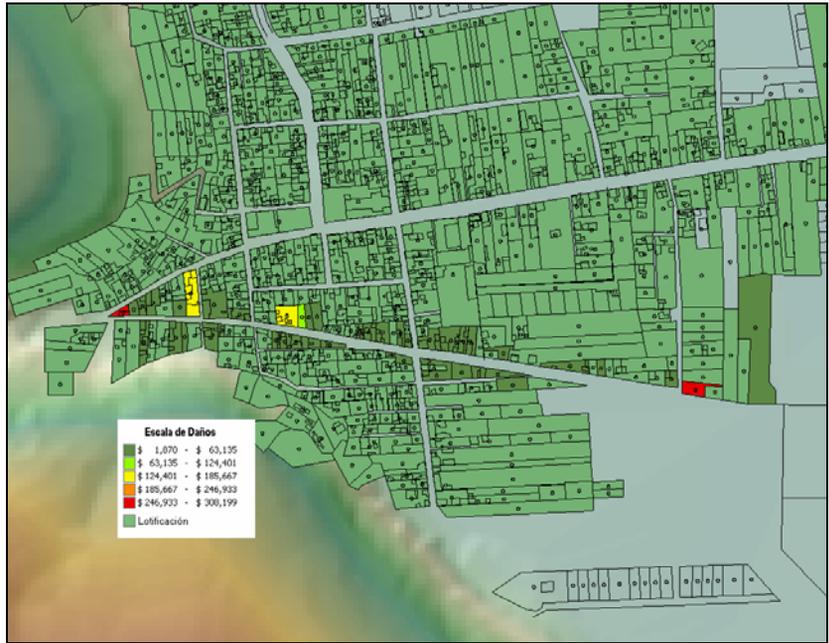


Figura A.1c Daños por inundación para $Tr = 5$ años



Figura A.1d Riesgo de inundación para $Tr = 5$ años

Para este caso, con una probabilidad de 0.20, los daños ascienden a \$362,757.

Escenario para periodo de retorno de 10 años

Para el escenario en el que sucede un evento con $Tr = 10$ años (figuras A.2), las viviendas afectadas son prácticamente las mismas que en el caso de los eventos menores; sin embargo, la diferencia radica en que los tirantes de agua son mayores y, por lo tanto, su vulnerabilidad aumenta.



Figura A.2a Lotes inundados para $Tr = 10$ años



Figura A.2b Vulnerabilidad en los lotes inundados para $Tr = 10$ años



Figura A.2c Daños por inundación para $Tr = 10$ años



Figura A.2d Riesgo de inundación para $Tr = 10$ años

En este caso, la probabilidad de que ocurra este escenario es 0.12, cuyos daños ascienden a \$248,798.

Escenario para periodo de retorno de 25 años

La ocurrencia de un evento con $Tr = 25$ años (figuras A.3) conlleva un aumento de más del 40% de las viviendas que pueden ser afectadas, respecto al caso antes analizado. El tirante promedio es de 1.26 m.



Figura A.3a Lotes inundados para $Tr = 25$ años



Figura A.3b Vulnerabilidad en los lotes inundados para $Tr = 25$ años

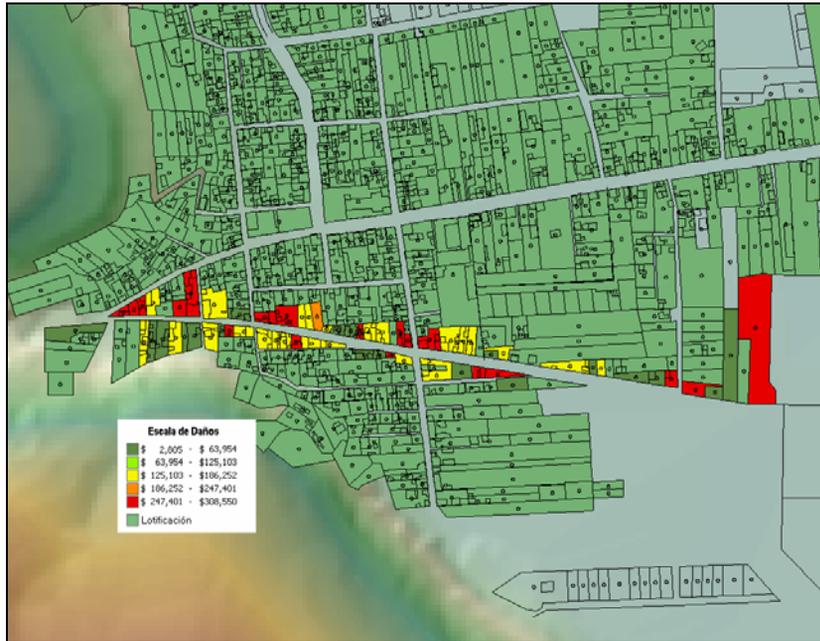


Figura A.3c Daños por inundación para $Tr = 25$ años

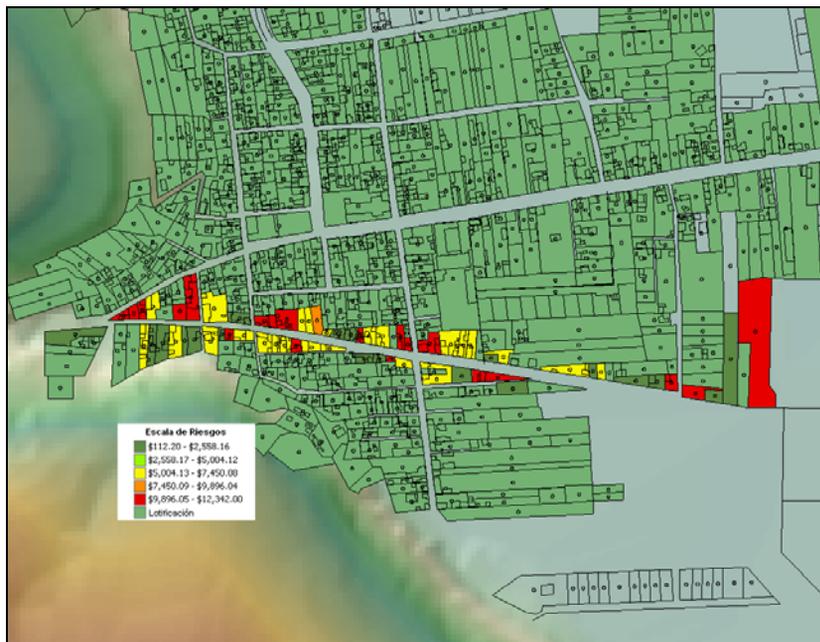


Figura A.3d Riesgo de inundación para $Tr = 25$ años

A partir de este escenario, el incremento de la vulnerabilidad es más lento, además el número de viviendas que son afectadas por la inundación es prácticamente el mismo y sólo cambian los daños por la magnitud del tirante promedio.

Los daños estimados para este evento son del orden de \$320,492.

Escenario para periodo de retorno de 50 años

En este caso (figuras A.4) el tirante promedio alcanza los 1.70 m y las viviendas afectadas son prácticamente las mismas que en el caso anterior, con la diferencia que la vulnerabilidad promedio es de 0.72 (5% más, respecto al caso anterior).



Figura A.4a Lotes inundados para $Tr = 50$ años

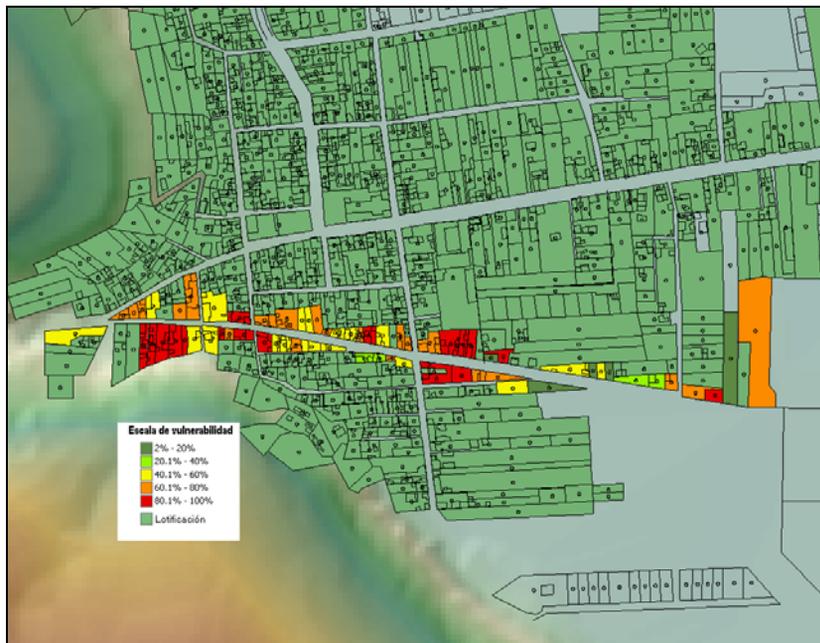


Figura A.4b Vulnerabilidad en los lotes inundados para $Tr = 50$ años

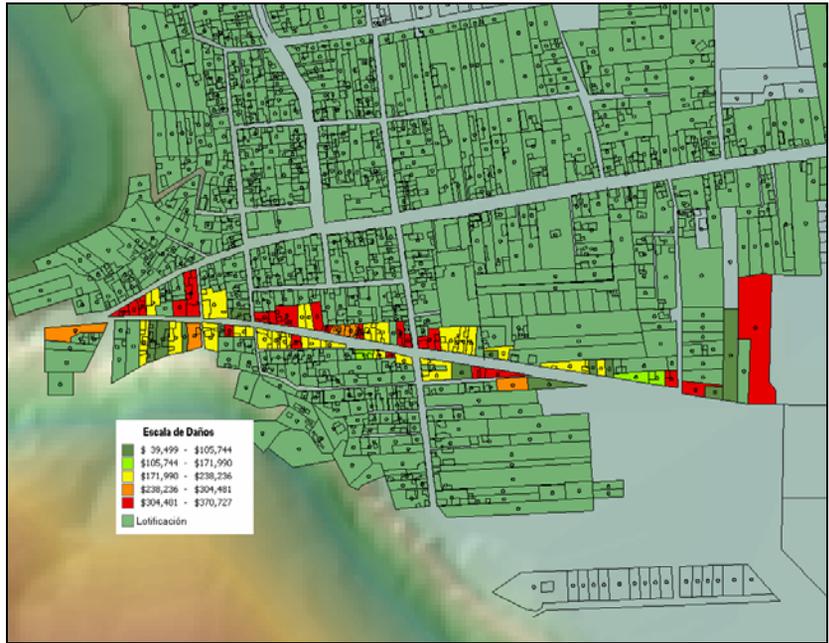


Figura A.4c Daños por inundación para $T_r = 50$ años



Figura A.4d Riesgo de inundación para $T_r = 50$ años

En este caso, la totalidad de la viviendas que cuentan con sobreelevación en su entrada ya han sido afectadas.

Los daños alcanzan los \$169,545.

Escenario para periodo de retorno de 250 años

Este escenario (figuras A.5) provoca que el tirante promedio alcance los 2.55 m y una vulnerabilidad media de 0.77, es decir un incremento del 10% en la primera variable y de 5% en la segunda.



Figura A.5a Lotes inundados, $Tr = 250$ años



Figura A.5b Vulnerabilidad en los lotes inundados, $Tr = 250$ años

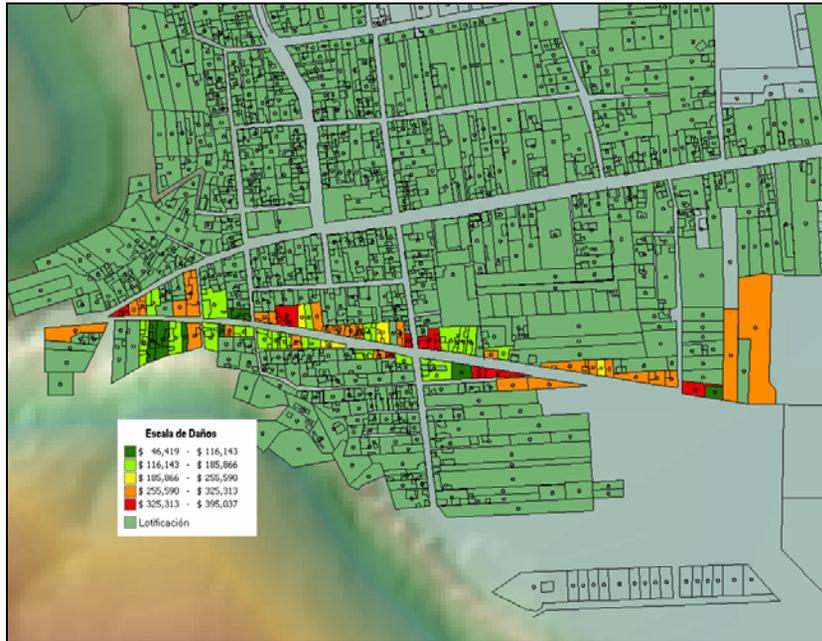


Figura A.5c Daños por inundación, $Tr = 250$ años



Figura A.5d Riesgo de inundación, $Tr = 250$ años

Desde aquí y hasta el último escenario analizado, la variación del riesgo no va más allá de un 2%. El daño calculado alcanza los \$36,778.

Escenario para periodo de retorno de 500 años

El incremento de las variables: gasto, tirante promedio, vulnerabilidad y daños, continúa paulatinamente (figuras A.6).



Figura A.6a Lotes inundados, $Tr = 500$ años



Figura A.6b Vulnerabilidad en los lotes inundados, $Tr = 500$ años

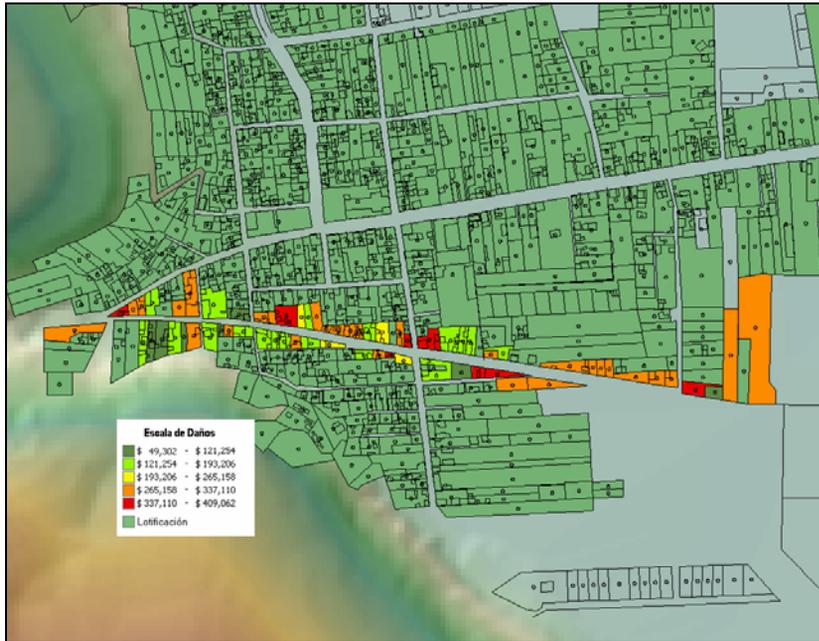


Figura A.6c Daños por inundación, $Tr = 500$ años

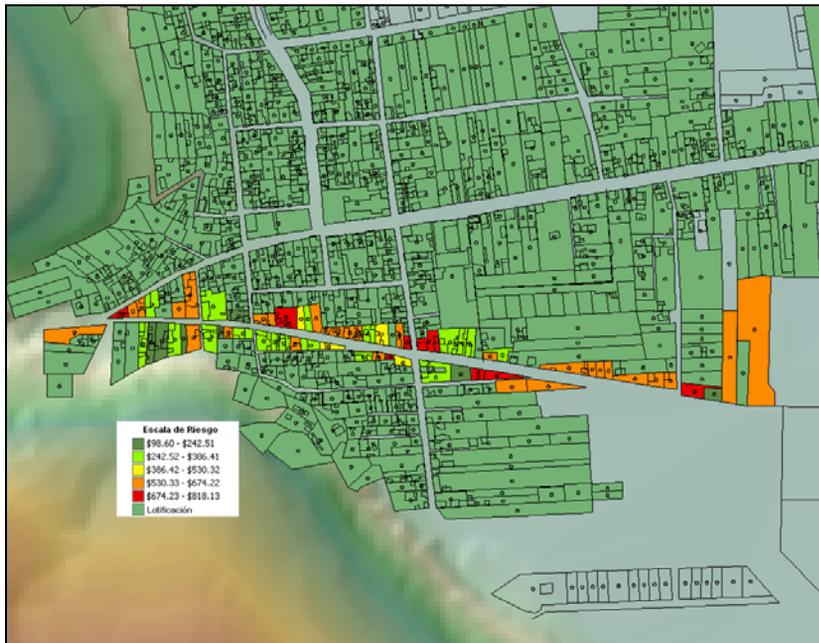


Figura A.6d Riesgo de inundación, $Tr = 500$ años

Los daños estimados para este evento son de \$19,288.00 (-48% respecto al $Tr=100$ años) para una probabilidad muy baja de que ocurra el mismo de 0.002.

Escenario para periodo de retorno de 1000 años

Para este evento (figuras A.7) el tirante promedio alcanza los 2.81 m y los daños calculados en las viviendas pasan los 10,000,000.



Figura A.7a Lotes inundados, $Tr = 1000$ años



Figura A.7b Vulnerabilidad en los lotes inundados, $Tr = 1000$ años

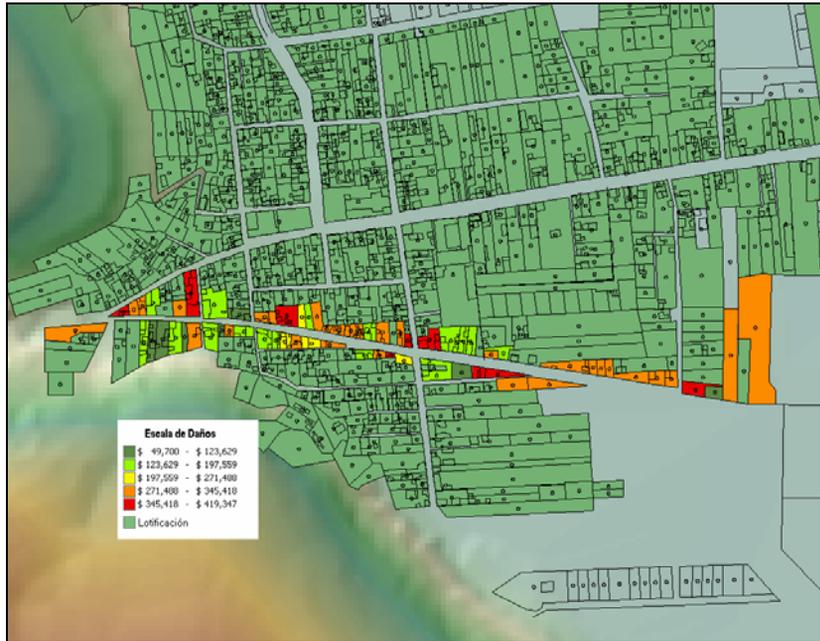


Figura A.7c Daños por inundación para $Tr = 1000$ años

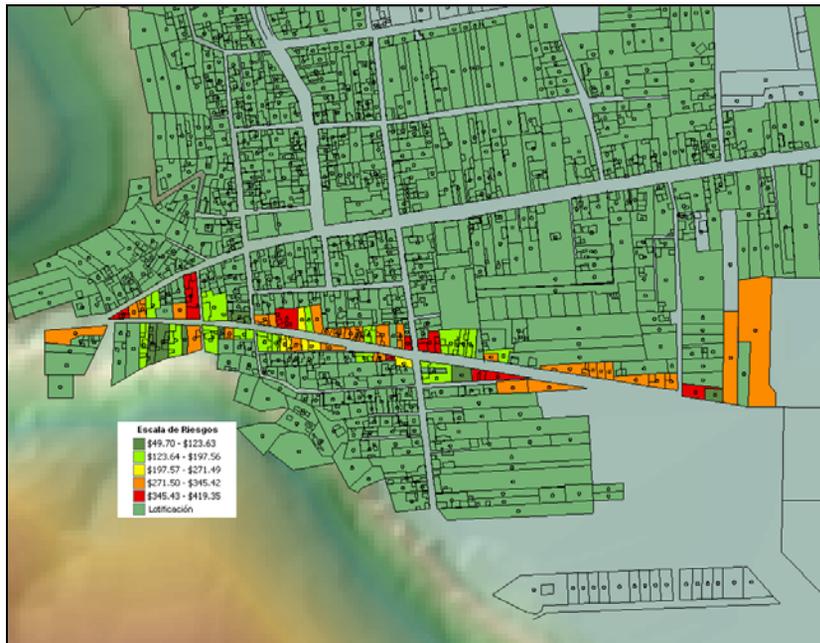


Figura A.7d Riesgo de inundación para $Tr = 1000$ años

Dado que la probabilidad de que este evento se presente es muy baja (0.001) el riesgo calculado a penas rebasa los \$10,000.

Escenario para periodo de retorno de 2000 años

De manera similar al caso anterior (figuras A.8), el tirante ronda los 2.95 m, produciendo una vulnerabilidad media de 0.86.

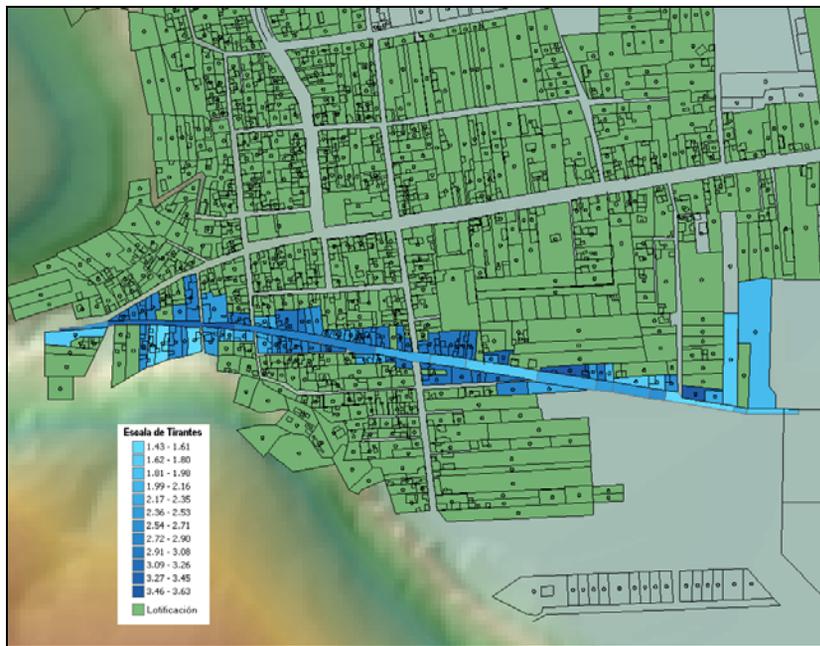


Figura A.8a Lotes inundados, $Tr = 2000$ años



Figura A.8b Vulnerabilidad en los lotes inundados, $Tr = 2000$ años

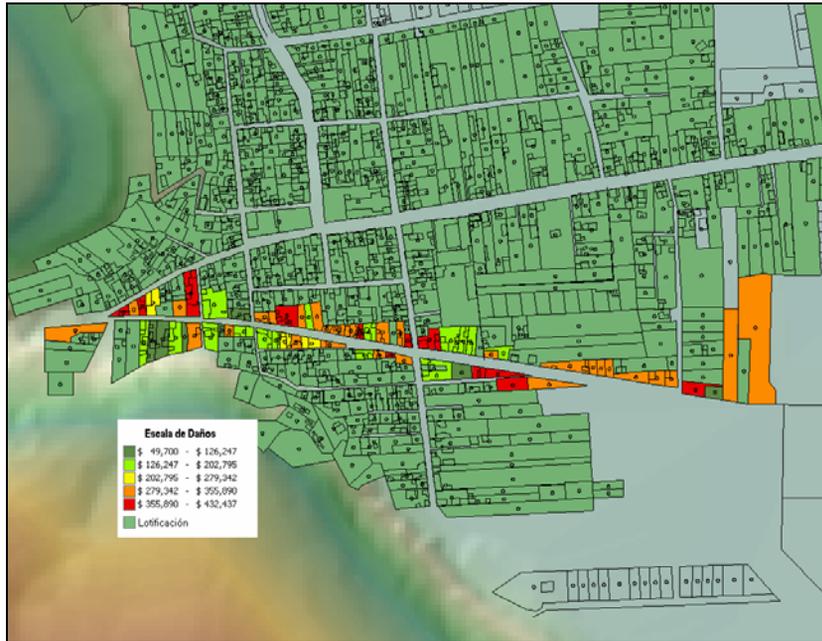


Figura A.8c Daños por inundación, $T_r = 2000$ años

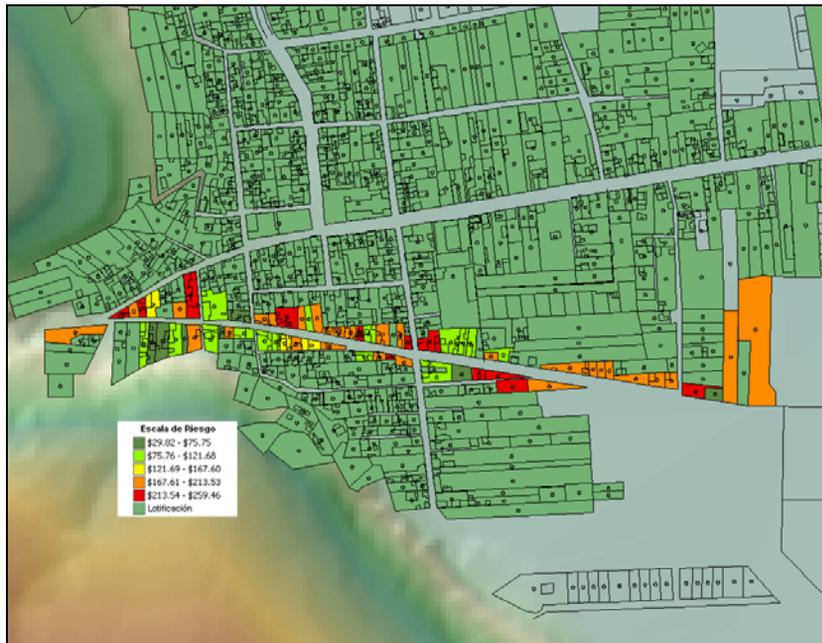


Figura A.8d Riesgo de inundación, $T_r = 2000$ años

La tabla 1.46 muestra los resultados del análisis de riesgo para cada uno de los periodos de retorno estudiados.

Los daños calculados son apenas de \$6,300.

ANEXO 3
OBTENCIÓN DE MEDIDAS DE RIESGO

RIESGO

Desde el punto de vista de pérdida, el riesgo puede verse como el movimiento de tres factores importantes entre sí: el costo o valor de los bienes expuestos a un evento, por su nivel de vulnerabilidad o daño ante el evento en acción, por la probabilidad de que el evento ocurra. De lo anterior podemos expresar al riesgo como:

$$R=CPV \quad (1)$$

donde **C**=Valor de los bienes expuestos, **P**=Peligro, y **V**=Vulnerabilidad

El valor de los bienes expuestos

Entendemos por el valor de los bienes expuestos (C en la ecuación 1) a la cuantía de lo que es susceptible de afectarse durante la ocurrencia de un fenómeno perturbador. En muchos casos C tiene unidades monetarias; sin embargo, habrá ocasiones en que se necesite expresar a C de otra forma, por ejemplo, si lo susceptible de afectarse son vidas humanas.

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es una medida de qué tan susceptible es un bien expuesto a ser dañado ante la ocurrencia de un fenómeno perturbador. De dos bienes expuestos uno es más vulnerable si, ante la ocurrencia de fenómenos perturbadores con la misma intensidad, sufre mayores daños. La vulnerabilidad suele expresarse como un número entre 0 y 1. 0 implica que el daño sufrido ante un evento de cierta intensidad es nulo, y 1 implica que este daño es igual al valor del bien expuesto. La vulnerabilidad puede representarse con una función matemática o en forma de una tabla llamada matriz de vulnerabilidad.

Medidas del peligro

En el contexto de este trabajo, se dirá que evaluar el peligro significa cuantificar, en términos de probabilidades, la ocurrencia, en un lapso dado, de fenómenos potencialmente dañinos para los bienes expuestos. Para evitar ambigüedades en la definición del acontecimiento potencialmente dañino, conviene medir su potencial con una cantidad que llamaremos su intensidad.

La caracterización del fenómeno, entonces, sólo es completa si se especifica su intensidad. Idealmente, ésta debe ser una cantidad (o un vector de cantidades) que pueda ser asociada mediante relaciones físicas con los efectos del fenómeno sobre los bienes expuestos.

Como herramienta para medir el peligro, se utiliza la tasa de excedencia de eventos con intensidad i , $v(i)$, definida como el número medio de veces en que, por unidad de tiempo, ocurre un evento que excede tal intensidad. La tasa de excedencia es una función decreciente con la intensidad. En vista de su definición, la densidad de probabilidades de la intensidad, $p(i)$, puede obtenerse derivando $v(i)$ de derecha a izquierda y normalizando posteriormente:

$$p(i) = -k \frac{dv(i)}{di} \quad (2)$$

Donde la constante k es tal que $p(i)$ integra 1. Nótese que $dv(i)/di$ es proporcional al número de eventos con intensidad igual a i o, más rigurosamente, con intensidad entre i e $i+di$.

A partir de $\nu(i)$, suponiendo ocurrencias aleatorias con distribución exponencial, es posible calcular la probabilidad que cierto valor de intensidad sea excedido en un lapso T , que no es más que la probabilidad que haya que esperar menos de T años para que se produzca un evento en que se exceda la intensidad i . Puesto que el tiempo entre eventos con intensidad igual o superior a i tiene distribución exponencial:

$$Pe(i, T) = \int_0^T \nu(i) e^{-\nu(i)t} dt = 1 - e^{-\nu(i)T} \quad (3)$$

$Pe(i, T)$, conocida como la probabilidad de excedencia de la intensidad i en un lapso T , es una medida de peligro adecuada para todo proceso de ocurrencia, mientras que $\nu(i)$ lo es sólo para el modelo de ocurrencias aleatorias de Poisson.

La expresión (1), nos da el riesgo ante la ocurrencia de un evento con cierta intensidad, sin embargo, para medir el riesgo será preferente tomar el promedio de daños esperados cuando ocurra un evento, es decir, obtener el riesgo ante el próximo evento.

El riesgo ante el próximo evento

El riesgo ante el próximo evento es la suma de los asociados a los diferentes niveles de intensidad. De la ecuación (1) sumamos los riesgos para cada intensidad, y llegamos a:

$$R_p = C \sum_{i=1}^n P(i) V(i) \quad (5)$$

El riesgo anual

Ahora bien, si se desea obtener el riesgo anual, se deberá multiplicar la ecuación de riesgo por el valor esperado de huracanes que ocurren al año, que para este caso es 0.3333.

$$R_a = \nu(1)(R_p) = \nu(1) \left(C \sum_{i=1}^n P(i) V(i) \right) \quad (6)$$

CÁLCULO DEL RIESGO A TRAVÉS DE PERIODOS DE RETORNO

Función periodo de retorno $Tr(i)$

Una forma de medir la excedencia de intensidad de un fenómeno a través del tiempo es por medio de periodos de retorno. El periodo de retorno es definido como el tiempo promedio entre las ocurrencias de un evento que excede cierta intensidad.

El periodo de retorno puede verse como la función $Tr(i)$, cuyo dominio son los diferentes niveles de intensidad i , y la imagen es el lapso promedio de tiempo entre ocurrencias de eventos con intensidad i , generalmente dada en años. La función $Tr(i)$ es creciente con la intensidad, es decir, a mayor magnitud o grado de un evento, aumenta el tiempo entre excedencias.

Tabla 1 Periodos de retorno

i	$Tr(i)$
1	2
2	5
3	10
4	25
5	50
6	100
7	250
8	500
9	1000
10	2000

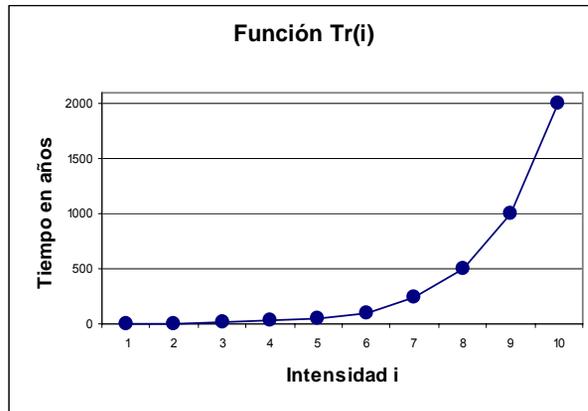


Figura 1 Representación de diferentes periodos de retorno

En particular, nos interesará conocer el periodo de retorno de eventos máximos anuales, dado que es la manera más común de trabajar con series hidrológicas.

Se puede decir que la función de periodo de retorno de máximos anuales no aprovecha toda la información disponible. Es importante señalar que la varianza de las observaciones del fenómeno del cual se obtuvieron los periodos de retorno para cada nivel de intensidad, permitirá la estimación el error de la función $Tr(i)$.

Si una excedencia ocurre en promedio cada $Tr(i)$ años, entonces la probabilidad de que un evento exceda la intensidad i en cualquier año es ¹

$$Pe = \frac{1}{Tr(i)} \quad (7)$$

siempre que $Tr(i) > 1$.

¹ Statistical Methods in Hydrology. Charles T. Haan, 6ª Edición, 1994. Página 3.

En la tabla 2 se muestran las probabilidades de excedencia para cada periodo de retorno.

Tabla 2 Probabilidad de excedencia en un año

Intensidad i	Pe
1	0.5000
2	0.2000
3	0.1000
4	0.0400
5	0.0200
6	0.0100
7	0.0040
8	0.0020
9	0.0010
10	0.0005

El peligro a través de periodos de retorno

A pesar de que se puede obtener la probabilidad de excedencia de intensidad de un fenómeno para un tiempo determinado por medio del periodo de retorno, ésta no resulta suficiente para medir el peligro ante la existencia de un próximo evento.

Recordemos que de (2), la expresión $v(i)$ es la tasa de excedencia de intensidad i , definida como el número medio de veces en que, por unidad de tiempo ocurre un evento que excede tal intensidad. La tasa de excedencia es una función decreciente con la intensidad.

Como se podrá observar, por su definición, la función de peligro requiere de la existencia de una tasa de excedencia de intensidad, de tal forma que si solamente contamos con la información estadística de los periodos de retorno, se deberá construir la función $v(i)$ partiendo de la función $tr(i)$.

Un método para obtener la tasa de excedencia de un fenómeno, partiendo de sus periodos de retorno para diferentes intensidades, consiste en realizar una proyección del número de eventos que ocurrirán en promedio durante un intervalo de tiempo.

Por ejemplo, de la tabla 1, el periodo de retorno asociado a la intensidad 1 es 2 años, es decir $Tr(1) = 2$, por lo que en promedio, durante los próximos dos años, la intensidad 1 será excedida una vez. Ahora bien, en los siguientes 2000 años, el número de eventos que excederán la intensidad 1 será $2000/2 = 1000$ eventos en promedio. Esta proyección nos da como resultado una estimación de la tasa de excedencia. En general, podremos obtener $v(i)$ con la siguiente expresión

$$v(i) = \frac{t}{Tr(i)} \quad (8)$$

donde t es el número de años proyectado.

La siguiente tabla nos muestra las proyecciones del número de eventos que exceden cierta intensidad hasta 2000 años.

Tabla 3 Número de eventos con cierta intensidad por año

Intensidad	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10
Años/Tr(i)	2	5	10	25	50	100	250	500	1000	2000
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0
25	12	5	2	1	0	0	0	0	0	0
50	25	10	5	2	1	0	0	0	0	0
100	50	20	10	4	2	1	0	0	0	0
250	125	50	25	10	5	2	1	0	0	0
500	250	100	50	20	10	5	2	1	0	0
1000	500	200	100	40	20	10	4	2	1	0
2000	1000	400	200	80	40	20	8	4	2	1

Tomando t =2000 años de proyección, se trasladan los valores para las intensidades 1 a 10 en la siguiente tabla.

Tabla 4 Número de eventos por intensidad en 2000 años

Intensidad <i>i</i>	<i>v(i)</i>
1	1000
2	400
3	200
4	80
5	40
6	20
7	8
8	4
9	2
10	1
11	0

El evento en que se excede una intensidad de 11, tiene una probabilidad igual a cero, únicamente se agrega para efectos de calcular la función de peligro, como se indica a continuación.

Usando la ecuación (2), obtenemos la probabilidad de excedencia *P(i)* de que un evento sea de intensidad *i*, integrando de *i* a *i+1*

$$P(i) = -\frac{1}{v(1)} \int_i^{i+1} \frac{dv(i)}{di} di = -\frac{1}{v(1)} [v(i+1) - v(i)]$$

Tabla 5 Función de peligro

Intensidad i	$P(i)$
1	0.6
2	0.2
3	0.12
4	0.04
5	0.02
6	0.012
7	0.004
8	0.002
9	0.001
10	0.001
11	0

Comparaciones entre las funciones de peligro y periodo de retorno

¿Cuál es la relación entre la función de peligro y el periodo de retorno?

La función de peligro da la probabilidad de que un evento exceda cierta intensidad y no avance a la siguiente. El periodo de retorno proporciona el tiempo esperado entre excedencias de cierta intensidad.

Matemáticamente se tiene la siguiente expresión.

De (2) y (8) se obtiene que

$$p(i) = -\frac{1}{v(1)} \frac{dv(i)}{di} = -\frac{Tr(1)}{t} \frac{d}{di} \frac{t}{Tr(i)} = -Tr(1) \frac{dTr(i)^{-1}}{di} \quad (9)$$

Integrando $p(i)$ de i a $i+1$ se llega a

$$P(i) = \int_i^{i+1} p(i) di = -Tr(1) \int_i^{i+1} \frac{dTr(i)^{-1}}{di} di = -Tr(1) \left[\frac{1}{Tr(i+1)} - \frac{1}{Tr(i)} \right] = \frac{Tr(1)}{Tr(i)} - \frac{Tr(1)}{Tr(i+1)} \quad (10)$$

La expresión (10) se puede interpretar como el número de eventos promedio que exceden la intensidad i al tiempo $Tr(1)$, que no llegaron a intensidad $i+1$, es decir, $Tr(1)/Tr(i)$ es la probabilidad de que un evento exceda la intensidad i durante el tiempo $Tr(1)$.

De igual forma, $Tr(1)/Tr(i+1)$ es la probabilidad de que un evento exceda la intensidad $i+1$ durante el tiempo $Tr(1)$, entonces la expresión (12) da la probabilidad de que un evento exceda la intensidad i sin que avance a la intensidad $i+1$ durante el tiempo $Tr(1)$.

En el ejemplo aquí tratado, en la tabla 2, y en la tabla 4, hemos obtenido Pe y $P(i)$ respectivamente. En este caso, se podrá comprobar que la relación numérica de las probabilidades obtenidas para cada método tienen un estrecho parecido entre si. El coeficiente de correlación entre Pe y $P(i)$ es 0.997885, lo cual significa que ambas series son parecidas en un 99.78 %.

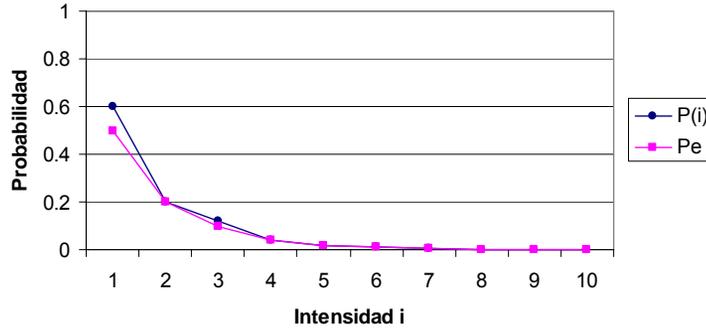


Figura 2 Comparación entre P(i) y Pe

Es importante recordar las diferencias que tienen los distintos métodos, tanto Pe como P(i) manejan un concepto diferente. El resultado de la correlación puede decirse que es muy significativo ya que se está obteniendo P(i) y Pe partiendo ambas de Tr(i). Para nuestro ejemplo, en que Tr(1)=1, tenemos que

$$P(i) = \frac{1}{Tr(i)} - \frac{1}{Tr(i+1)} \tag{11}$$

Si Tr(i+1) es un valor muy grande, de tal forma que 1/Tr(i+1) converge a cero, entonces

$$\frac{1}{Tr(i)} - \frac{1}{Tr(i+1)} \approx \frac{1}{Tr(i)} \tag{12}$$

es decir,

$$P(i) \approx Pe$$

Se puede observar que en Tr(6) (ver tabla 6), la diferencia entre P(6) y Pe=1/ Tr(6), se hace más pequeña. Para Tr(7), las probabilidades P(i) y Pe ya son iguales, sin embargo, en Tr(10), P(i) y Pe cambian pues Tr(11), es decir, Tr(i+1) no existe.

Tabla 6 Medidas de excedencia y peligro

Intensidad i	Tr(i)	v(i)	P(i)	Pe
1	2	1000	0.6	0.5
2	5	400	0.2	0.2
3	10	200	0.12	0.1
4	25	80	0.04	0.04
5	50	40	0.02	0.02
6	100	20	0.012	0.01
7	250	8	0.004	0.004
8	500	4	0.002	0.002
9	1000	2	0.001	0.001
10	2000	1	0.001	0.0005
11	-	0	0	0

Aparentemente se puede usar como función de peligro P(i) la probabilidad de excedencia Pe, aunque para periodos de retorno pequeños el error es grande.

La consideración de agregar una intensidad “ficticia” aumenta un poco el error para el Tr mayor.

Variaciones de $P(i)$ ante el registro de más periodos de retorno

Suponiendo que se obtiene el registro de periodos de retorno de intensidades mayores a las que se tenían antes, ¿qué tanto varían las probabilidades de excedencia $P(i)$? Para observar los cambios, hagamos experimentos numéricos con más periodos de retorno a los que se tienen en la tabla 1.

Tabla 7 Variaciones de $P(i)$ con más periodos de retorno

Intensidad i	$Tr(i)$	$P(i)_1, t=2000$	$P(i)_2, t=5000$	$P(i)_3, t=10000$	$P(i)_4, t=20000$	$P(i)_5, t=25000$
1	2	0.600	0.6000	0.6000	0.6000	0.6000
2	5	0.200	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
3	10	0.120	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200
4	25	0.040	0.0400	0.0400	0.0400	0.0400
5	50	0.020	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200
6	100	0.012	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120
7	250	0.004	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040
8	500	0.002	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
9	1000	0.001	0.0012	0.0010	0.0010	0.0010
10	2000	0.001	0.0004	0.0006	0.0006	0.0006
11	5000	-	0.0004	0.0002	0.0002	0.0002
12	10000	-	-	0.0002	0.0001	0.0001
13	20000	-	-	-	0.0001	0.0000
14	25000	-	-	-	-	0.0001

En la tabla anterior se muestran diferentes probabilidades $P(i)$ para los periodos de retorno de hasta 25,000 años. En el caso de la tercera columna, se tiene una $P(i)_1$ con intensidad máxima $i=10$ y una proyección $t=2000$ años. En la cuarta columna, se tiene una $P(i)_2$ con intensidad máxima $i=11$ y una proyección $t=5000$ años. Y así sucesivamente hasta llegar a $P(i)_3$ con intensidad máxima $i=14$ y proyección $t=25000$ años.

En este ejemplo, se nota que a partir de la intensidad $i=10$ se muestran variaciones en $P(i)_2$. En $k=11$, e $k=12$, se ven mayores diferencias entre casi todas las $P(i)$. Como se puede observar, solo hay variaciones en las últimas intensidades.

Para tener probabilidades más acertadas siempre es conveniente tomar el número máximo de registros disponibles, por lo que es mejor tomar $P(i)_5$, ya que cuenta con la mayor cantidad de periodos de retorno registrados.

Medidas del riesgo con periodos de retorno

En la tabla 8, se muestra un ejemplo de medidas de peligro, vulnerabilidad y riesgo, asignando a la primera intensidad un valor asociado a un periodo de retorno de dos años.

Tabla 8 Medidas de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo

Medidas de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo						
Intensidad <i>i</i>	<i>Tr(i)</i>	<i>Pe</i>	<i>v(i)</i>	<i>P(i)</i>	<i>V(i)</i>	<i>R(i)</i>
1	2	0.5	1000	0.6	0.04	0.0240
2	5	0.2	400	0.2	0.24	0.0480
3	10	0.1	200	0.12	0.32	0.0384
4	25	0.04	80	0.04	0.44	0.0176
5	50	0.02	40	0.02	0.53	0.0106
6	100	0.01	20	0.012	0.74	0.0089
7	250	0.004	8	0.004	0.81	0.0032
8	500	0.002	4	0.002	0.94	0.0019
9	1000	0.001	2	0.001	0.98	0.0010
10	2000	0.0005	1	0.001	1	0.0010
11	-	-	0	-	-	-
Σ	-	-	-	1	-	0.1546

R(i) es un índice de riesgo para cada intensidad *i* que se obtiene de operar la expresión (1) haciendo a *C* igual a \$1.00

$$R(i) = P(i)V(i) \tag{13}$$

El riesgo anual por intensidad, *Ra(i)*, es el riesgo para cada intensidad *i* que se tendrá para el inicio del año; se obtiene de multiplicar el promedio *n_i* de eventos que superan la intensidad *i* por la expresión (13)

$$R(a, i) = n_i P(i)V(i) \tag{14}$$

El riesgo ante el próximo evento

De la expresión (5), si *C*= \$1.00, el riesgo es la suma de las *R(i)*, de donde *R_p*=\$0.1546

$$R_p = C \sum_{i=1}^n P(i)V(i) = \$0.1546$$

El riesgo anual del próximo evento

Para obtener el riesgo anual *Ra*, bastara con multiplicar (7) por el promedio *N* de eventos que superan la mínima intensidad capaz de causar daños al año.

$$R_a = CN \sum_{i=1}^n P(i)V(i) \tag{15}$$

Se verifica que para nuestro caso si *N* = 4 y *C* = \$1.00, entonces, *Ra* = \$0.61832

Como se puede observar, el riesgo ante el próximo evento R_p expresa la pérdida promedio por evento, mientras que el riesgo anual R_a lo podemos ocupar para realizar un fondo anual para resarcir el promedio de pérdidas causadas durante un año por eventos dañinos. R_a y R_p se pueden ver como índices de riesgo para el caso en que $C=\$1.00$.

Observaciones acerca de la metodología

A pesar de que se ha descrito una metodología para medir el riesgo a través de obtener funciones de peligro con periodos de retorno, cabe señalar que no es la mejor forma de obtener una buena medición del riesgo, pues los periodos de retorno registran solamente la ocurrencia de un evento con intensidad máxima durante un periodo de tiempo, sin tomar en cuenta los eventos con menor intensidad que también causaron daño.

En la figura 4 se observan las desventajas que muestra tomar medidas solamente de eventos máximos durante cierto intervalo de tiempo. En la parte izquierda de la figura se muestra sólo el registro de 4 eventos x_2 , x_5 , x_7 y x_{11} durante los periodos 1, 2, 3 y 4. Mientras que en la parte derecha se muestra el registro de todos los eventos ocurridos que excedieron la intensidad u , que es la intensidad mínima que causa daño, obteniéndose un registro más detallado de la naturaleza de la frecuencia de eventos dañinos. Un ejemplo de este tipo de registros es la VMS de ciclones tropicales, pues se cuentan el número total de eventos, y no solamente los de máxima intensidad alcanzada en un periodo de tiempo.

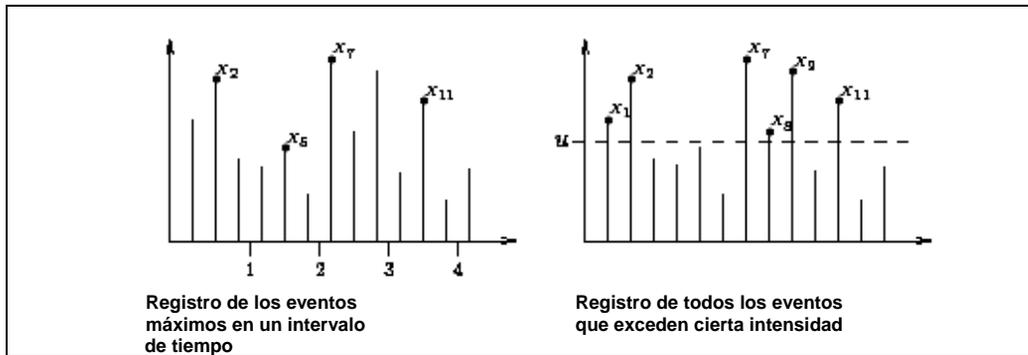


Figura 4 Registro de eventos con intensidad máxima

Concluyendo, podemos decir que es recomendable usar todos los registros de los eventos que exceden cierta intensidad. Desafortunadamente, no todas las veces se cuenta con dicha información, para este caso, se puede usar la metodología anteriormente descrita.

BIBLIOGRAFÍA

Statistical Methods in Hydrology. Charles T. Haan, 6ª Edición, 1994.

Algunos conceptos del análisis de riesgos. Mario Ordaz. Revista Prevención N° 14, Mayo – 1996. CENAPRED.

Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Versión 2004. CENAPRED.

Ciclones Tropicales. Martín Jiménez Espinosa, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Óscar A. Fuentes Mariles, Ricardo Prieto González. Serie Fascículos. 1ª Edición, diciembre 2003, CENAPRED.

An Application of Extreme Value Theory for Measuring Risk. Manfred Gilli, Evis Këllezi, Department of Econometrics, University of Geneva and FAME CH-1211 Geneva 4, Switzerland.

Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales. Michel Rosengaus Moshinsky, Martín Jiménez Espinosa, Maria Teresa Vázquez Conde. 1ª Edición, diciembre de 2002. CENAPRED, IMTA.

ANEXO 4
PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS PARA SANTA MARÍA
JAALPA, EDO. DE MÉXICO

De lo desarrollado en este trabajo, se observó que el volumen de agua arrastrado por la calle-canal “Vicente Guerrero” trae consigo una gran cantidad de sedimento, el cual proviene de las laderas en la parte alta de la cuenca. Debido a la configuración del terreno se han construido represas, dentro de la barranca principal, con poca capacidad para retener los sedimentos, que incluso en la actualidad ya están azolvadas. Aún si se considerara la construcción de nuevas represas, por la topografía del lugar, éstas serían de poca capacidad y en cuestión de unos años también quedarían azolvadas y su función de retener sedimentos ya no se estaría cumpliendo. Lo que se recomienda es atacar el problema desde su raíz, donde empieza el proceso de erosión que es precisamente en las laderas; para ello existen varias técnicas de protección contra la erosión, éstas son:

- Reforestación.- Se aplica cuando las actividades humanas en las laderas son mínimas o nulas (en zonas boscosas).
- Sembrar pastos.- Estas se aplican en parques, jardines o incluso en zonas boscosas
- Construcción de terrazas.- Se aplican en campos de cultivo.

La principal actividad económica de la población en Santa María Jajalpa es la agricultura. Más del 90% de la superficie de la cuenca son campos de cultivo, así entonces las recomendaciones para evitar la erosión en las laderas estarán enfocadas en la construcción de terrazas.

La erosión hídrica es un fenómeno que desgasta y empobrece los suelos, empieza desde el golpe de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo, después, las partículas de suelo disgregadas son arrastradas por el escurrimiento superficial y cuando las velocidades del fluido son muy grandes se pueden llegar a formar canalillos o cárcavas acelerando así el proceso de erosión, figura 1.

Los factores más importantes que favorecen la aparición y desarrollo de los canalillos son:

Lluvias intensas y concentradas

Suelos blandos (poco compactos)

Pendiente fuerte de la superficie del suelo (con ángulos mayores a los 8°)



Figura 1 Formación de canalillos en una ladera en Jajalpa

De estos tres factores el único donde el hombre puede ingerir es en el cambio de pendiente del suelo, esto se puede lograr, precisamente, con la construcción de terrazas, las cuales pueden ser de mampostería o incluso de concreto. Consisten en pequeños muros trapeciales de dimensiones no tan grandes (altura promedio de entre uno y dos metros), figura 2.



Figura 2 Construcción de terrazas en una ladera

De los datos obtenidos en campo se determinó que el ángulo promedio de inclinación de las laderas es de 17° . Con este valor, además de estudios hechos al suelo, y tomando una lluvia con un periodo de retorno de 5 años y duración de 24 horas, al usar un modelo matemático de erosión (García F, 1995) se obtuvo que para un área de un metro cuadrado de superficie del suelo se erosionan 0.0134 metros cúbicos lo que representa un espesor de erosión de 1.34 centímetros, además, el modelo arrojó que el 90% de la superficie del suelo es susceptible para que se formen canalillos.

Si se recomienda la construcción de terrazas de 1.5 metros de altura, perpendiculares al sentido del flujo del agua, con una separación entre ellas de 25 metros, ver figura 3, hechas de mampostería (por lo económico que esto resulta) se obtiene que el ángulo de inclinación de las laderas se disminuye a 14° en promedio. Al volver a usar el modelo matemático de erosión se obtiene que por cada metro cuadrado se erosionan 0.0013 metros cúbicos, lo que representa un espesor de erosión de 0.13 centímetros. Además, el modelo indica que en la superficie del suelo ya no hay áreas susceptibles de formación de canalillos.

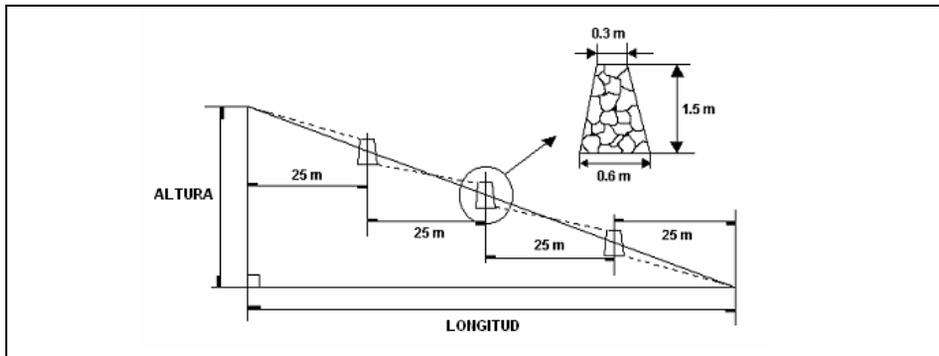


Figura 3 Esquema con separación entre terrazas de 25 metros

Como un segundo esquema de solución se propone ahora la construcción de terrazas con una separación entre ellas de 14 metros, ver figura 4, con las mismas dimensiones del caso anterior y del mismo material de construcción. Con esta propuesta se obtiene ahora que el ángulo de inclinación de las laderas se reduce a 12° en promedio. Al volver a usar el modelo matemático de erosión se obtiene que por cada metro cuadrado se erosionan 0.00039 metros cúbicos, lo que representa un espesor de erosión de 0.039 centímetros. Además el modelo indica que ya no hay áreas susceptibles de formación de canalillos.

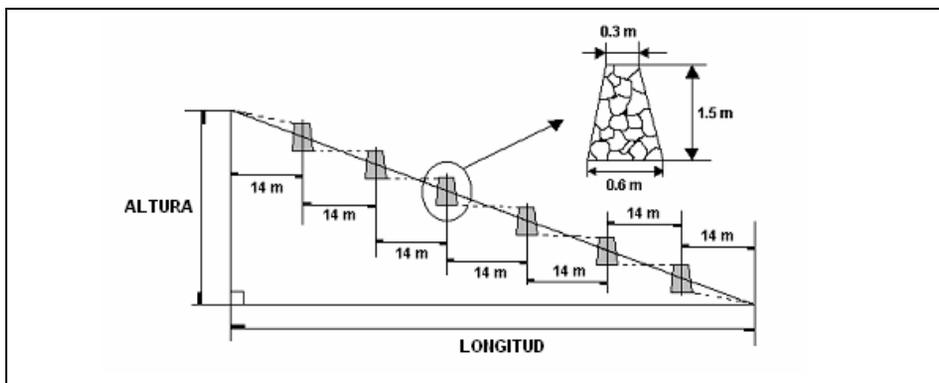


Figura 4 Esquema con separación entre terrazas de 14 metros

Al comparar el esquema de erosión para el caso donde no hay terrazas y las dos propuestas de solución, tabla 1, se observa lo siguiente:

Tabla 1 Esquema de comparación de las propuestas

Ladera de superficie unitaria (1m ²)	Pérdida de suelo (m ³)	Espesor de erosión (cm)	Área susceptible de formación de canalillos
Sin obras de protección	0.0134	1.34	90 %
Primera propuesta	0.0013	0.13	0 %
Segunda propuesta	0.00039	0.039	0 %

La cantidad de material erosionado se reduce considerablemente al proponer la construcción de terrazas, tanto en la primera propuesta como en la segunda, además de que las áreas susceptibles de formación de canalillos son nulas en ambos casos, por lo que las dos propuestas son viables de llevarse a cabo. En el aspecto económico se puede decir que la segunda opción requeriría la construcción de mayor número de terrazas que en la primera propuesta y por consiguiente de mayor inversión, además, debido a que la zona está catalogada como grado de marginación media, figura 5, entonces la primera propuesta es la más viable.

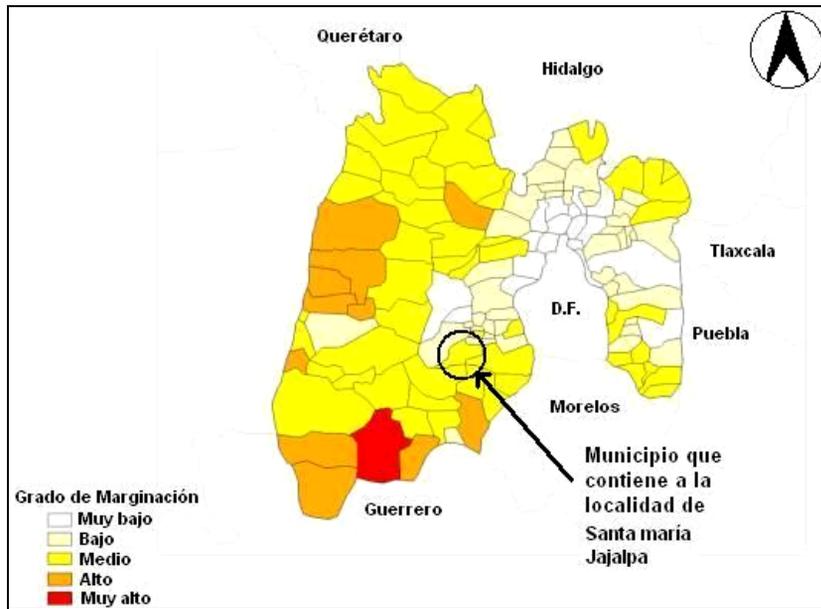


Figura 5 Grado de marginación en el Estado de México Fuente: CONAPO, 1995

II. ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES COSTERAS POR MAREA DE TORMENTA

Óscar Arturo Fuentes Mariles, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Martín Jiménez Espinosa, David Ricardo Mendoza Estrada y Carlos Baeza Ramírez

RESUMEN

En este capítulo se propone una guía metodológica para la elaboración de mapas de peligro y riesgo por inundaciones costeras. Con ella se pretende auxiliar a las unidades municipales y estatales de Protección Civil que enfrentan problemas con terrenos de baja elevación topográfica ubicados cerca del mar y que están sujetos al impacto de ciclones tropicales.

2.1 INTRODUCCIÓN

Existen diversos mecanismos que pueden originar inundaciones, una explicación más abundante sobre este tema se puede encontrar en el fascículo *Inundaciones* publicado por el Cenapred¹.

En el caso particular de los ciclones tropicales, éstos provocan un ascenso mayor al habitual del nivel medio del mar, lo que origina la entrada de agua marina a las zonas bajas que colindan con el océano y pueden ocasionar inundaciones. Este levantamiento del nivel medio del mar se debe, principalmente, a los vientos de los ciclones tropicales y se le denomina *marea de tormenta*.

La marea de tormenta es la principal causa de muertes ocasionadas por ciclones tropicales, por lo que su estudio y las recomendaciones que de éste se deriven servirán para mitigar el riesgo que generen estos meteoros.

Aunque en menor proporción que los vientos, la amplitud de la marea de tormenta también depende de la presión atmosférica, así como de algunos aspectos físicos del lugar, tales como la forma que tiene la línea de la costa, la configuración del terreno fuera del mar y las profundidades del fondo marino cercano a tierra.

El viento que sopla en la superficie del mar también genera oleaje. Cuanto más grande es su magnitud, la extensión del área donde actúa y el tiempo que dura su acción, resultan ser mayores las olas. Cuando la marea de tormenta es grande, el mar suele tener olas altas y, en estos casos, se incrementa notablemente el efecto destructor de ellas, ya que pueden impactar sobre construcciones costeras y viviendas. La combinación de la marea de tormenta grande y el oleaje alto también puede destruir instalaciones portuarias, romper obras de defensa costera, hundir embarcaciones o erosionar las playas. Este último, puede socavar la zona de apoyo de los cimientos de los edificios y otras clases de estructuras localizadas encima de ellas, lo que podría ocasionar su falla.

Otro fenómeno natural que puede generar una inundación costera es el tsunami, que a diferencia de las anteriores, se forma en un lapso corto, de tan solo unos minutos. Más información sobre el tema se encuentra en el fascículo *Tsunamis*, elaborado por el Cenapred¹.

¹ En la sección de publicaciones electrónicas de la página del CENAPRED www.cenapred.unam.mx se pueden consultar los fascículos

También el agua marina de las inundaciones por marea de tormenta deteriora la vegetación y el suelo donde ocurren. En la zona costera se albergan distintos sistemas ecológicos muy valiosos y productivos biológicamente, como son la vegetación de las playas, los manglares y los arrecifes de coral. Ellos, al igual que las dunas de arena, desempeñan un papel importante en lo que se refiere a la protección contra inundaciones y la erosión de las playas, por lo que ambos deben cuidarse y protegerse para asegurar su preservación.

2.1.1 Identificación del peligro por inundaciones costeras

En esta guía se describe la obtención de mapas de peligro y de riesgo por inundaciones costeras de la marea de tormenta.

Estos mapas permitirán localizar los lugares de elevación topográfica contiguos al mar, que tienen mayor probabilidad de ser inundados.

En el libro *Conceptos Básicos sobre Peligros, Riesgos y su Representación Geográfica* editado por Cenapred, se establece el marco conceptual sobre riesgo, peligro y vulnerabilidad, términos que se manejarán a lo largo de este capítulo.

En general, la obtención de las zonas que se pueden inundar es útil para identificar el peligro y riesgo de daños, cuando se relaciona el espesor de la capa de agua de ellas con respecto a los bienes materiales y centros poblacionales que están dentro de las mismas. La estimación de la zona de inundación y su profundidad sirven para evaluar los daños que provoca.

2.2 MAREA DE TORMENTA

La marea de tormenta es el ascenso del nivel medio del mar debido a la acción de los vientos de los ciclones tropicales sobre una región del océano. Este levantamiento tiene la apariencia de un domo de agua, agregado a la superficie habitual del mar. Esta marea dura de 12 h a 3 días, puede causar inundaciones en las zonas bajas del continente, colindantes a la costa, y oleaje que impacte sobre las estructuras y construcciones cercanas al mar, así como la remoción de la arena de las playas por las corrientes de agua que inducen las olas. Cuando al ascenso del nivel del mar (pleamar), correspondiente a la marea ordinaria (astronómica) se combina con la marea de tormenta, provoca una sobre elevación más alta.

Los huracanes Janet (1955), Gilbert (1988), Isidore, Kenna (2002) y Wilma (2005) dieron lugar a una marea de tormenta del orden de los 4 m de altura y a un fuerte oleaje, que causaron daños severos en México (tabla 2.1).

Tabla 2.1 *Altura de la marea de tormenta de algunos huracanes en México*

Nombre del huracán	Categoría	Fecha	Marea de tormenta (m)	Decesos
Janet	4	21-30 sep, 1955	4.8	164
Gilbert	5	8-20 sep, 1988	2.4-4	--
Keith	4	28 sep-6 oct, 2000	2.7-3.6	14
Isidore	3	14-27 sep, 2002	1.8-3.1	--
Kenna	5	22-25 oct, 2002	2.7-3.7	--

2.2.1 Vientos de un ciclón tropical

La extensión y la profundidad de la inundación causada por la marea de tormenta dependen, principalmente de los vientos del ciclón tropical. Durante la ocurrencia de este fenómeno y en una amplia región de la superficie terrestre cercana a él, se presentan vientos fuertes. A los vientos que soplan en distintos puntos de esta región se les llama campo de vientos (figura 2.1).

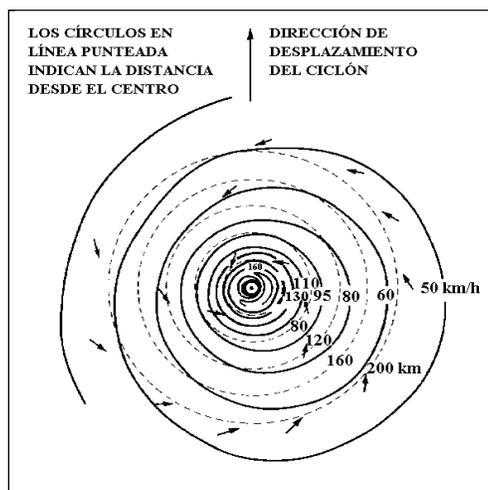


Figura 2.1. *Campo de viento de un ciclón tropical*

La magnitud de la velocidad de los vientos varía dependiendo de la distancia al centro, llamado usualmente *ojo* del ciclón tropical, en cualquier dirección. En su ojo, el viento es casi nulo y aumenta al alejarse de él, hasta alcanzar un valor máximo, a una distancia del orden de 50 km, llamada *radio de máximo viento*; luego disminuye gradualmente (figura 2.2).

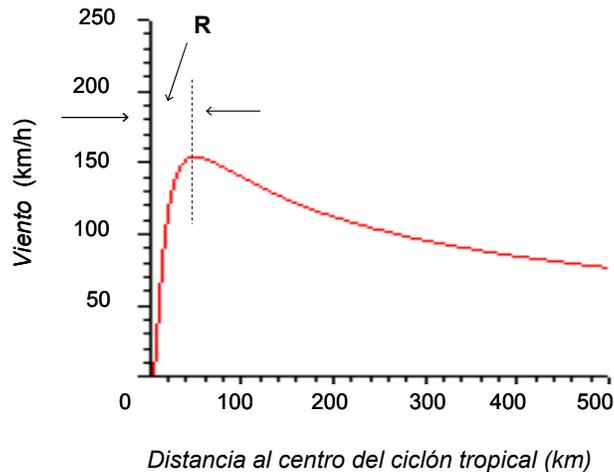


Figura 2.2 Variación de la magnitud de la velocidad del viento con la distancia

Los vientos son más fuertes cuando es intenso el ciclón tropical. Por ello, bajo las mismas condiciones de distancia y dirección de vientos, los huracanes de categoría 5 en la escala Saffir-Simpson, provocan una marea de tormenta más alta comparada con aquella que forman los de categoría 1 (CENAPRED, 2003).

La amplitud de la marea de tormenta no permanece constante, cambia a lo largo del tiempo debido a que, al desplazarse el ciclón tropical, modifica sus vientos. Es por ello que para conocer los efectos del viento, se requiere indicar su magnitud, dirección y sentido.

La dirección y el sentido del viento están determinados por el punto cardinal de donde procede. Cuando se habla de un viento del este, se refiere a un viento que sopla desde el este (dirección) hacia el oeste (sentido del viento). Para conocer la dirección del viento se utiliza el aparato llamado *veleta*, y para definir su magnitud (velocidad) se emplea el instrumento denominado *anemómetro* (figuras 2.3 y 2.4).



Figura 2.3 Aparato para obtener la dirección del viento (veleta)



Figura 2.4 Instrumento para medir la velocidad del viento (anemómetro)

2.2.1.1 Cálculo de la magnitud de los vientos de un ciclón tropical

Los vientos de los ciclones tropicales son una gran masa de aire con corrientes en forma de remolino que giran en torno a un centro, donde la presión atmosférica es la más baja del entorno, y con un diámetro del orden de 500 km.

Las masas de aire de un ciclón tropical en el hemisferio boreal giran en dirección contraria al movimiento de las manecillas del reloj. Los vientos se dirigen hacia el centro del ciclón en un ángulo aproximado de 30° (con respecto a la tangente de sus isobaras).

La magnitud del viento puede calcularse a partir de un balance entre varias fuerzas que lo generan. Cuando se toman en cuenta las fuerzas debidas a la presión del aire, la forma curva de la región donde sopla y la rotación de la Tierra, se obtiene el viento que se denomina gradiente. El viento gradiente proporciona una buena aproximación al viento que generan los ciclones tropicales, a partir del cual, se calcula el viento máximo sostenido.

Los ciclones tropicales se clasifican con base en la velocidad del viento máximo sostenido o la presión atmosférica que existe en su centro. El viento máximo sostenido se refiere al viento medio más grande registrado durante un minuto, a una altura aproximada de 10 m sobre la superficie. A un ciclón se le llama *depresión tropical* cuando sus velocidades están comprendidas entre 50 y 62 km/h, *tormenta tropical* si sus vientos están entre 63 km/h y 119 km/h, y *huracán* cuando las velocidades son mayores que 120 km/h.

El viento sostenido (en m/s) más grande ocurre a una distancia R , desde el centro del ciclón tropical y se puede calcular con la siguiente expresión:

$$V = 20.1834(1013 - p_0)^{0.5} - 0.2618 R \text{ sen} \phi + 0.50 V_d \quad (2.1)$$

donde p_0 es la presión en el centro del ciclón tropical en milibares (mb); V_d la velocidad de desplazamiento del ciclón tropical (en km/h) y ϕ es la latitud en el centro del ciclón (en grados).

Para estimar el valor R del radio de máximo viento (en km), se puede usar la siguiente expresión:

$$R = 0.0007 e^{0.01156 p_0} \tag{2.2}$$

Donde:

p_0 es la presión central,

e es la base del logaritmo natural ($e=2.71828\dots$)

Con la figura 2.5 se puede obtener la velocidad máxima del viento sostenido (en km/h) de un ciclón tropical estacionario (siempre y cuando su velocidad de desplazamiento sea nula; es decir, cuando $V_d=0$) a partir de la presión central y la latitud (en grados) del ojo del ciclón. Por ejemplo, si éste se encuentra en movimiento a la velocidad del viento se le adiciona la mitad de la velocidad de desplazamiento del ciclón, esto quiere decir, si la velocidad del viento es de 200 km/h y la velocidad de desplazamiento es de 25 km/h, la velocidad del viento sostenido será de 212.5 km/h.

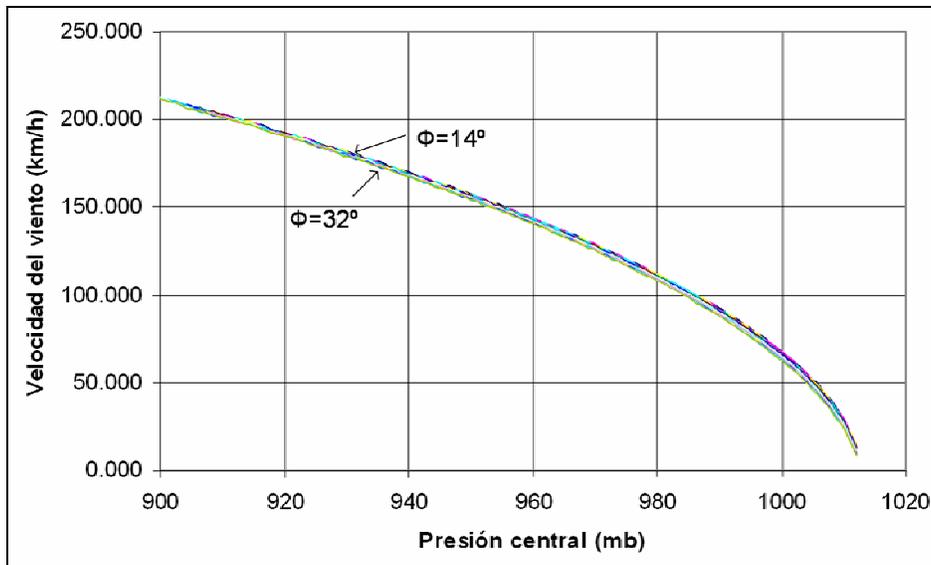


Figura 2.5. Velocidad del viento sostenido para distintos valores de presión central y latitudes del centro de un ciclón tropical sin desplazamiento

En la tabla 2.2 aparecen algunos valores de la velocidad del viento sostenido para distintas presiones centrales en un ciclón tropical que fueron obtenidas con la ecuación 2.1. En caso de que el ciclón tropical se traslade a otros sitios, se requiere aumentar los valores por la mitad de la velocidad de desplazamiento V_d .

Tabla 2.2 Velocidad del viento sostenido para algunos valores de presión

P_0 \ ϕ	Latitud en grados								
	15	17	19	21	23	25	27	29	31
995.0	80.94	80.33	79.73	79.13	78.55	77.97	77.40	76.84	76.29
982.5	107.41	106.88	106.36	105.84	105.34	104.84	104.34	103.86	103.38
972.5	124.83	124.36	123.90	123.44	122.98	122.54	122.10	121.67	121.25
955.0	150.76	150.37	149.99	149.62	149.25	148.89	148.53	148.18	147.83
932.5	178.81	178.52	178.22	177.93	177.65	177.37	177.09	176.82	176.56
920.0	192.67	192.41	192.16	191.91	191.66	191.42	191.18	190.995	190.72

Cuando no se dispone de la velocidad de traslación de los ciclones tropicales, se puede asignar el valor de 20 km/h (éste se consideró en el Sistema de Alerta Temprana (SIAT-CT) de la Secretaría de Gobernación de México) o bien, tomarla de las figuras 2.6 y 2.7. A la velocidad de traslación se le proporciona el valor de la velocidad media de desplazamiento (en km/h) de los ciclones tropicales, que se encuentra a partir de la latitud y longitud del lugar de interés.

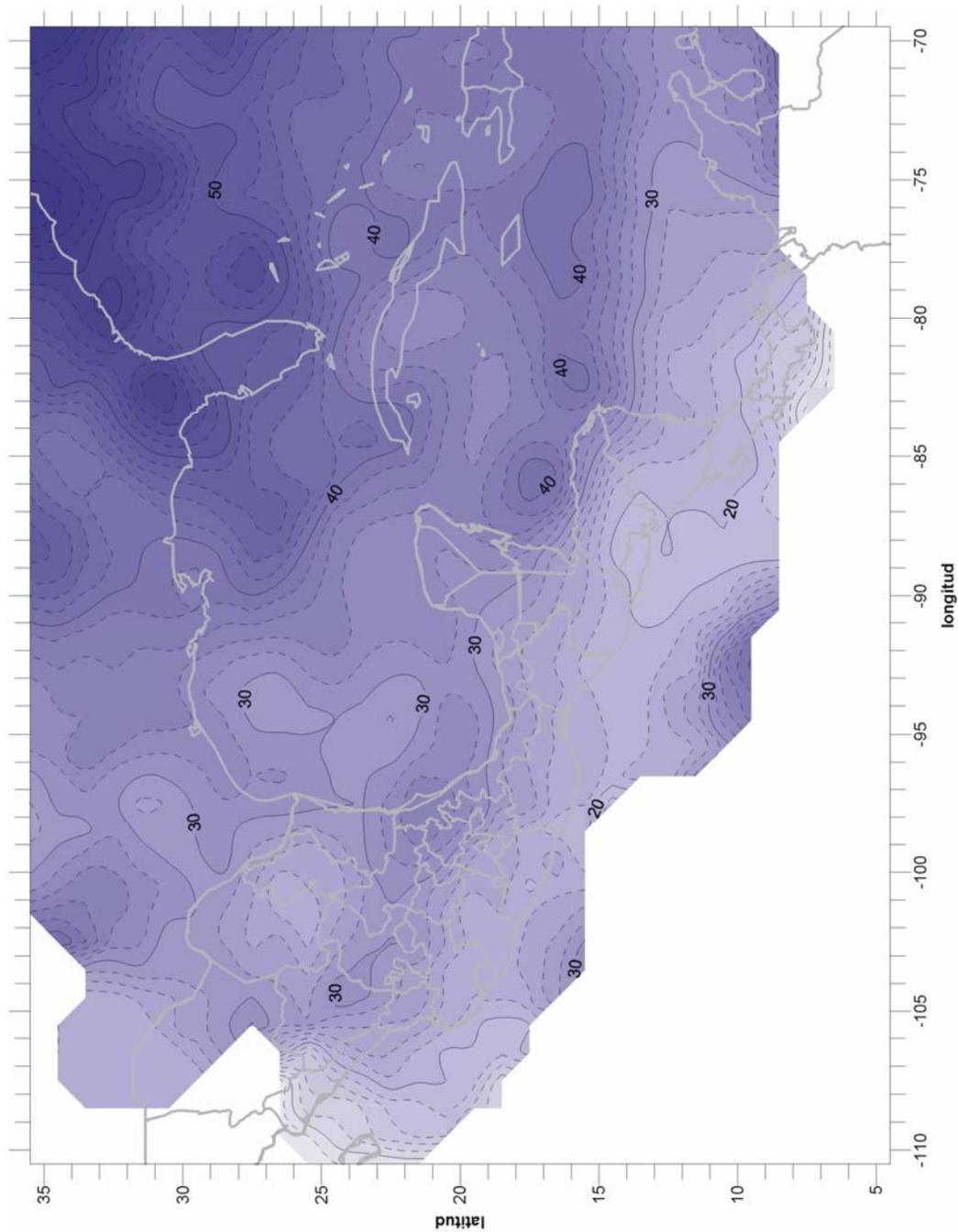


Figura 2.6 *Máxima velocidad de traslación de los ciclones tropicales en el Atlántico (Rosengaus, et al., 2002)*

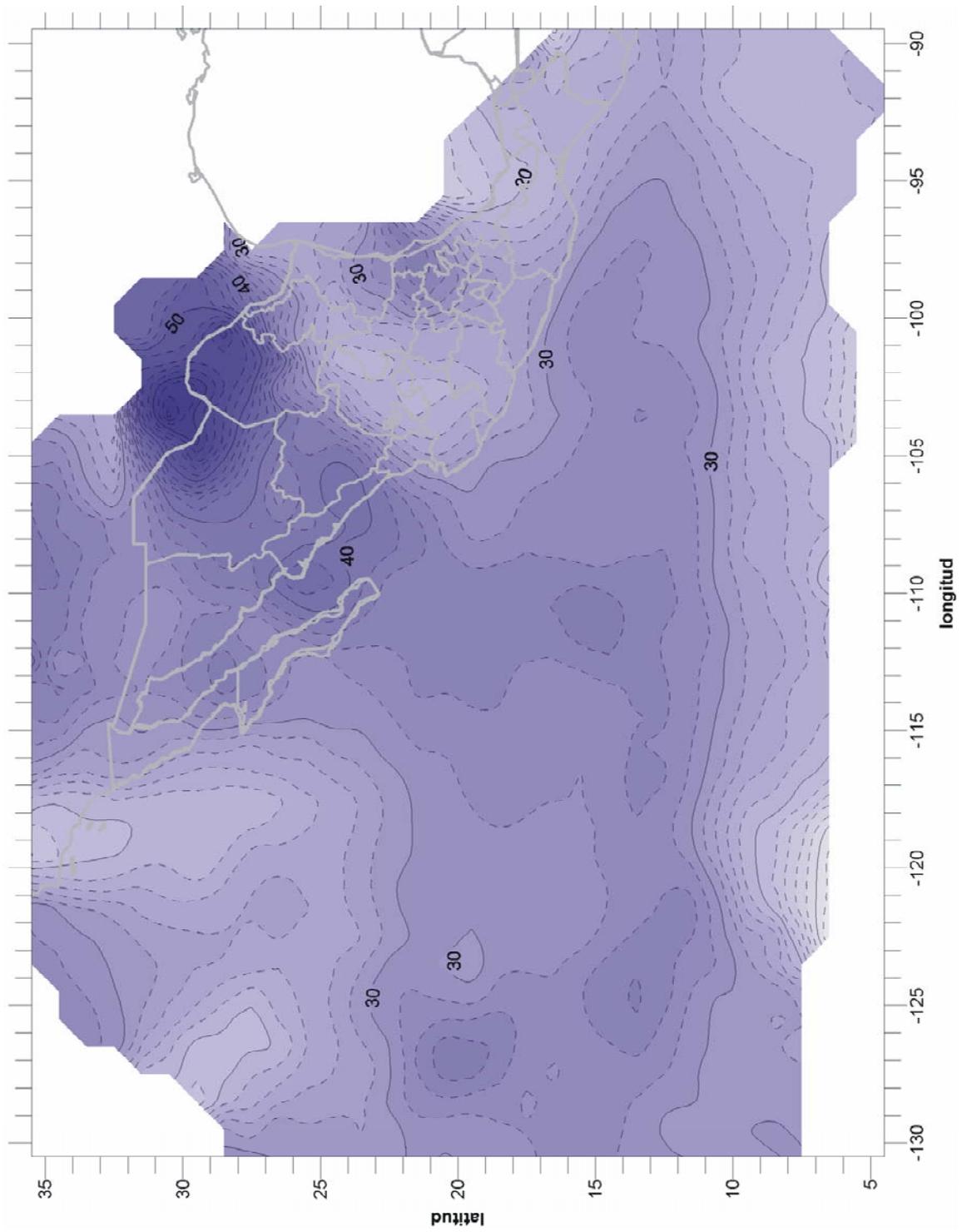


Figura 2.7 *Máxima velocidad de traslación de los ciclones tropicales en el Pacífico (Rosengaus, et al., 2002)*

2.2.1.2 Zona del ciclón tropical con vientos fuertes

En la región cercana al centro del ciclón tropical se presentan los vientos más intensos, principalmente entre las distancias mitad del radio de máximo viento y el doble de dicho radio; es decir, entre $0.5R$ y $2.5R$, siendo R el radio de máximo viento. Esta región con forma de anillo (figura 2.8) es donde se presentan los vientos más grandes.

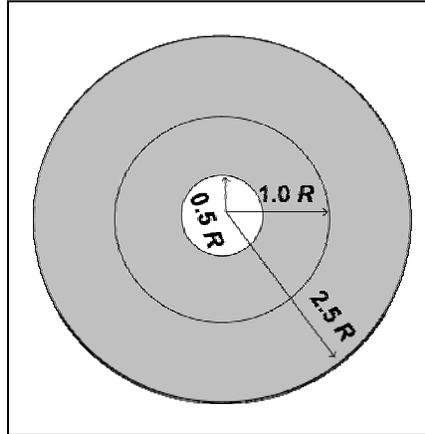


Figura 2.8 Localización del radio de máximos vientos (en color gris aparece el anillo que forma dicha zona)

Ejemplo 2.1

Para un ciclón tropical que se localiza en cierto lugar a la latitud 24°N y longitud 95°W , con una presión central de 934 mb (que corresponde a un huracán categoría 4), encuentre la velocidad de sus vientos máximos sostenidos.

Solución:

Como no se dispone del valor del radio de máximo viento, se estima por medio de la ecuación 2.2

$$R = 0.0007 e^{0.01156 p_0}$$

$$R = 0.0007 e^{0.01156(934)} = 0.0007 e^{10.79704}$$

$$R = 34.21 \text{ km}$$

Para la latitud de 24°N y la longitud 95°W , de la figura 2.6 se considera que $V_d = 30 \text{ km/h}$

Usando la ecuación 2.1

$$V = 20.1834(1013 - p_0)^{0.5} - 0.2618 R \text{ sen}\phi + 0.50 V_d$$

$$V = 20.1834(1013 - 934)^{0.5} - 0.2618(34.21) \text{ sen}(24) + 0.50(30)$$

$$V = 20.1834(8.8882) - 0.2618(34.21)(0.4067) + 0.50(30)$$

$$V = 190.75 \text{ km/h}$$

Por medio de la figura 2.5 se aprecia que, para $p_0 = 934 \text{ mb}$, la velocidad del viento para un ciclón estacionario es del orden de 175 km/h, por lo que al sumar la mitad de la velocidad de desplazamiento $0.5(30)=15 \text{ km/h}$, queda $V = 175 + 15 \approx 190 \text{ km/h}$.

De la tabla 2.2 se obtienen los valores cercanos, por ejemplo para 24° y 932.5 mb , la velocidad es del orden de 177 km/h, al aumentar la mitad de la velocidad de desplazamiento, $V = 177 + 15 \approx 202 \text{ km/h}$.

2.2.2 Aspectos físicos del lugar que influyen en la marea de tormenta

La amplitud de la marea de tormenta depende de varios factores físicos del lugar donde se desee conocerla, como es el fondo marino, o batimetría, la línea de costa y su ubicación respecto de la trayectoria del ciclón y los vientos de éste.

2.2.2.1 Batimetría cercana a la zona de estudio

La marea de tormenta en aguas profundas es de poca importancia, debido al ascenso del orden de un centímetro por cada milibar (o hectopascal) de descenso de la presión atmosférica; en cambio, si los vientos del ciclón tropical se presentan sobre regiones marinas donde la profundidad de las aguas es menor de 200 m, adquiere valores de más de un metro.

Los métodos de cálculo de la marea de tormenta más precisos requieren de las curvas batimétricas, como las que se muestran en la figura 2.9.

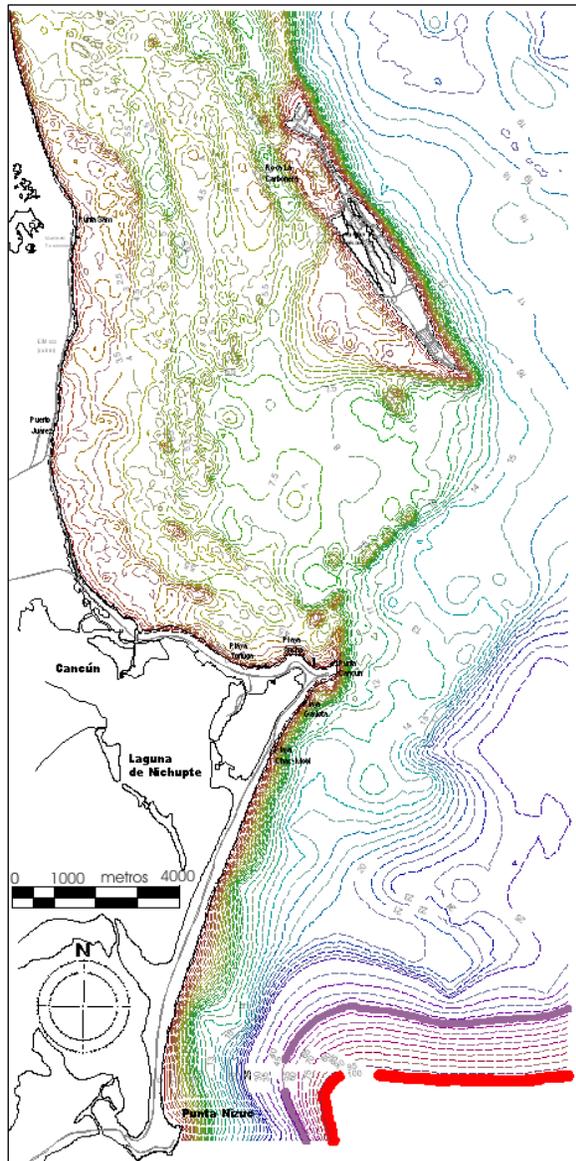


Figura 2.9 Curvas batimétricas de la zona cercana a Cancún, Quintana Roo

2.2.2.2 Configuración de la línea de costa

La forma de la línea de costa es importante debido a que de ello depende la mayor cantidad de agua que se acumule. La sobreelevación del nivel medio del mar será mayor si ocurre en las bahías, ya que dentro de su contorno no se permite que el agua fluya hacia los extremos.

De igual manera, el ángulo que forma la trayectoria del huracán con la línea de costa tiene gran importancia. Cuando se genera un ángulo de 90° (figura 2.10), puede acumular más agua cerca de la costa, ya que en la superficie del mar se recibe la mayor cantidad de energía del viento, por lo que será más grande la amplitud de la marea de tormenta.

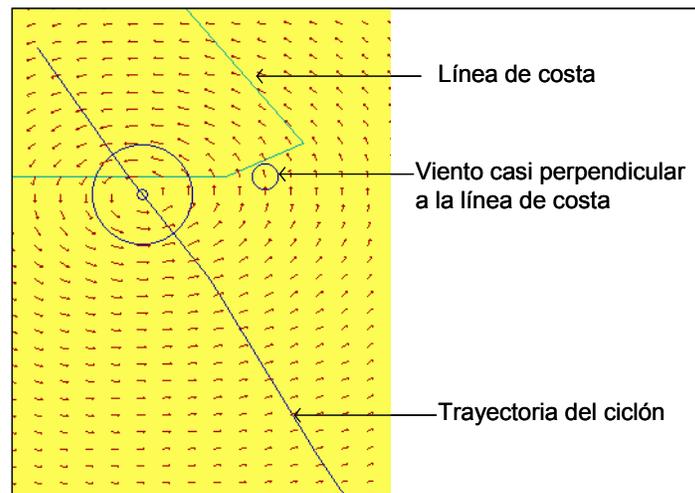


Figura 2.10 Campo de vientos y trayectoria de un huracán que entra a tierra firme

2.2.3 Método simplificado para calcular la marea de tormenta

Para obtener las elevaciones del nivel medio del mar debido a la marea de tormenta, a lo largo del tiempo, dentro de un área de interés cercana al continente, se requiere simular el ascenso del nivel medio del mar y las velocidades marinas que provocan los vientos del ciclón tropical sobre la superficie del océano.

La simulación del ascenso del mar se puede realizar por medio de un programa de cómputo que resuelva las ecuaciones de movimiento del agua dentro de una región expuesta a los vientos del ciclón tropical. Para ello, se toma en cuenta el campo de viento que presenta el ciclón tropical en diferentes momentos, así como información detallada del fondo marino próximo a la costa y la topografía del terreno en el continente. Sin embargo, para una escala geográfica media, se puede estimar la elevación más alta que alcanza la marea de tormenta durante la presencia del ciclón tropical con una adecuada aproximación y un método simplificado.

Las magnitudes, direcciones y sentidos de los vientos que desarrolla el ciclón tropical para cada una de las posiciones que ocupa a lo largo de su trayectoria de desplazamiento, son la base del cálculo de la máxima elevación que alcanza el nivel medio del mar durante la marea de tormenta.

2.2.3.1 Estimación de la altura máxima de la marea de tormenta

La elevación h (en m) más grande que alcanza a ascender el nivel medio del mar por la marea de tormenta (amplitud de la marea de tormenta), puede ser calculada a partir de la velocidad V del viento sostenido (km/h) y del radio de máximo viento R (en km). Ambos aspectos fueron tratados en el inciso 2.1.1.

Con base en el análisis de mediciones sobre elevaciones de la marea de tormenta de algunos ciclones tropicales, y de expresiones empíricas propuestas en Estados Unidos y en Japón, se obtuvo una expresión para conocer la amplitud máxima de la marea de tormenta debida a un ciclón tropical:

$$h = (0.03 R + 0.000119 V^2 - 1.4421) F \quad (2.3)$$

Donde:

h es elevación (en metros) más alta que alcanza la marea de tormenta en el mar cerca de la costa.

R es el radio de máximo viento (en km)

V es la velocidad máxima del viento sostenido (en km/h) calculado a 10 m sobre la superficie media del mar a la distancia R del centro del ciclón tropical (puede obtenerse a partir de la presión central del ciclón tropical, radio de máximo viento, latitud del centro del ciclón tropical y la velocidad de traslación como se describió en 2.2).

F es un factor correctivo por dirección del viento.

El factor correctivo (F), se determina a partir del ángulo α que forma la dirección de desplazamiento del ciclón tropical con respecto a la línea de costa próxima al sitio de interés. Este factor se determina por medio de la expresión 2.4

$$F = \begin{cases} 0.6(1 + \operatorname{sen} \alpha) & \text{si } 0^\circ < \alpha < 180^\circ \\ 0.6 & \text{en otros casos} \end{cases} \quad (2.4)$$

En la figura 2.11 se muestra el ángulo α que existe en la trayectoria del ciclón tropical y la línea de costa, para dos casos distintos de dirección del desplazamiento del meteoro.

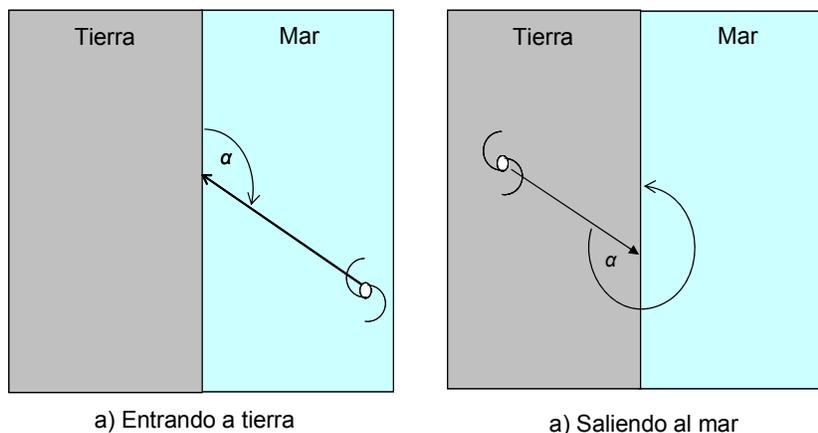


Figura 2.11 Trayectoria del ciclón tropical con respecto a la línea de costa

Otra manera de obtener el factor correctivo es por medio de la figura 2.12, tomando en cuenta el ángulo que forma la trayectoria del ciclón tropical con la línea de costa. Cuando el ángulo esté fuera del intervalo entre los 0° y 180° , el factor correctivo es igual a 0.6.

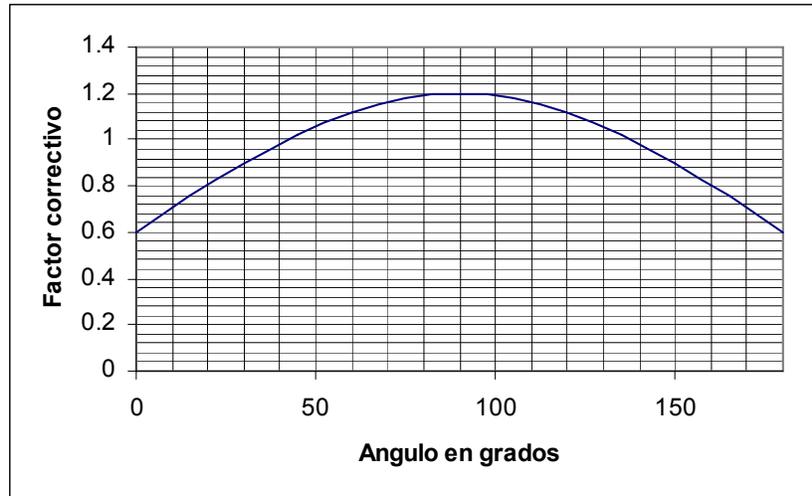


Figura 2.12 Gráfica para estimar el factor correctivo

Cuando no se dispone de la dirección de la trayectoria del ciclón tropical, ésta puede obtenerse a partir de las trayectorias medias de traslación (figuras 2.13 y 2.14).

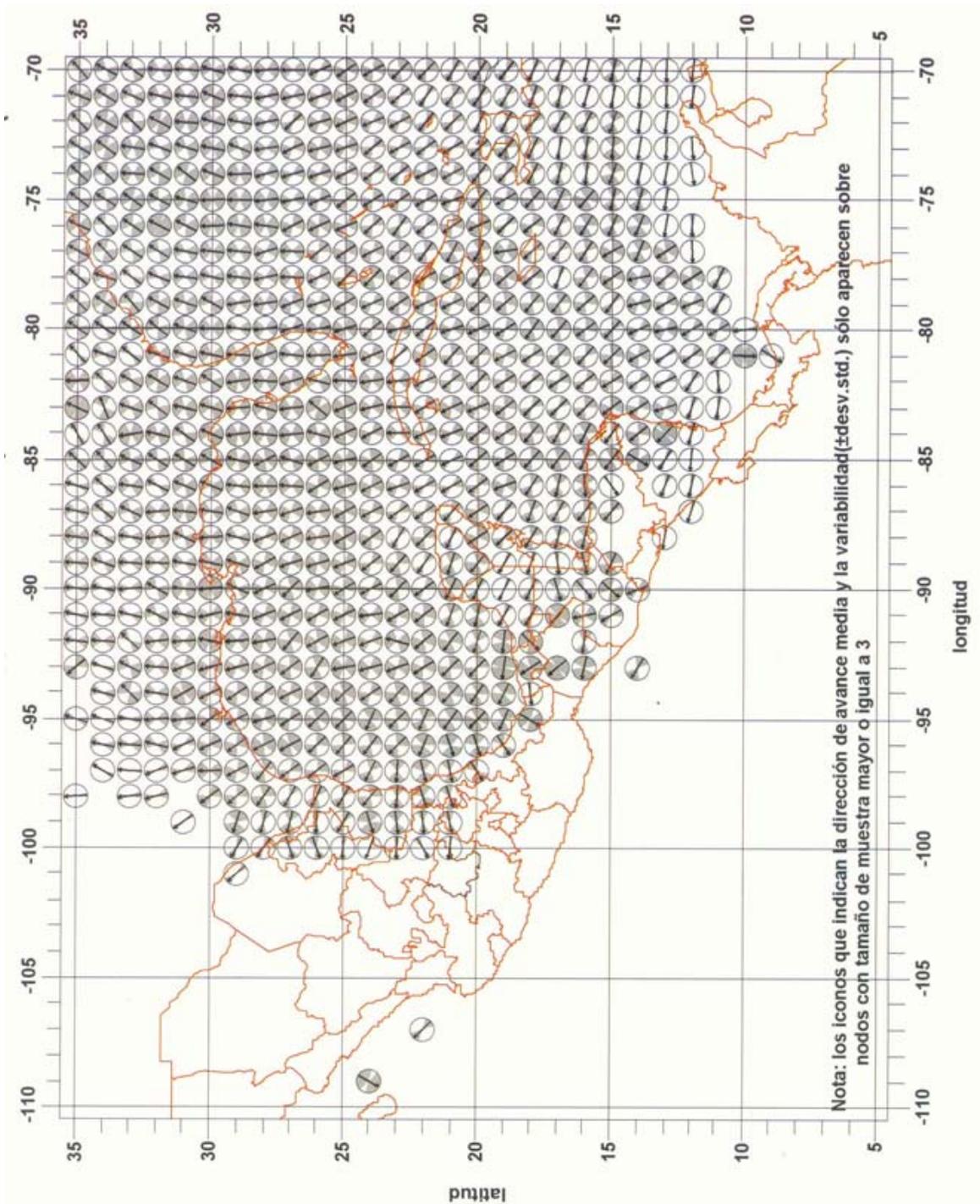


Figura 2.13 Dirección de la traslación (media y variabilidad) para ciclones tropicales en el Atlántico norte 1851-2000 (Rosengaus, et al., 2002)

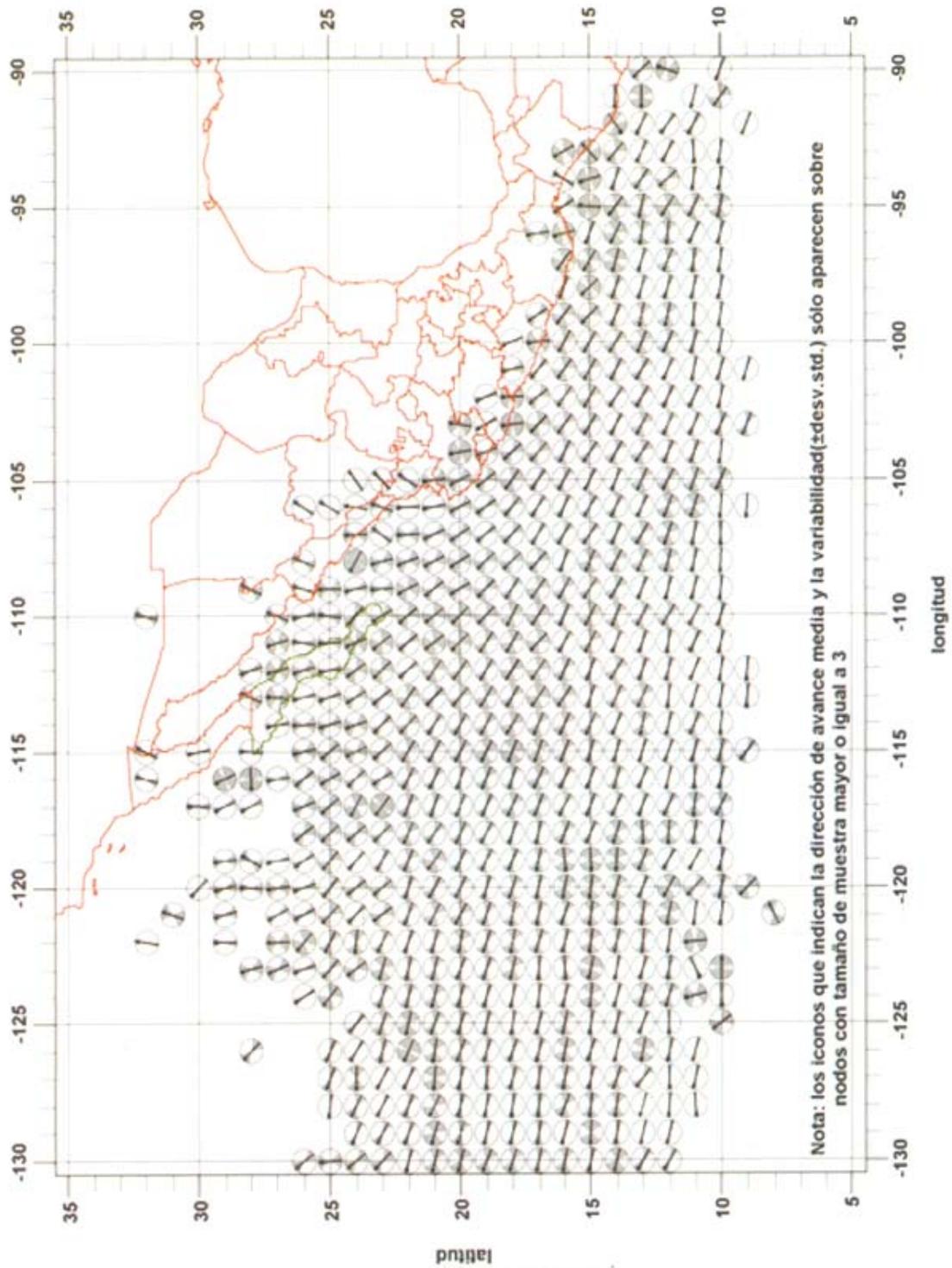


Figura 2.14 Dirección de la traslación (media y variabilidad) para ciclones tropicales en el Pacífico nororiental 1949-2000 (Rosengaus, et al., 2002)

Ejemplo 2.2

Para el ciclón tropical del ejemplo 2.1, encuentre la amplitud de la marea de tormenta. La línea de costa es recta y tiene una dirección norte.

Solución:

Del ejemplo 2.1 se obtuvo con la ecuación 2.2 que:

$$R = 0.0007 e^{0.01156 p_0}$$

$$R = 0.0007 e^{10.79704}$$

$$R = 34.21 \text{ km}$$

y con la ecuación 2.1 se encontró que:

$$V = 20.1834(1013 - p_0)^{0.5} - 0.2618R \text{ sen } \phi + 0.50 V_d$$

$$V = 20.1834(1013 - 934)^{0.5} - 0.2618(34.21) \text{ sen}(24) + 0.50(30)$$

$$V = 20.1834(8.8882) - 0.2618(34.21)(0.4067) + 0.50(30)$$

$$V = 179.3940 - 3.6428 + 15$$

$$V = 190.75 \text{ km/h}$$

Para la latitud de 24° N y la longitud 97° W, en la figura 2.13 se estima que la dirección media de desplazamiento de los ciclones tropicales forma con respecto al norte un ángulo de 295°. Por ello, el ángulo que existe entre la trayectoria del ciclón y la línea de costa resulta ser igual a 115° (figura 2.15). Mientras que, el factor correctivo puede obtenerse con la ecuación 2.4 de la siguiente manera:

$$F = 0.6(1 + \text{sen } \alpha)$$

$$F = 0.6(1 + \text{sen}115^\circ)$$

$$F = 0.6(1 + 0.9063)$$

$$F = 0.6(1.9063)$$

$$F = 1.14$$

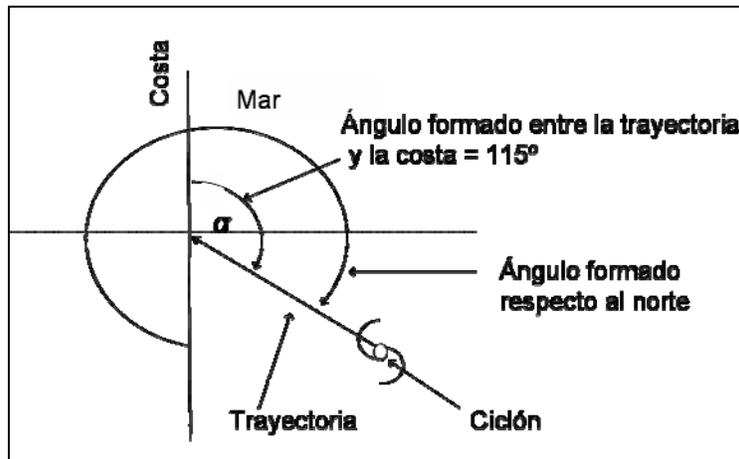


Figura 2.15 Forma de obtener los ángulos

Al emplear la ecuación 2.3 para los valores conocidos del radio de máximo viento, velocidad del viento máximo sostenido y el factor correctivo, se encuentra la amplitud de la marea de tormenta como:

$$\begin{aligned}
 h &= (0.03R + 0.000119V^2 - 1.4421)F \\
 h &= [0.03(34.21) + 0.000119(190.75)^2 - 1.4421](1.14) \\
 h &= [1.0263 + 0.000119(36385.56) - 1.4421](1.14) \\
 h &= [1.0263 + 4.3299 - 1.4421](1.14) \\
 h &= 3.9141(1.14) \\
 h &= 4.47 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Esta amplitud de marea de tormenta se presenta dentro de la zona del mar donde actúan los vientos más intensos del ciclón. Ella tiene forma de anillo, con centro en el ojo, un radio mayor igual al doble del radio de máximo viento y el radio menor corresponde a la mitad del radio de máximo viento; es decir, está comprendida dentro del anillo con radios $0.5R = 0.5(34.21) = 17.1$ km y $2.5R = 2.5(32.21) = 85.53$ km (figura 2.8).

2.3. PROBABILIDAD DE PRESENTACIÓN DE CICLONES TROPICALES

Para las funciones de peligro y los periodos de retorno, asociados a un punto de estudio en las costas de la República Mexicana, se ha elaborado un algoritmo basado en mapas de probabilidades por la presencia de ciclones tropicales y uno de eventos totales de estos fenómenos, ambos para todo el país. La obtención de estos mapas y la justificación del algoritmo se explican en el anexo 1 de este capítulo.

La obtención de las probabilidades del punto específico que se desea analizar, es a partir de los mapas correspondientes a la categoría de cada ciclón (figuras 2.16 a 2.22), y realizar una estimación visual de la probabilidad conforme a las líneas de igual probabilidad, con los valores leídos se forma una tabla como se muestra a continuación:

Tabla 2.3: Ejemplo de valores de probabilidad

Tipo de ciclón	P(i) leído en el mapa
DT	0.35
TT	0.3
H1	0.3
H2	0.05
H3	0
H4	0
H5	0

En este caso, la probabilidad de que ocurra una depresión tropical es 0.35; también se puede observar que la probabilidad de que se presente un huracán de los tipos 3, 4 y 5 es cero, lo cual quiere decir que en el punto analizado no se han registrado eventos de esta clase. Ahora se procede a obtener el número total de ciclones tropicales para el mismo punto, utilizando el mapa de interpolaciones de eventos totales (figura 2.23). Nuevamente se realiza una estimación visual del dato.

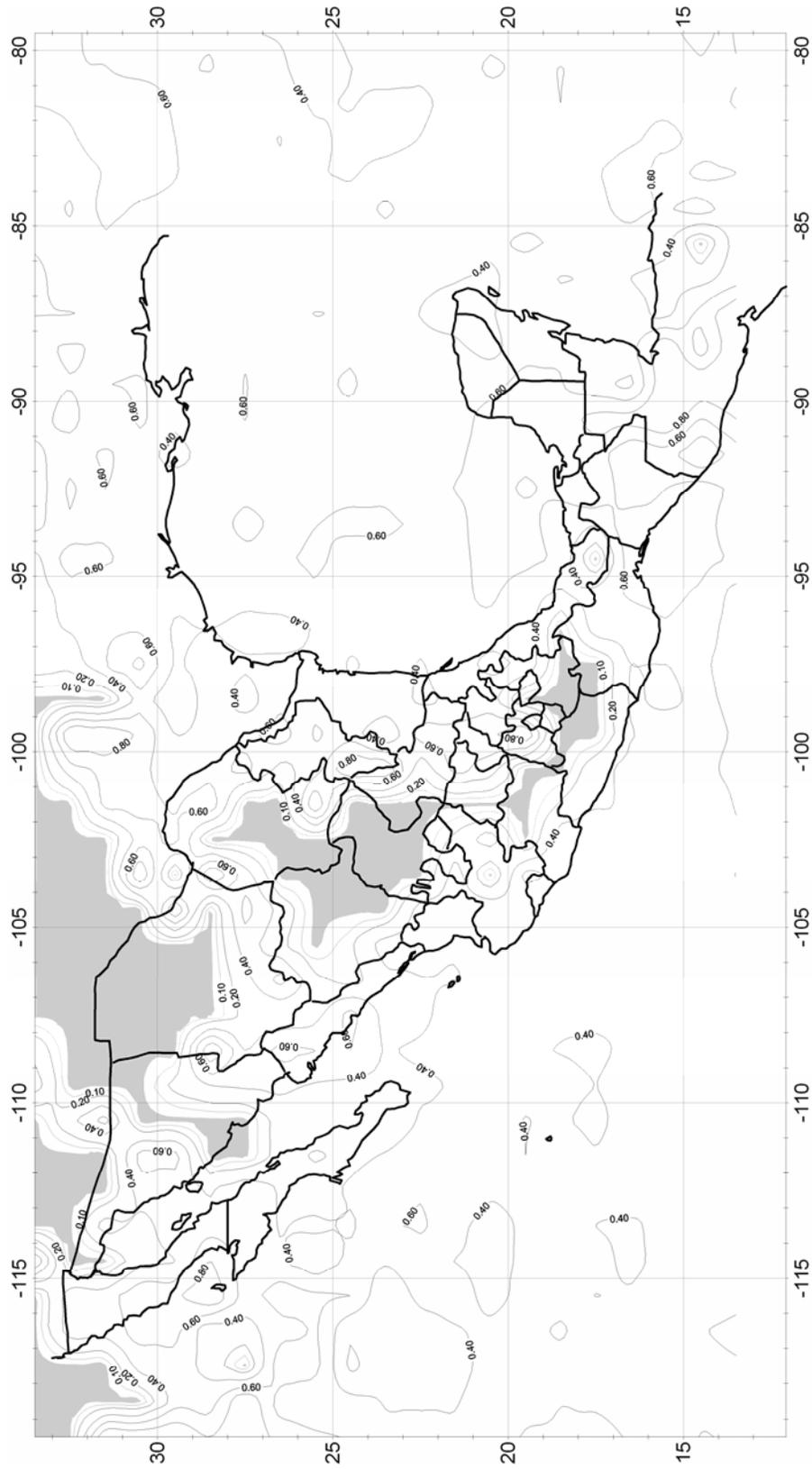


Figura 2.16 Probabilidad de ocurrencia de las depresiones tropicales en México

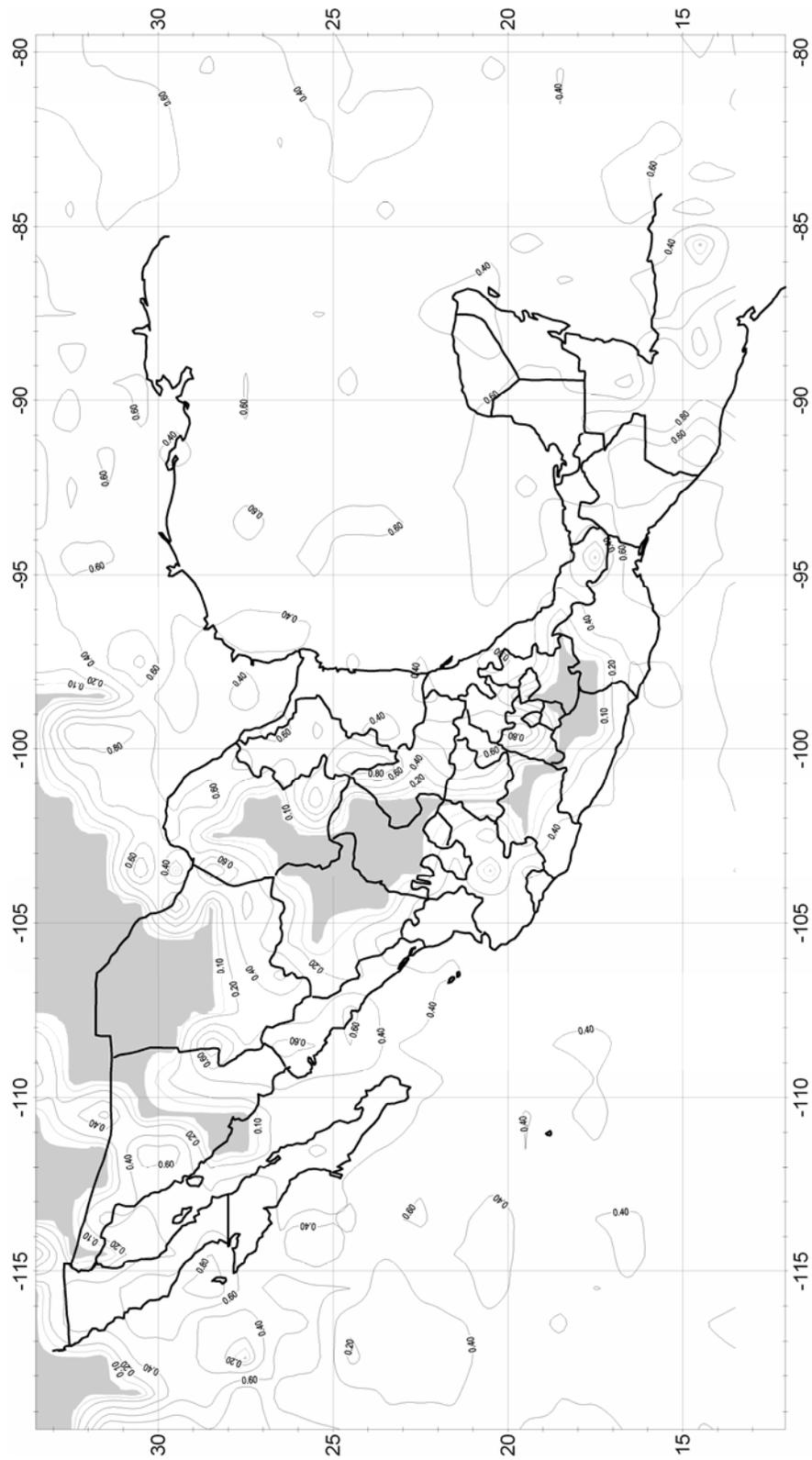


Figura 2.17 Probabilidad de ocurrencia de las tormentas tropicales en México

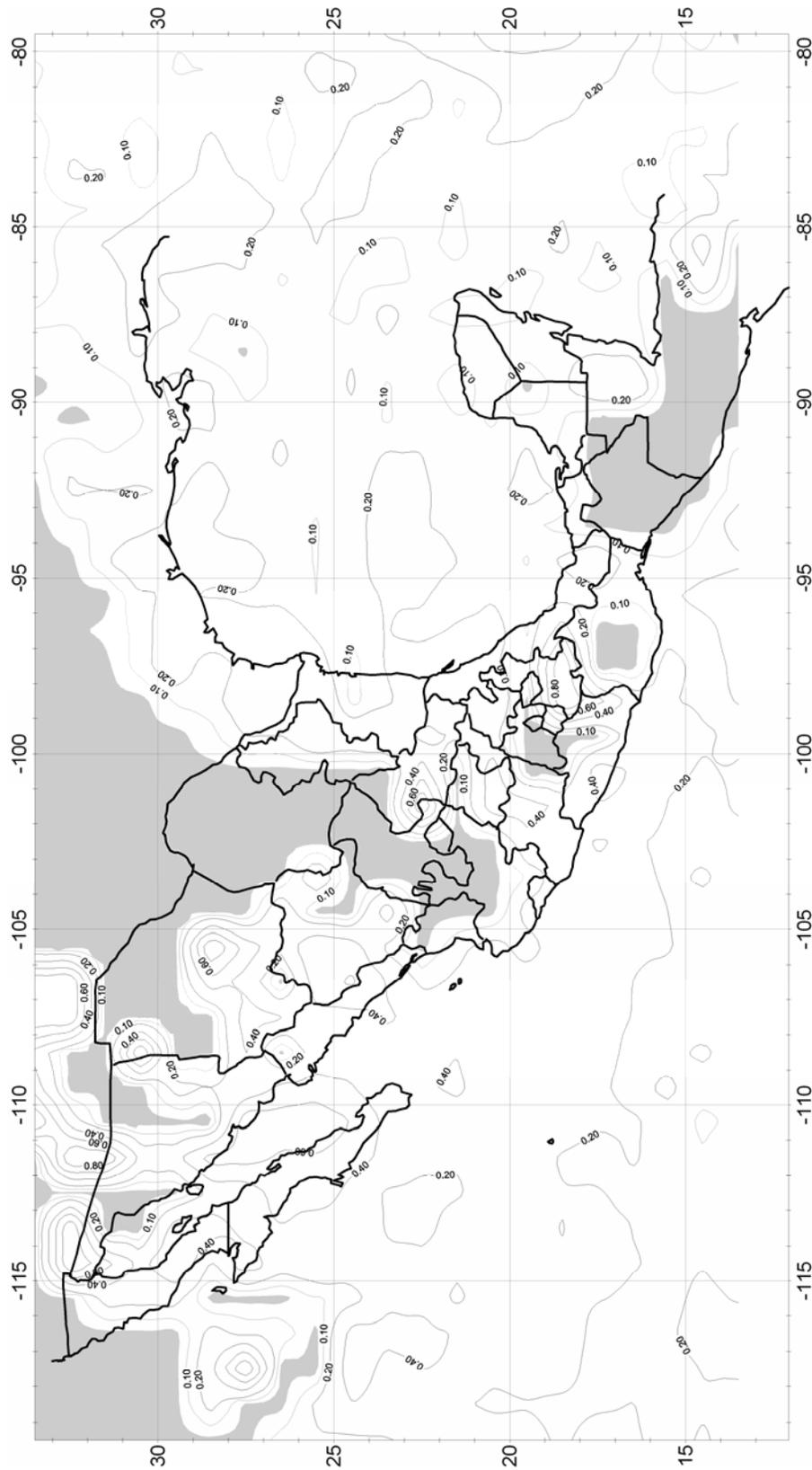


Figura 2.18 Probabilidad de ocurrencia de los huracanes categoría 1(H1) en México

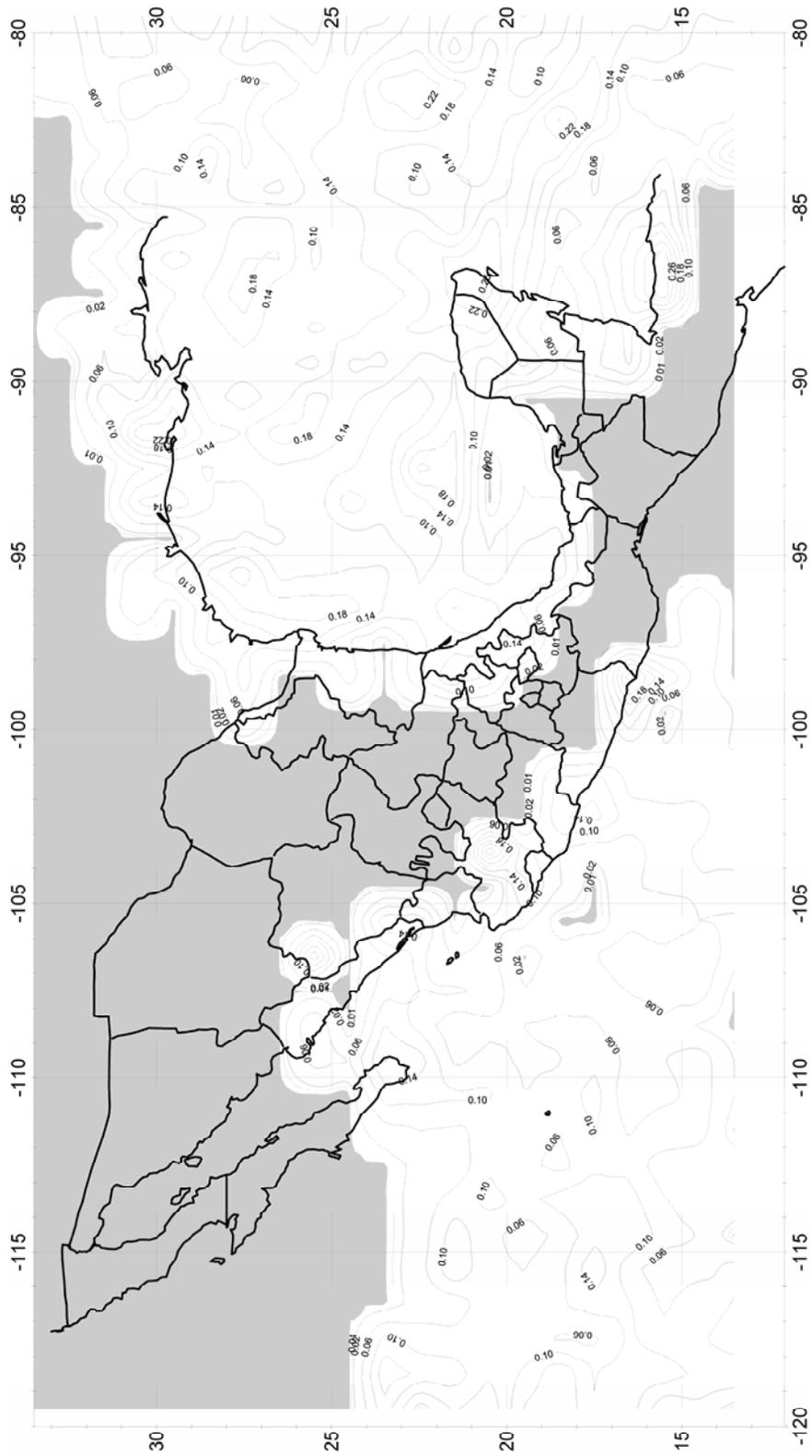


Figura 2.19 Probabilidad de ocurrencia de los huracanes categoría 2 (H2) en México

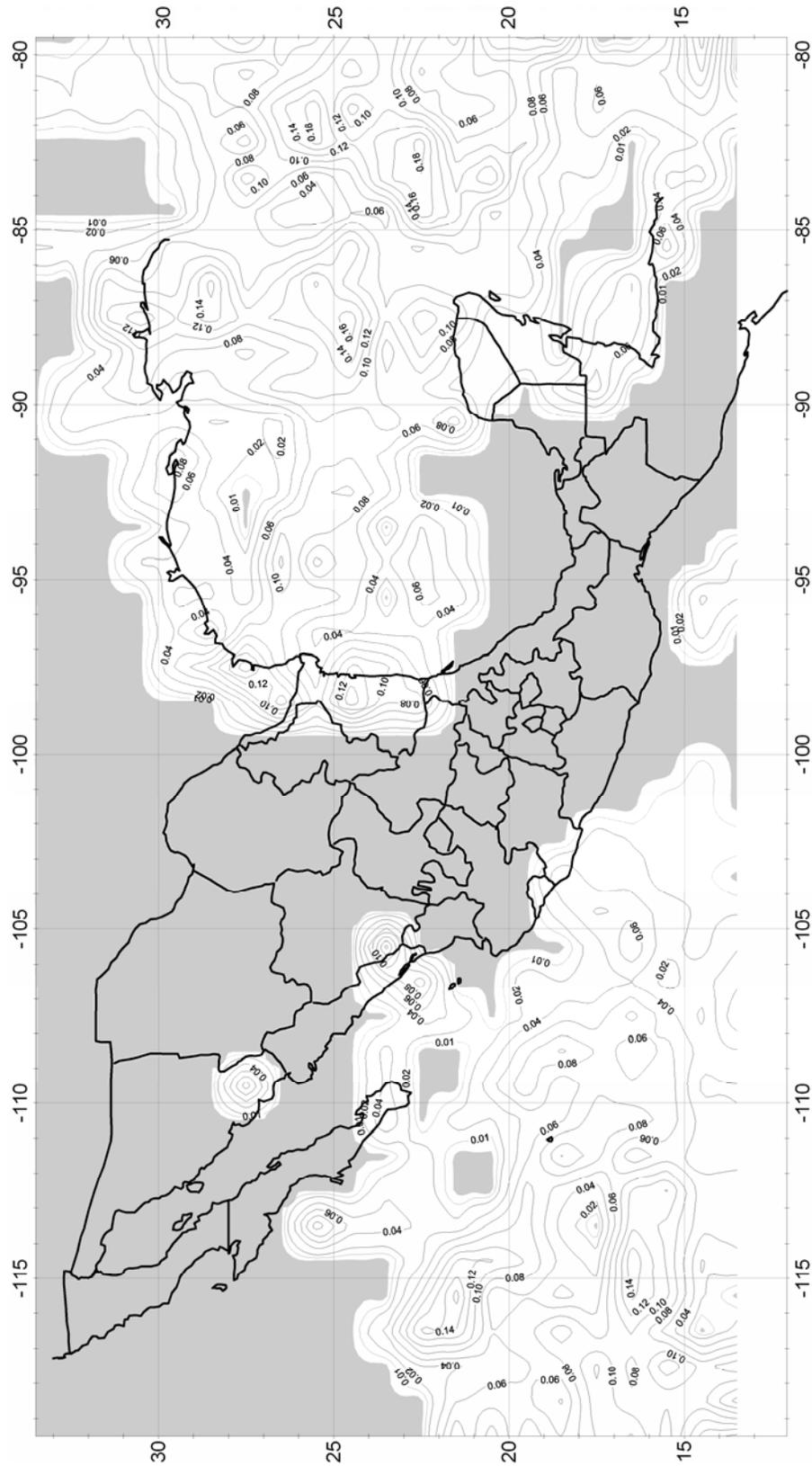


Figura 2.20 Probabilidad de ocurrencia de los huracanes categoría 3 (H3) en México

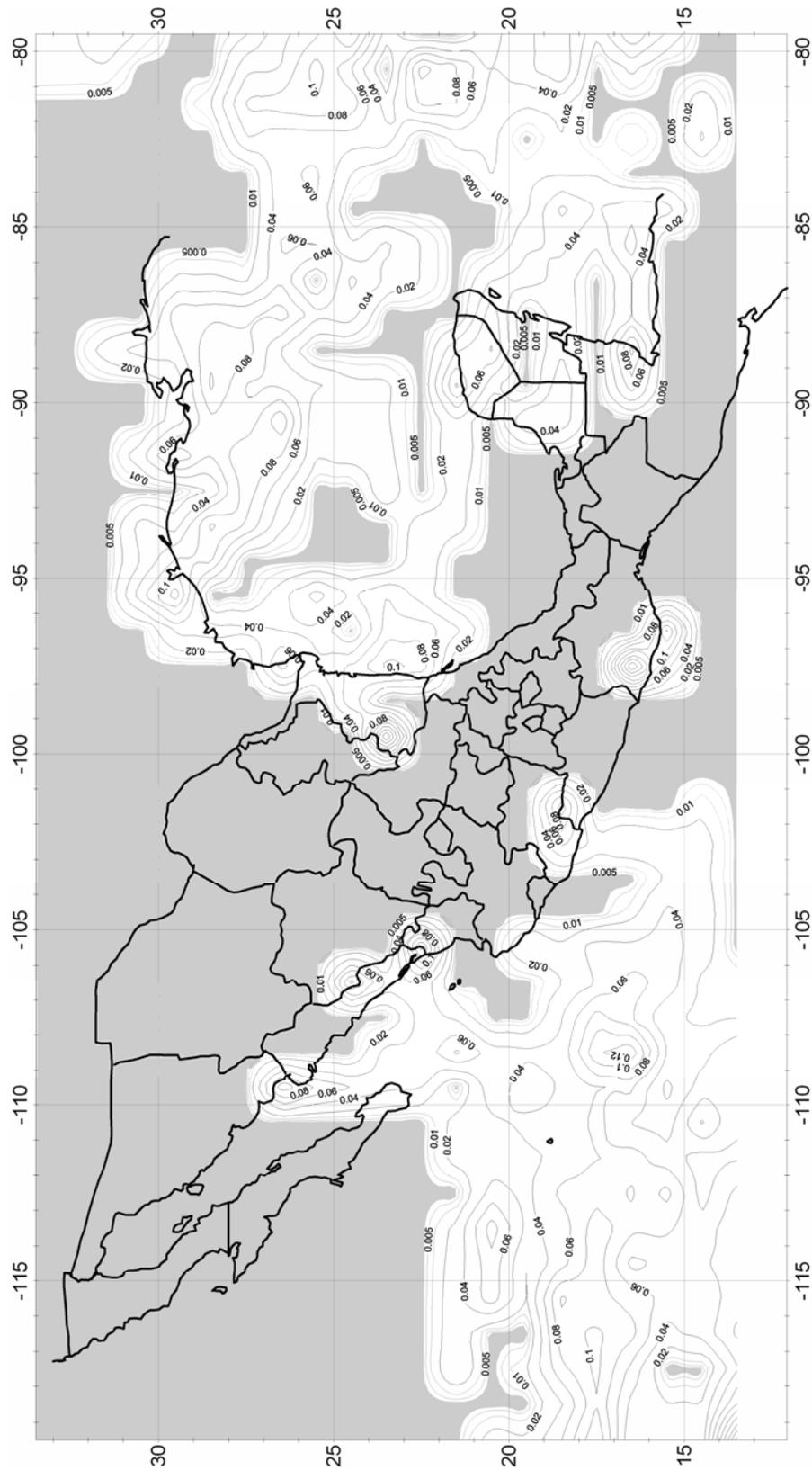


Figura 2.21 Probabilidad de ocurrencia de los huracanes categoría 4 (H4) en México

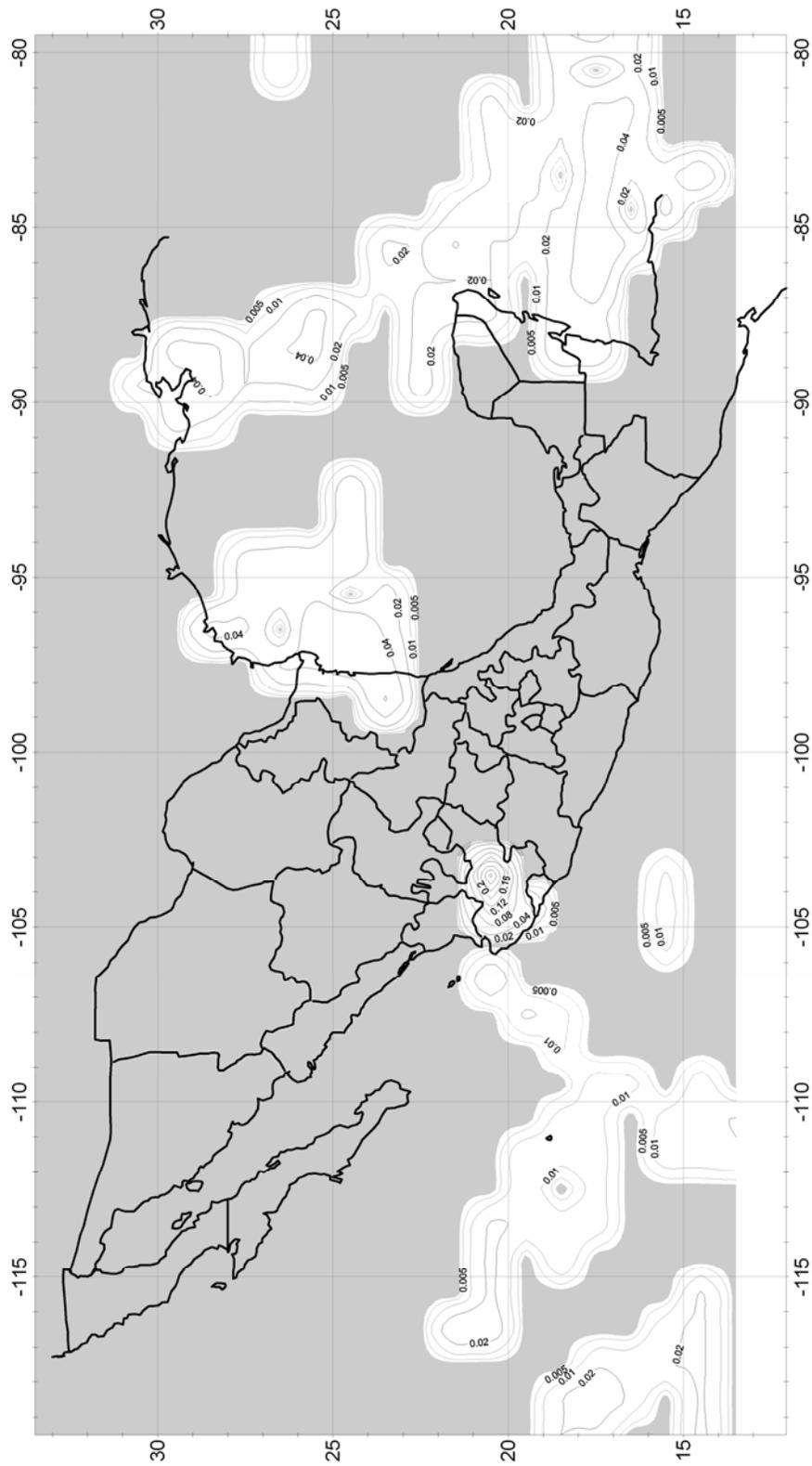


Figura 2.22 Probabilidad de ocurrencia de los huracanes categoría 5 (H5) en México

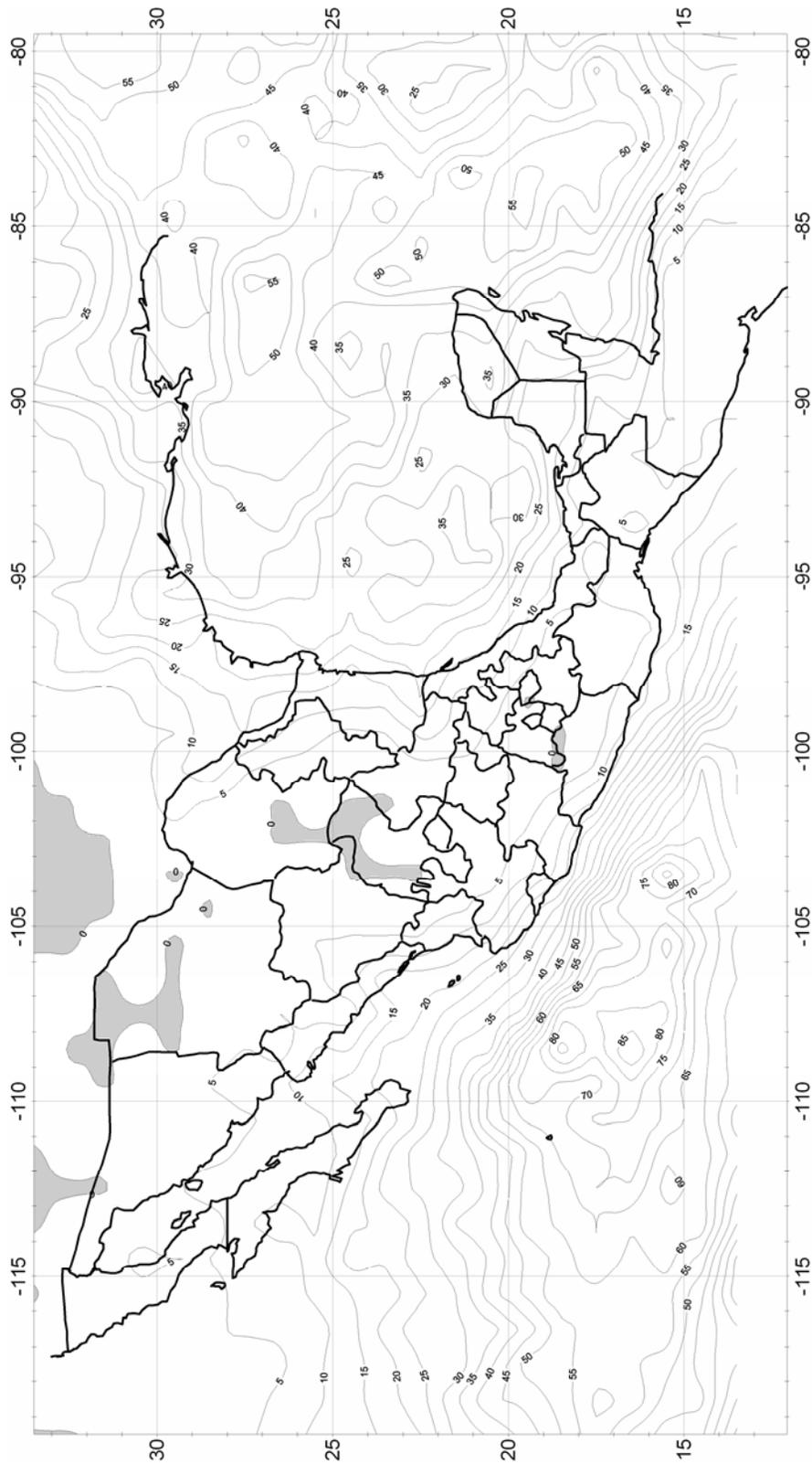


Figura 2.23 Número total de ciclones tropicales en México (golfo de México y mar Caribe de 1851-2005 y océano Pacífico de 1949-2005)

Mediante el conocimiento de estos datos, es posible obtener una función de peligro, la tasa de excedencia de los eventos y los periodos de retorno para cada una de las intensidades de los ciclones tropicales en los puntos que se analizaron.

Con el fin de simplificar los cálculos se ha elaborado un archivo de Microsoft Excel (que estará disponible en la versión electrónica) con nombre *Cálculo_Tr_Ciclones2005.xls*, en el cual se deben incorporar los datos obtenidos. Cuando se analiza un punto en la costa del océano Pacífico, se utilizará la hoja con el nombre *Pacífico* (figura 2.24) y si el punto en estudio está en el golfo de México o mar Caribe se procede a trabajar en la hoja *Atlántico* (figura 2.25).

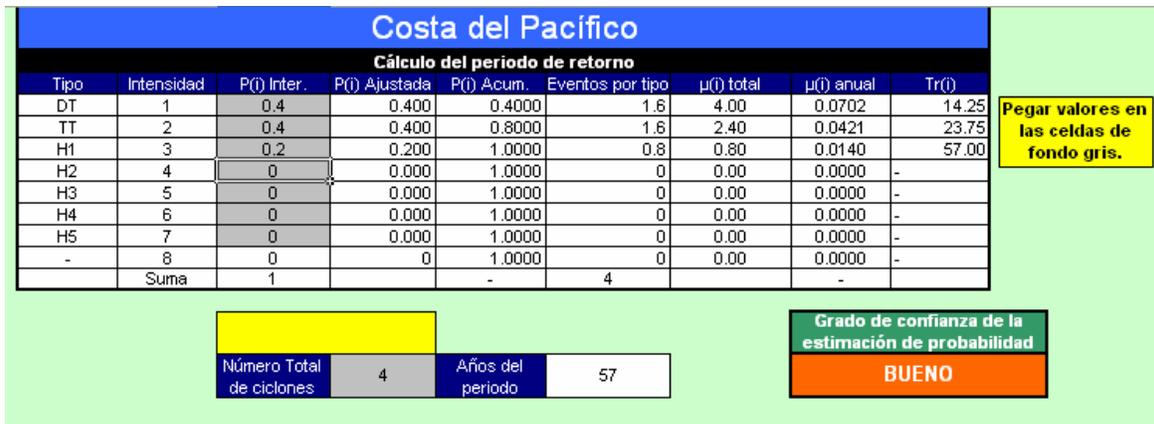


Figura 2.24 Libro de Excel: *Cálculo_Tr_Ciclones2005.xls*, hoja correspondiente a la costa del Pacífico



Figura 2.25 Libro de Excel *Cálculo_Tr_Ciclones2005.xls*, hoja correspondiente a la costa del golfo de México y mar Caribe

Los datos se deberán ingresar en las celdas con fondo gris. Inmediatamente aparecerá el periodo de retorno (*Tr*) correspondiente a cada intensidad. Es importante señalar que la suma de las probabilidades debe ser cercano a 1, de lo contrario puede haber errores en la elección de los valores de probabilidad. El grado de aceptación expresa qué tan bueno es el estimado de la función de probabilidad que se esté ingresando.

La probabilidad de que ocurra una tormenta tropical o un huracán en una zona de interés en las costas de la República Mexicana se obtiene de las figuras 2.16 a la 2.22. En ellas se consignan las probabilidades de que se presente en un año un ciclón de intensidad de depresión tropical (DT), tormenta tropical (TT) y huracanes categoría 1 a 5 (H1, H2, H3, H4 y H5). Sin embargo, las lecturas se deberán corregir mediante las hojas de Excel, las cuales se pueden leer en la columna $P(i)$ Ajustada, éstas son las que se utilizarán para el cálculo de riesgo.

Ejemplo 2.3

Para el ciclón tropical del ejemplo 2.2, encuentre su probabilidad anual de presentación y su periodo de retorno

Solución:

De acuerdo con el valor de la presión central, en la escala Saffir-Simpson se trata de un huracán categoría 4.

Para las coordenadas del ojo del ciclón tropical, latitud 24°N y longitud 97°W, se ubica el meteoro en la figura 2.22, así se lee que el valor de la isolínea de probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 4 es $P=0.05$. Este valor se debe corregir mediante la hoja de Excel llamada Cálculo_Tr_ciclones2005.xls, por lo que la $P(i)$ Ajustada = 0.034; es decir, el resultado obtenido muestra que anualmente en esa área hay un 3.4% de probabilidad de que ocurra un huracán con intensidad cuatro.

Dado que el periodo de retorno (TR) está relacionado con la probabilidad de ocurrencia anual, se utiliza el archivo de Excel Cálculo_Tr_Ciclones2005.xls y la hoja correspondiente a la costa del golfo de México y mar Caribe. Sin embargo, en ésta se deben incluir todos los valores de los ciclones tropicales, desde depresiones hasta huracanes categoría 5, para ello se utilizan las figuras 2.16 a la 2.22. Además, con ayuda de la figura 2.23 se encuentra el número total de ciclones tropicales. De esta manera, la columna de la tabla donde se incorporan los datos es (P_i) Inter que aparece en color gris, así como el número total de ciclones, como se muestra en la figura 2.26.

Al ingresar los valores se calcula automáticamente el periodo de retorno para cada intensidad de ciclón tropical. El resultado del ejemplo muestra que para esa coordenada un huracán categoría 4 tiene un TR = 115.8 años.



Figura 2.26. Cálculo para obtener el periodo de retorno de los ciclones tropicales correspondiente a la coordenada 97°W y 24°N

2.4. MAPA DE PELIGRO PARA EL FENÓMENO DE MAREA DE TORMENTA

Para elaborar mapas de peligro y riesgo de inundaciones por marea de tormenta se requiere de un plano topográfico que contenga a la zona de interés; de preferencia, que sea tres veces mayor que la zona en estudio, tratando que ella se localice en el centro del mismo.

El plano topográfico debe contar con curvas de nivel a cada metro o menos, entre las elevaciones 0 y 10 m. Éste puede construirse a partir de las cartas topográficas o los modelos digitales de terreno del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

El plano con curvas de nivel es indispensable para dibujar las áreas de inundación con agua marina. Ellas se forman por el ingreso de agua desde el océano, debido al ascenso del nivel medio del mar durante la ocurrencia de la marea de tormenta.

2.4.1 Metodología para elaborar el mapa de peligro por marea de tormenta

Un aspecto fundamental para la elaboración de los mapas de peligro o riesgo de inundación por marea de tormenta, es la asignación de la probabilidad de ocurrencia en un año de ciclones tropicales de cierta magnitud en las zonas costeras.

El método para construir los mapas de peligro por marea de tormenta consta de las partes siguientes:

- A) Preparación de los planos de trabajo
- B) Datos y cálculos auxiliares
- C) Determinación de la altura de marea de tormenta y las áreas de inundación
- D) Asignación de probabilidades a cada área inundada

Etapas A. Preparación de los planos de trabajo

Para disponer de los planos donde se dibujarán las zonas inundables por marea de tormenta se requiere realizar las siguientes actividades:

A.1 Selección del plano base

Se escoge un plano de la zona costera con elevaciones topográficas menores a 10 m, que contengan las áreas que pudiesen ser inundadas con agua del mar por marea de tormenta, donde se incluya al sitio de interés. A este plano se le llamará plano base.

A.2 Revisión del plano base

Se revisa que, en el plano base, estén definidas las curvas de nivel a cada metro entre las elevaciones 0 y 10 m, o en su defecto se interpola entre las existentes para dibujarlas en todo el plano. En caso de que las curvas de nivel del plano estén interrumpidas en alguna parte, se deberán completar para que se disponga de un trazo continuo de ellas.

Cuando se cuente con otros datos de topografía que marquen la elevación del terreno respecto al nivel medio del mar, conviene tomarlos en cuenta y, si procede, se modifica el trazo de las curvas de nivel.

A.3 Información relevante de la zona inundada por marea de tormenta

Se agrega al plano una leyenda con información relevante sobre la inundación por marea de tormenta. Puede ser utilizado el que se propone en la figura 2.27.

LEYENDA	
Lugar:	_____
Tipo de ciclón:	_____
Probabilidad de ocurrencia Anual:	_____
Periodo de retorno:	_____ años
Altura de la marea de tormenta:	_____ m
Identificación del plano:	_____

Figura 2.27 Datos para identificar el mapa de peligro de inundación por marea de tormenta

A.4 Reproducciones del plano base

Reproducir por lo menos seis veces el plano base. En cada una de las copias del plano se marcará la inundación que se produciría, debido a una tormenta tropical o un huracán entre las categorías 1 a 5. No se considera a los ciclones tropicales con intensidad menor a las de una tormenta tropical (depresión o perturbación tropical) ya que no producen ascensos de importancia del nivel medio del mar.

Etapa B. Datos y cálculos auxiliares

Para obtener la amplitud de la marea de tormenta y el área de inundación que provoca en tierra un meteoro, conviene reunir algunos datos y cálculos que son similares para los ciclones tropicales de distinta clase.

B.1 Longitud y latitud del lugar

Con base en la cartografía del INEGI se ubica el sitio donde interesa generar los mapas de peligro y se define la longitud y la latitud del punto en análisis.

B.2 Velocidad máxima de traslación del ciclón tropical

A partir de la longitud y latitud del lugar se obtiene de la figura 2.6 ó 2.7 la velocidad máxima de traslación del ciclón tropical V_d (en km/h) que será empleada en los cálculos de la velocidad máxima del viento sostenido (como se mostró en el ejemplo 2.1).

B.3 Factor correctivo de la marea de tormenta por dirección del viento

Se determina el ángulo que forma la trayectoria del ciclón tropical con respecto a la línea de costa cercana al sitio de interés. Para ello, se identifica la dirección de la trayectoria promedio que han presentado los ciclones tropicales cerca del lugar. Esto se hace con ayuda de la figura 2.13 ó 2.14 a partir de la latitud y longitud definidas en B.1.

Al encontrar el ángulo α que se forma entre la dirección de la trayectoria media de los ciclones tropicales y la línea de costa se obtiene el factor correctivo F , ya sea mediante la ecuación 2.4 o en la figura 2.12 (en el ejemplo 2.2 se señaló la manera de obtenerlo).

Etapa C. Determinación de la amplitud de la marea de tormenta y áreas inundables con agua marina

En esta etapa se determinan las zonas inundables por marea de tormenta debidas a tormentas tropicales y a huracanes de distinta categoría.

Como la inundación por marea de tormenta se desarrolla durante varias horas, se considera que la velocidad de los flujos de agua marina hacia el continente es pequeña. A ello se debe que la superficie libre de la inundación sea casi horizontal y que tenga una elevación similar a la amplitud de la marea de tormenta (tabla 2.4).

La marea de tormenta se clasifica, a partir de su amplitud, de la siguiente manera:

Tabla 2.4 Clasificación de la inundación generada por la marea de tormenta

Amplitud de la marea de tormenta (m)	Categoría
<0.5	Somera
0.51 a 1.00	Baja
1.01 a 2.00	Moderada
2.01 a 3.50	Alta
3.51 a 5.00	Muy alta
>5.00	Extraordinaria

En adelante, a la combinación de la amplitud de la marea de tormenta debida a un ciclón tropical con intensidad de tormenta tropical a huracán se denotará como h_{TT} , h_{H1} , h_{H2} , h_{H3} , h_{H4} y h_{H5} . De igual manera, las velocidades de viento máximo se indicarán con una notación semejante (V_{TT} , V_{H1} , V_{H2} , V_{H3} , V_{H4} y V_{H5})

C.1 Inundación costera provocada por marea de tormenta de una tormenta tropical

En la expresión de la velocidad de viento máximo sostenido (ecuación 2.1) de un ciclón tropical, se considera que la presión central de la tormenta tropical p_0 es igual a 985 mb (es la presión más baja dentro del intervalo de clase de tormentas tropicales de la escala Saffir-Simpson), por lo que tal velocidad se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$V_{TT} = 106.80 - 0.2618R \operatorname{sen}\phi + 0.50 V_d \quad (2.5)$$

Cuando no se dispone del valor del radio de máximo viento R , éste puede ser estimado con la ecuación 2.2, a partir de la presión central $p_0=985$ mb por lo tanto, se obtiene el valor de 61.69 km.

Se toma en cuenta a la latitud del lugar ϕ y a la velocidad de traslación del ciclón tropical V_d definidos en la etapa B. Con la ecuación 2.5 se obtiene la velocidad máxima del viento sostenido V_{TT} .

Mediante la ecuación 2.3 y con el radio de máximo viento R , la velocidad del viento máximo V_{TT} y el factor correctivo F (Etapa B), se calcula el valor de la amplitud de la marea de tormenta h_{TT} .

En una de las reproducciones del plano base, se colorea en rojo la zona comprendida entre la línea de costa y la elevación topográfica h_{TT} . A este mapa se le llama “inundación costera generada por la marea de tormenta de una tormenta tropical”.

La elevación h_{TT} y el tipo de ciclón tropical (en este caso es “Tormenta tropical”) se anotan en el cuadro de leyenda del plano (figura 2.27).

C.2 Inundación costera provocada por marea de tormenta de un huracán categoría 1

En la expresión para calcular la velocidad del viento máximo sostenido (ecuación 2.1), se considera que la presión central más baja que pueden tomar los huracanes categoría 1, según la escala Saffir-Simpson, sea p_0 igual a 980 mb, por lo que la velocidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{H1} = 115.95 - 0.2618 R \text{ sen}\phi + 0.50 V_d \quad (2.6)$$

Cuando no se dispone del valor del radio de máximo viento R , éste puede ser estimado con la ecuación 2.2, considerando que $p_0 = 980$ mb, por lo que el radio es igual a 58.23 km. Las literales ϕ y V_d se definieron en la etapa B.

Conocidos el radio de máximo viento R , la velocidad del viento máximo sostenido V_{H1} y el factor correctivo F (el cual quedó definido en la etapa B), se encuentra la amplitud de la marea de tormenta, h_{H1} con la ecuación 2.3.

En una reproducción del plano base, se colorea en café aquella zona comprendida entre la línea de costa y la elevación topográfica h_{H1} . El mapa obtenido corresponde al de la *inundación costera generada por la marea de tormenta de un huracán categoría 1*.

La amplitud h_{H1} y el tipo de ciclón tropical, en este caso *Huracán categoría 1* se anotan en el cuadro de leyenda de este plano (figura 2.27).

C.3 Inundación costera provocada por marea de tormenta de un huracán categoría 2

En la ecuación 2.1 se considera que la presión central más pequeña que pueden tomar los huracanes categoría 2 de acuerdo con la escala Saffir-Simpson, en este caso p_0 es igual a 965 mb. Al sustituir esta presión en dicha expresión se obtiene:

$$V_{H2} = 139.84 - 0.2618R \text{ sen}\phi + 0.50 V_d \quad (2.7)$$

Cuando no se dispone del valor del radio de máximo viento R , éste puede ser estimado con la ecuación 2.2; en este caso para $P_0 = 965$ mb; el radio de máximo viento es igual a 48.96 km. La latitud ϕ y la velocidad de desplazamiento del huracán V_d fueron determinadas en la etapa B.

Con los valores del radio de máximo viento R , la velocidad del viento máximo sostenido V_{H2} y el factor correctivo F (encontrado en la etapa B), se calcula la amplitud de la marea de tormenta, h_{H2} con la ecuación 2.3.

En otra reproducción del plano base, se ilumina de color fusha la superficie aledaña al mar que está comprendida entre las curvas de nivel 0 y h_{H2} . A este dibujo se le refiere como *inundación costera generada por la marea de tormenta de un huracán categoría 2*

El valor de h_{H2} y *Huracán categoría 2* se escriben en el cuadro que contiene la leyenda del plano (figura 2.27) en los renglones de amplitud de marea y de tipo de ciclón tropical.

C.4 Inundación costera provocada por marea de tormenta de un huracán categoría 3

Esta inundación puede ocurrir sólo si en la zona de interés hay un valor para la probabilidad de ocurrencia anual de un huracán categoría 3; de otro modo, no procede la obtención de las zonas inundables por la marea de tormenta de huracanes categoría 3, 4 y 5.

En la ecuación 2.1 que proporciona la velocidad del viento máximo sostenido de un ciclón tropical se considera que la presión central P_0 es igual a la más baja que puede tener un huracán categoría 3, que de acuerdo con la escala Saffir-Simpson es de 945 mb, por lo que la ecuación 2.1 queda así:

$$V_{H3} = 166.44 - 0.2618R \operatorname{sen}\phi + 0.50 V_d \quad (2.8)$$

Cuando no se dispone del valor del radio de máximo viento R , al sustituir en la ecuación 2.2 a $p_0 = 945$ mb, se encuentra que $R = 38.85$ km.

Para la latitud del lugar ϕ y la velocidad de traslación del ciclón tropical V_d , obtenidos en la etapa B, y con la ecuación 2.6, se obtiene la velocidad máxima del viento sostenido V_{H3} .

Conocidos el radio de máximo viento R , la velocidad del viento máximo V_{H3} y el factor correctivo F (Etapa B), con la ecuación 2.3 se calcula el valor de la amplitud de la marea de tormenta, h_{H3} .

En otra reproducción del plano base, se colorea en naranja la zona colindante al mar donde la elevación topográfica está entre 0 y h_{H3} . Al plano obtenido se le identifica como *mapa de inundación costera generada la marea de tormenta de un huracán categoría 3*. La h_{H3} y el tipo de ciclón tropical, en este caso *Huracán categoría 3*, se anotan en el cuadro con información relevante (figura 2.27).

C.5 Inundación costera provocada por la marea de tormenta de un huracán categoría 4

Esta inundación puede ocurrir sólo si en la zona de interés se ha escrito un valor para la probabilidad de ocurrencia anual de un huracán categoría 4; de otro modo, no procede la obtención de las zonas inundables por la marea de tormenta de huracanes categoría 4 y 5.

En la ecuación 2.1 se considera que la presión central del huracán categoría 4 es la presión más pequeña que pueden tomar estos huracanes según la escala Saffir-Simpson, por lo que P_0 se hace igual a 920 mb. Al sustituir este valor en la ecuación anterior se llega a:

$$V_{H4} = 194.64 - 0.2618R \operatorname{sen}\phi + 0.50 V_d \quad (2.9)$$

Cuando no se dispone del valor del radio de máximo viento R , éste puede ser estimado con la ecuación 2.2 tomando en cuenta que $P_0 = 920$ mb; con lo cual este radio es igual a 29.10 km.

La latitud ϕ y la velocidad de desplazamiento del ciclón tropical V_d fueron definidas en la etapa B.

Con los valores del radio de máximo viento R , la velocidad del viento máximo sostenido V_{H4} y el factor correctivo F (etapa B) se sustituyen en la ecuación 2.3, para obtener la amplitud de la marea de tormenta de un huracán categoría 4, h_{H4} .

En una copia del plano base, se marca en color rosa la zona que se encuentra entre las curvas de nivel 0 y la elevación h_{H4} . Al dibujo se le llama plano de la *inundación costera generada por la marea de tormenta de un huracán categoría 4*. Esta amplitud y el tipo de ciclón tropical, en este caso *Huracán categoría 4*, se escriben en el cuadro con la leyenda de este plano (figura 2.27).

C.6 Inundación costera provocada por la marea de tormenta de un huracán categoría 5

Esta inundación puede ocurrir sólo si en la zona de interés se ha escrito un valor para la probabilidad de ocurrencia anual de un huracán categoría 5; de otro modo, no procede la obtención de las zonas inundables por la marea de tormenta de huracanes de este tipo.

En la expresión para calcular la velocidad del viento máximo sostenido (ecuación 2.1), se considera que la presión central del huracán categoría 5 es igual a la presión más pequeña que pueden tomar estos huracanes, sea $P_0 = 882$ mb (valor de la presión central más baja del huracán Wilma de 2005; asimismo, la más baja que se ha registrado cerca de México), por lo que la velocidad se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$V_{H5} = 231.01 - 0.2618R \operatorname{sen}\phi + 0.50 V_d \quad (2.10)$$

Cuando no se conoce cuál es el valor del radio de máximo viento R , éste puede ser estimado con la ecuación 2.2 con $P_0 = 882$ mb; encontrándose que es igual a 18.76 km.

La latitud ϕ y la velocidad de traslación del ciclón tropical V_d fueron definidas en la etapa B.

Con el radio de máximo viento R , la velocidad del viento máximo sostenido V_{H5} y el factor correctivo F (etapa B), con la ecuación 2.3 se obtiene la amplitud de la marea de tormenta, h_{H5} .

En una copia del plano base, se colorea de amarillo la superficie colindante con el mar donde la elevación topográfica se encuentra entre 0 y h_{H5} , donde esta elevación fue calculada con la ecuación 2.3, a este plano se le llama mapa de la *inundación costera causada por un huracán categoría 5*. La amplitud h_{H5} y el tipo de ciclón tropical, en este caso *Huracán categoría 5* se anotan en el cuadro de leyenda de este plano (figura 2.27).

Etapa D. Asignación de las probabilidades a las áreas de inundación

La inundación por marea de tormenta está relacionada directamente con los vientos del ciclón tropical, a ésta se le asigna la probabilidad de ocurrencia anual del fenómeno. Para ello, se ubica la

zona de interés en las figuras 2.16 a 2.22. En éstas se consignan las probabilidades de ocurrencia anual de tormentas tropicales y de huracanes que han ocurrido cerca de las costas de México.

Se define el punto del ciclón seleccionado en el océano Atlántico o Pacífico. Asimismo, los periodos de retorno de las tormentas tropicales y huracanes se obtienen con ayuda de la hoja de Excel para la costa del Pacífico o golfo de México y mar Caribe. Sin embargo, no siempre existen ciclones de intensidad huracán categoría 5 (H5), por ello, sólo se calculan si éstos están presentes.

D.1 Probabilidad de inundación por marea de tormenta debido a tormenta tropical

Se utiliza la figura 2.17 para conseguir la probabilidad p de ocurrencia anual de tormentas tropicales. Sin embargo, en el cuadro de leyenda (figura 2.27) del plano, se anota la probabilidad de ocurrencia anual $P(i)$ *Ajustada* calculada con la hoja de Excel y el valor del periodo de retorno se obtiene con la misma hoja.

D.2 Probabilidad de inundación por marea de tormenta debido a un huracán categoría 1

De la figura 2.18 se extrae la probabilidad p de ocurrencia anual de huracanes categoría 1. No obstante, en el cuadro de leyenda (figura 2.27) del plano, se registra la probabilidad de ocurrencia anual $P(i)$ *Ajustada* deducida con la hoja de Excel y el periodo de retorno se obtiene con ayuda de la misma.

D.3 Probabilidad de inundación por marea de tormenta debido a un huracán categoría 2

Con base en la figura 2.19 se obtiene la probabilidad p de ocurrencia anual de huracanes categoría 2. Aunque, en el cuadro de leyenda (figura 2.27) del plano, se escribe la probabilidad de ocurrencia anual $P(i)$ *Ajustada* derivada con la hoja de Excel y el periodo de retorno se obtiene con ayuda de la misma.

D.4 Probabilidad de inundación por marea de tormenta debido a un huracán categoría 3

Si es que se ha dibujado el área de inundación por marea de tormenta generada por un huracán categoría 3, se define la probabilidad a partir de la figura 2.20. Sin embargo, en el cuadro de leyenda (figura 2.27) del plano se escribe en el renglón de probabilidad de ocurrencia anual, el valor de $P(i)$ *Ajustada* calculada con la hoja de Excel y el periodo de retorno se obtiene con ayuda de la misma.

D.5 Probabilidad de inundación por marea de tormenta debido a un huracán categoría 4

Si es que se ha dibujado el área de inundación por marea de tormenta producida por un huracán categoría 4, se asigna la probabilidad con base en la figura 2.21. No obstante, en el cuadro de leyenda (figura 2.27) del plano, se anota el valor de $P(i)$ *Ajustada* deducida con la hoja de Excel y el periodo de retorno se obtiene con ayuda de la misma.

D.6 Probabilidad de inundación por marea de tormenta debido a un huracán categoría 5

Si es que se ha dibujado el área de inundación por marea de tormenta de un huracán categoría 5, se obtiene la probabilidad con base en la figura 2.22. Aunque, en el cuadro de leyenda (figura 2.27) del plano correspondiente, se escribe el valor de $P(i)$ *Ajustada* calculada con la hoja de Excel y el periodo de retorno se obtiene con ayuda de la misma.

2.5. EJEMPLO DE APLICACIÓN PARA CALCULAR LA ALTURA DE LA MAREA DE TORMENTA

El ejemplo se aplicó al extremo oriental del estado de Quintana Roo. Se comenzó por localizar el mapa topográfico del INEGI e identificar las curvas de nivel 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 y 7.0 m. Además, se adicionó un recuadro para anotar los resultados de los cálculos antes descritos y con ello se formó el mapa base (figura 2.28).

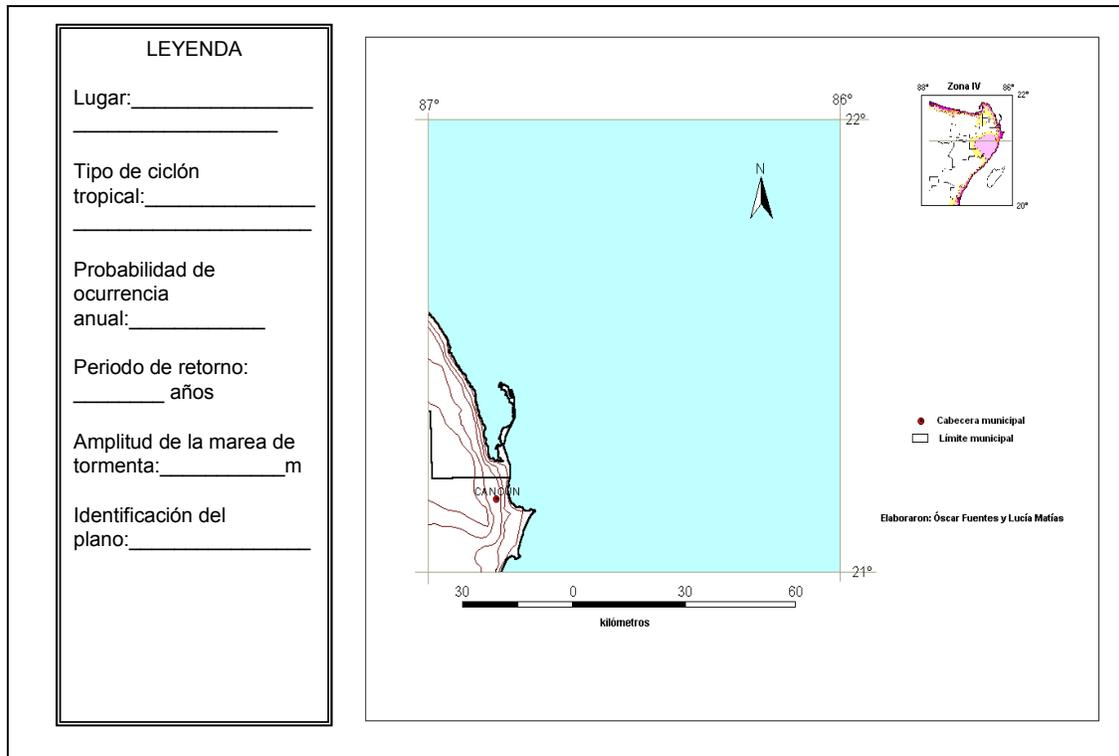


Figura 2.28 Mapa base

2.5.1 Primer plano

Una vez elaborado el mapa base se procede a determinar las áreas de inundación con agua marina, para ello es necesario obtener la probabilidad, el periodo de retorno y la amplitud de la marea de tormenta, para ello se dibuja en color rojo la altura de la inundación costera de una tormenta tropical a partir de la línea de costa hasta el valor de la amplitud de la marea. Después se completa la información que aparece en la leyenda, en la primera línea, se asigna el nombre de la región, estado, municipio o localidad, mientras que en el renglón tipo de ciclón tropical se indica que corresponde a una tormenta tropical.

La probabilidad de ocurrencia para las tormentas tropicales se obtiene de la figura 2.17. Las coordenadas correspondientes a Cancún son aproximadamente 87°W y 21°N; con base en ellas y consultando el mapa mencionado se obtiene la probabilidad de 0.37, sin embargo, el valor que se agrega al renglón de la leyenda es el de la probabilidad ajustada $P(i) = 0.311$ que calcula la hoja de Excel para el golfo de México y mar Caribe. El periodo de retorno se deduce con ayuda de esta misma donde resulta $Tr = 5.36$ años (figura 2.29).



Figura 2.29 Cálculo de la probabilidad y periodo de retorno para las tormentas tropicales cerca de Cancún

La amplitud de la marea de tormenta para una tormenta tropical, se obtiene una vez encontrado el radio de máximo viento (R), los vientos máximos sostenidos (V_{TT}) y el factor correctivo (F), con las siguientes fórmulas:

$$R = 0.0007 e^{0.01156 p_0}$$

siendo la presión de 985 mb,

$$R = 0.0007 e^{0.01156 (985)}$$

$$R = 0.0007 e^{11.3866}$$

$$R = 61.7 \text{ km}$$

Los vientos máximos se calculan como:

$$V = 106.8 - 0.2618R(\text{sen}\phi) + 0.50 V_d$$

$$V = 106.8 - 0.2618(61.7)\text{sen}(21) + 0.50(30)$$

$$V = 106.8 - 16.1531(0.3584) + 15$$

$$V = 116.01 \text{ km/h}$$

El factor correctivo se obtiene de la siguiente manera:

$$F = 0.6(1 + \text{sen}\alpha)$$

$$F = 0.6(1 + \text{sen}21^\circ)$$

$$F = 0.6(1 + 0.3584)$$

$$F = 0.6(1.3584)$$

$$F = 0.8150$$

Una vez estimadas las variables, se procede a calcular la amplitud de la marea de tormenta:

$$h = (0.03R + 0.000119V^2 - 1.4421)F$$

$$h = [0.03(61.7) + 0.000119(116)^2 - 1.4421](0.8150)$$

$$h = [1.8510 + 0.000119(13456) - 1.4421](0.8150)$$

$$h = [1.8510 + 1.6013 - 1.4421](0.8150)$$

$$h = 2.0102(0.8150)$$

$$h = 1.63 \text{ m}$$

Así se conoce que la amplitud de la marea de tormenta de una tormenta tropical en la región de interés es de 1.6 m, que corresponde a una marea *moderada* (tabla 2.4 y figura 2.30).

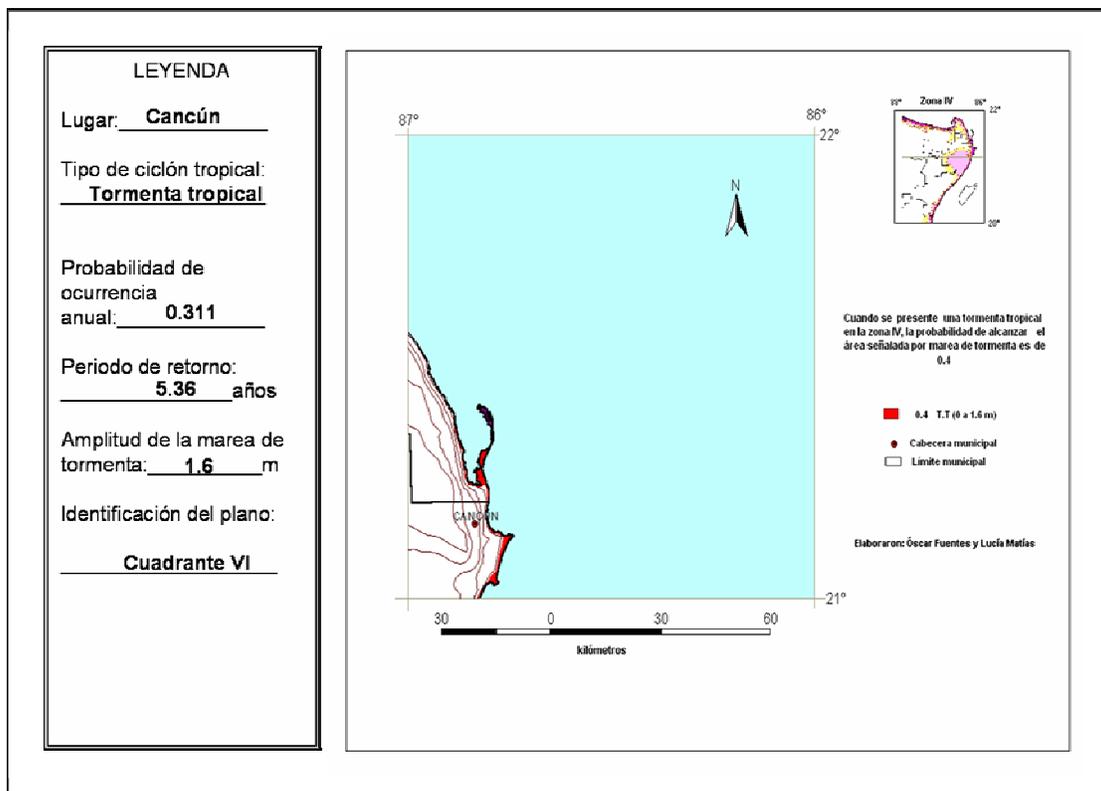


Figura 2.30 Peligro por la marea de tormenta tipo Moderada para una tormenta tropical en la región oriental del estado de Quintana Roo

2.5.2 Segundo plano

La obtención del segundo plano se determina por las áreas de inundación con agua marina, por lo que es necesario calcular la probabilidad, el periodo de retorno y la amplitud de la marea de tormenta y así colorear de café a partir de la línea de costa hasta el valor de la marea de tormenta. En la primera línea de la leyenda se asigna el nombre de la región, estado, municipio o localidad, mientras que en el renglón de tipo de ciclón tropical se indica que es la inundación costera de un huracán categoría 1.

La probabilidad de ocurrencia se determina con la figura 2.18, resulta que $P=0.1$. Sin embargo, el valor que se agrega al renglón de la leyenda es el de la probabilidad ajustada $P(i)=0.084$, el periodo de retorno se calcula con la hoja de Excel, obteniéndose un $Tr = 9.76$ años (figura 2.31).

Costa del Golfo de México y Mar Caribe								
Cálculo del periodo de retorno								
Tipo	Intensidad	P(i) Inter.	P(i) Ajustada	P(i) Acum.	Eventos por tipo	$\mu(i)$ total	$\mu(i)$ anual	Tr(i)
DT	1	0.37	0.311	0.3109	13.06	42.00	0.2710	3.69
TT	2	0.37	0.311	0.6218	13.06	28.94	0.1867	5.36
H1	3	0.1	0.084	0.3950	3.53	15.88	0.1025	9.76
H2	4	0.24	0.202	0.2857	8.47	12.35	0.0797	12.55
H3	5	0.07	0.059	0.2605	2.47	3.88	0.0250	39.92
H4	6	0.02	0.017	0.0756	0.71	1.41	0.0091	109.79
H5	7	0.02	0.017	0.0336	0.71	0.71	0.0046	155.00
-	8	0	0			0.00	0.00	-
Suma		1.19		-	42			

Pegar valores en las celdas de fondo gris.

Analizar

Limpiar Celdas

Número Total de ciclones	42.5	Años del periodo	155
--------------------------	------	------------------	-----

Grado de confianza de la estimación de probabilidad

BUENO

Figura 2.31 Cálculo de la probabilidad y periodo de retorno para los huracanes categoría 1 cerca de Cancún

La amplitud de la marea de tormenta, para un huracán categoría 1, se obtiene una vez encontrado el radio de máximo viento (R), los vientos máximos sostenidos (V) y el factor correctivo (F) con las siguientes fórmulas:

$$R = 0.0007 e^{0.01156 p_0}$$

siendo la presión de 980 mb,

$$R = 0.0007 e^{0.01156 (980)}$$

$$R = 0.0007 e^{11.3288}$$

$$R = 58.22 \text{ km}$$

Los vientos máximos se calculan como:

$$V = 115.95 - 0.2618R(\text{sen}\phi) + 0.50 V_d$$

$$V = 115.92 - 0.2618(58.22)\text{sen}(21) + 0.50(30)$$

$$V = 115.95 - 15.2420(0.3584) + 15$$

$$V = 125.48 \text{ km/h}$$

El factor correctivo se obtiene de la siguiente manera:

$$F = 0.6(1 + \text{sen}\alpha)$$

$$F = 0.6(1 + \text{sen}21^\circ)$$

$$F = 0.6(1 + 0.3584)$$

$$F = 0.6(1.3584)$$

$$F = 0.8150$$

Una vez estimadas las variables, se procede a calcular la amplitud de la marea de tormenta:

$$h = (0.03R + 0.000119V^2 - 1.4421)F$$

$$h = [0.03(58.22) + 0.000119(125.48)^2 - 1.4421](0.8150)$$

$$h = [1.7466 + 0.000119(15745.23) - 1.4421](0.8150)$$

$$h = [1.7466 + 1.8737 - 1.4421](0.8150)$$

$$h = 2.1782(0.8150)$$

$$h = 1.77 \text{ m}$$

Así, se conoce que la amplitud de la marea de tormenta de un huracán categoría 1 en la región de la figura 2.32 es de 1.77 m, que corresponde a una marea *moderada*.

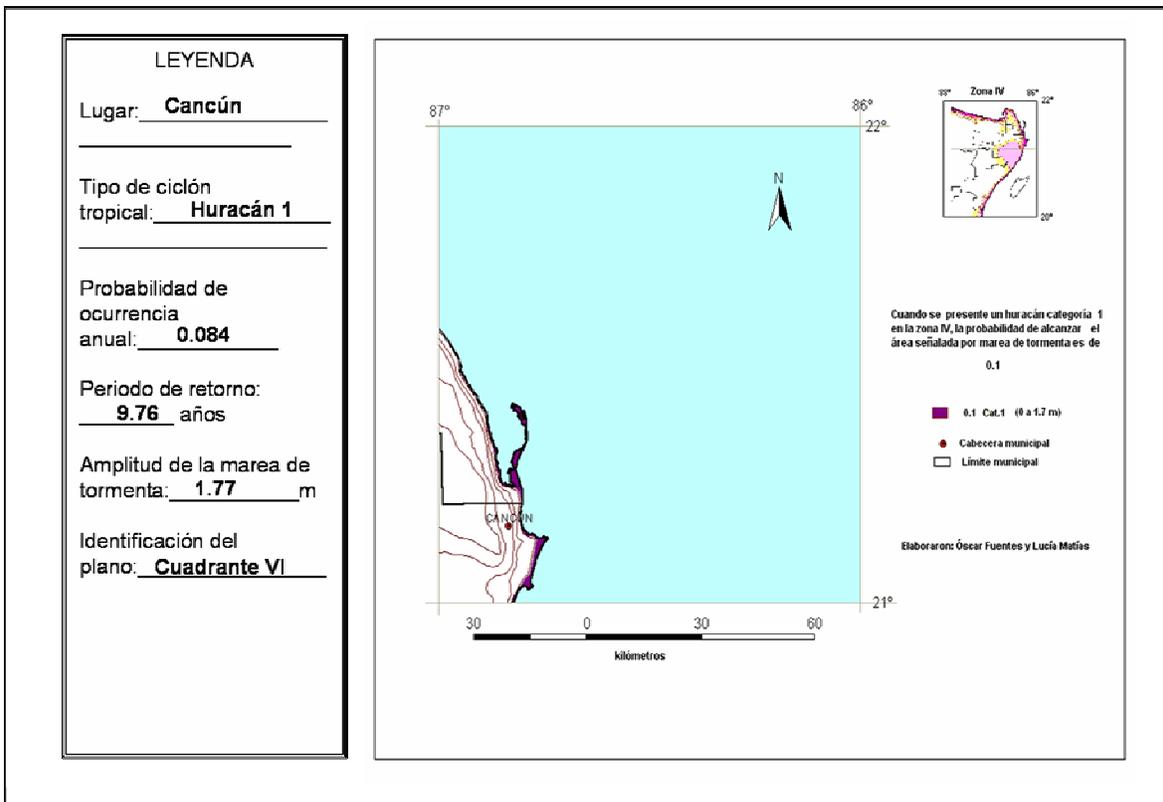


Figura 2.32 Peligro por marea de tormenta tipo “Moderada” para un huracán categoría 1 en la región oriental del estado de Quintana Roo

2.5.3 Tercer plano

Para generar el tercer plano se ilumina de color fiusha la franja entre la línea de costa y el valor obtenido por la amplitud de marea de tormenta; con ello se muestra el área inundada con agua marina generada por huracanes categoría 2. Asimismo, se procede con la búsqueda de la probabilidad que se apoya en la figura 2.19, que es de 0.24. Aunque en la leyenda se escribe el valor de la probabilidad ajustada $P(i) = 0.202$ y el periodo de retorno se calcula con la misma tabla de Excel (figura 2.33), donde se obtiene un $Tr = 12.55$ años.



Figura 2.33 Cálculo de la probabilidad y periodo de retorno para los huracanes categoría 2 cerca de Cancún

La amplitud de la marea de tormenta para un huracán categoría 2 se calcula, una vez encontrado el radio de máximo viento (R), los vientos máximos sostenidos (V_{H2}) y el factor correctivo (F), con las siguientes fórmulas:

$$R = 0.0007 e^{0.01156 p_0}$$

siendo la presión de 965 mb,

$$R = 0.0007 e^{0.01156 (965)}$$

$$R = 0.0007 e^{11.1554}$$

$$R = 48.95 \text{ km}$$

Los vientos máximos se obtienen de la siguiente manera:

$$V = 139.84 - 0.2618R(\text{sen}\phi) + 0.50 V_d$$

$$V = 139.84 - 0.2618(48.95)\text{sen}(21) + 0.50(30)$$

$$V = 139.84 - 12.8173(0.3584) + 15$$

$$V = 150.24 \text{ km/h}$$

El factor correctivo se estima:

$$F = 0.6(1 + \text{sen}\alpha)$$

$$F = 0.6(1 + \text{sen}21^\circ)$$

$$F = 0.6(1 + 0.3584)$$

$$F = 0.6(1.3584)$$

$$F = 0.8150$$

Una vez obtenidas las variables se procede a calcular la amplitud de la marea de tormenta:

$$h = (0.03R + 0.000119V^2 - 1.4421)F$$

$$h = [0.03(48.95) + 0.000119(150.24)^2 - 1.4421](0.8150)$$

$$h = [1.4685 + 0.000119(22572.0576) - 1.4421](0.8150)$$

$$h = [1.4685 + 2.6861 - 1.4421](0.8150)$$

$$h = 2.7125(0.8150)$$

$$h = 2.21 \text{ m}$$

Finalmente, la amplitud de la marea de tormenta es de 2.21 m para un huracán categoría 2 en el cuadrante de interés, que es catalogada como “alta” (figura 2.34).

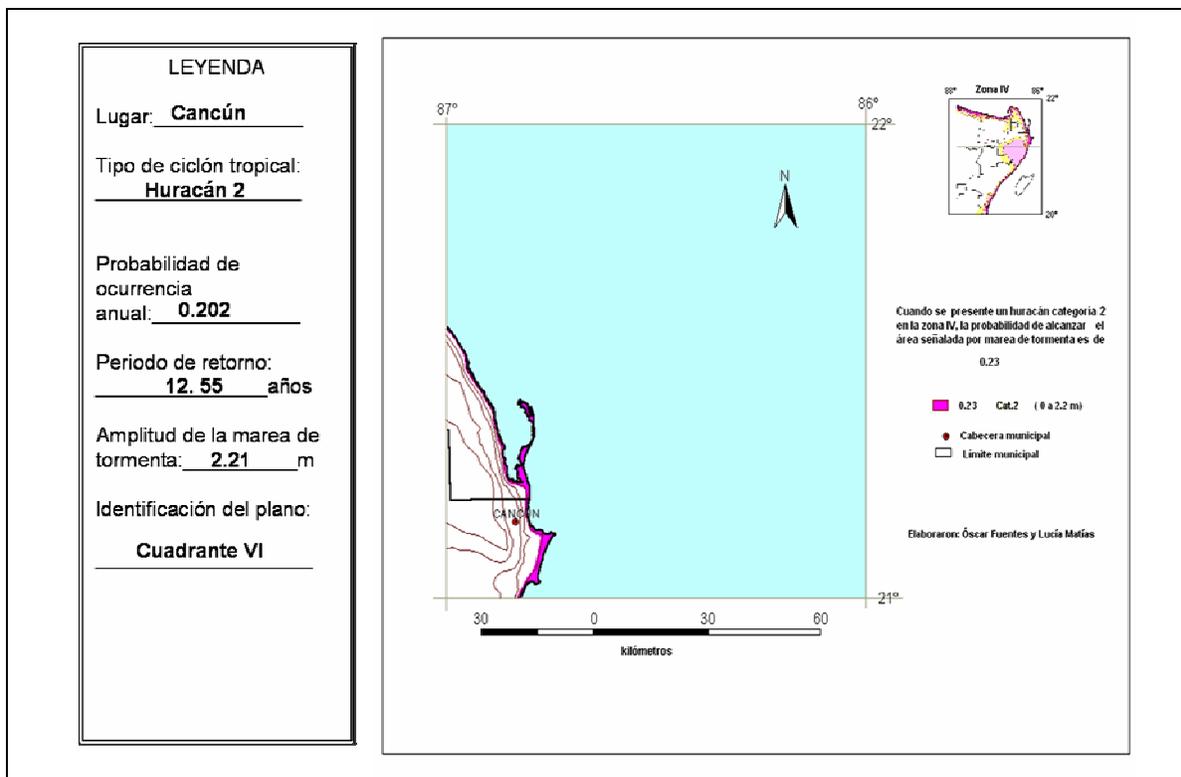


Figura 2.34 Peligro por marea de tormenta tipo “Alta” para un huracán categoría 2 en la región oriental del estado de Quintana Roo

2.5.4 Cuarto plano

El cuarto plano corresponde al mapa de peligro por marea de tormenta de un huracán categoría 3 en las cercanías de la localidad de Cancún, en el estado de Quintana Roo. Primeramente, se obtienen los cálculos de probabilidad, periodo de retorno y amplitud de la marea de tormenta, para iluminar de color naranja la zona comprendida entre la línea de costa y la amplitud de la marea de tormenta. Se procede a encontrar la probabilidad de que ocurra un huracán de categoría 3, en la zona de estudio. Este valor se busca en la figura 2.20 que es de 0.07. Sin embargo, se anota en la

leyenda el dato de la probabilidad ajustada $P(i) = 0.059$. El periodo de retorno se realiza con la misma hoja de Excel, así resulta que $Tr = 39.92$ años (figura 2.35).



Figura 2.35 Cálculo de la probabilidad y periodo de retorno para los huracanes categoría 3 cerca de Cancún

La amplitud de la marea de tormenta para un huracán categoría 3 se obtiene, una vez encontrando el radio de máximo viento (R), los vientos máximos sostenidos (V_{H3}) y el factor correctivo (F), con las siguientes fórmulas:

$$R = 0.0007 e^{0.01156 p_0}$$

siendo la presión de 945 mb,

$$R = 0.0007 e^{0.01156(945)}$$

$$R = 0.0007 e^{10.9242}$$

$$R = 38.85 \text{ km}$$

Los vientos máximos se calculan de la siguiente manera:

$$V = 166.44 - 0.2618R(\text{sen}\phi) + 0.50 V_d$$

$$V = 166.44 - 0.2618(38.85)\text{sen}(21) + 0.50(30)$$

$$V = 166.44 - 3.6453 + 15$$

$$V = 177.8 \text{ km/h}$$

El factor correctivo se obtiene:

$$F = 0.6(1 + \text{sen}\alpha)$$

$$F = 0.6(1 + \text{sen}21^\circ)$$

$$F = 0.6(1 + 0.3584)$$

$$F = 0.6(1.3584)$$

$$F = 0.8150$$

Una vez estimadas las variables, se procede a calcular la amplitud de la marea de tormenta:

$$h = (0.03R + 0.000119V^2 - 1.4421)F$$

$$h = [0.03(38.85) + 0.000119(177.8)^2 - 1.4421](0.8150)$$

$$h = [1.1655 + 0.000119(31612.84) - 1.4421](0.8150)$$

$$h = [1.1655 + 3.7619 - 1.4421](0.8150)$$

$$h = 3.4863(0.8150)$$

$$h = 2.8 \text{ m}$$

Por lo anterior, la amplitud de la marea de tormenta de un huracán categoría 3 en la región de la figura 2.36, es de 2.8 m, considerándose como inundación de tipo “alto”.

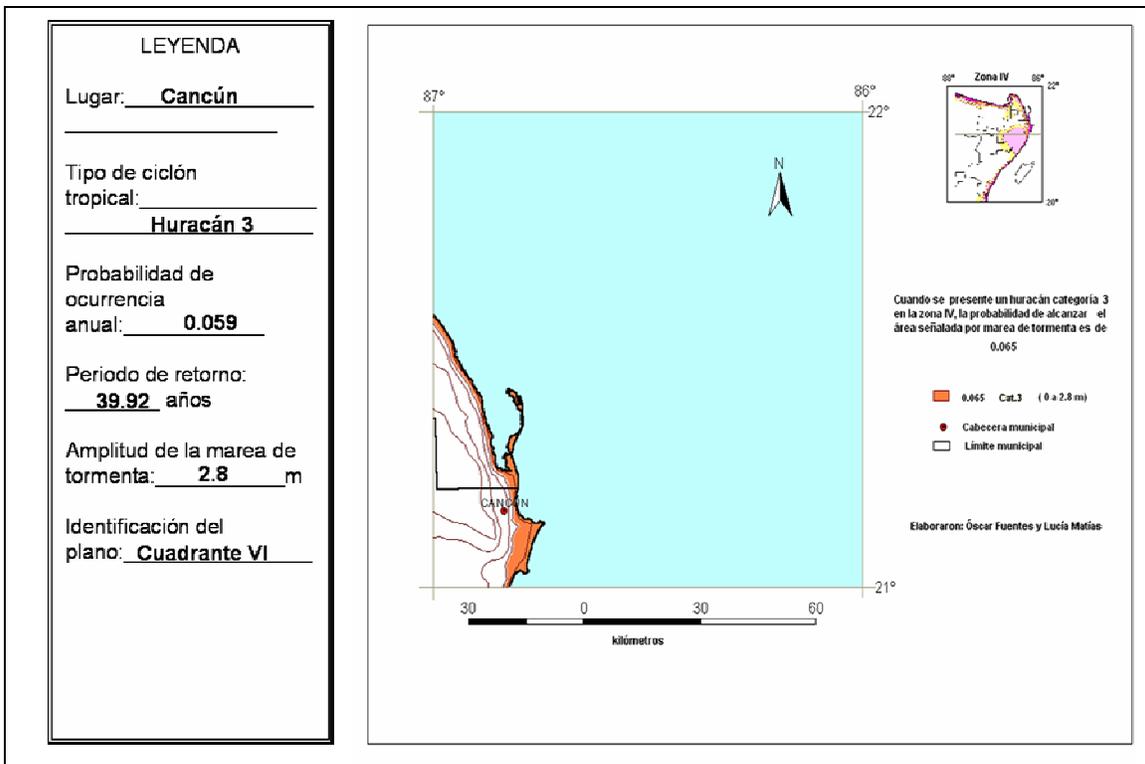


Figura 2.36 Peligro por marea de tormenta tipo “Alta” para un huracán categoría 3 en la región oriental del estado de Quintana Roo

2.5.5 Quinto plano

El mapa de peligro por marea de tormenta que corresponde a un huracán de categoría 4 en el extremo oriental del estado de Quintana Roo, se construye iluminando de color rosa el área comprendida entre la línea de costa y el valor de la amplitud de la marea de tormenta, que es la elevación promedio que podría alcanzar la inundación. La probabilidad de que ocurra una marea de tormenta de esta magnitud en un año se obtiene de la figura 2.21; el valor correspondiente, $P=0.02$, pero en la leyenda se anota la probabilidad ajustada $P(i)=0.017$. El periodo de retorno se calcula a partir de la hoja de Excel, obteniéndose $Tr = 109.79 \text{ años}$ (figura 2.37).



Figura 2.37 Cálculo de la probabilidad y periodo de retorno para los huracanes categoría 4 cerca de Cancún

La amplitud de la marea de tormenta para un huracán categoría 4 se obtiene, una vez encontrado el radio de máximo viento (R), los vientos máximos sostenidos (V_{H4}) y el factor correctivo (F), con las siguientes fórmulas:

$$R = 0.0007 e^{0.01156 p_0}$$

siendo la presión de 920 mb,

$$R = 0.0007 e^{0.01156 (920)}$$

$$R = 0.0007 e^{10.6352}$$

$$R = 29.1 \text{ km}$$

Los vientos máximos se calculan como:

$$V = 194.64 - 0.2618R(\text{sen}\phi) + 0.50 V_d$$

$$V = 194.64 - 0.2618(29.1)\text{sen}(21) + 0.50(30)$$

$$V = 194.64 - 2.7304 + 15$$

$$V = 206.9 \text{ km/h}$$

El factor correctivo se obtiene:

$$F = 0.6(1 + \text{sen}\alpha)$$

$$F = 0.6(1 + \text{sen}21^\circ)$$

$$F = 0.6(1 + 0.3584)$$

$$F = 0.6(1.3584)$$

$$F = 0.8150$$

Una vez estimadas las variables, se procede a calcular la amplitud de la marea de tormenta:

$$h = (0.03R + 0.000119V^2 - 1.4421)F$$

$$h = [0.03(29.1) + 0.000119(206.9)^2 - 1.4421](0.8150)$$

$$h = [0.8730 + 0.000119(42807.61) - 1.4421](0.8150)$$

$$h = [0.8730 + 5.0941 - 1.4421](0.8150)$$

$$h = 4.5250(0.8150)$$

$$h = 3.6 \text{ m}$$

Así se determina que la amplitud de la marea de tormenta de un huracán categoría 4 en la región de figura 2.38 es de 3.6 m, inundación catalogada como “muy alta”.

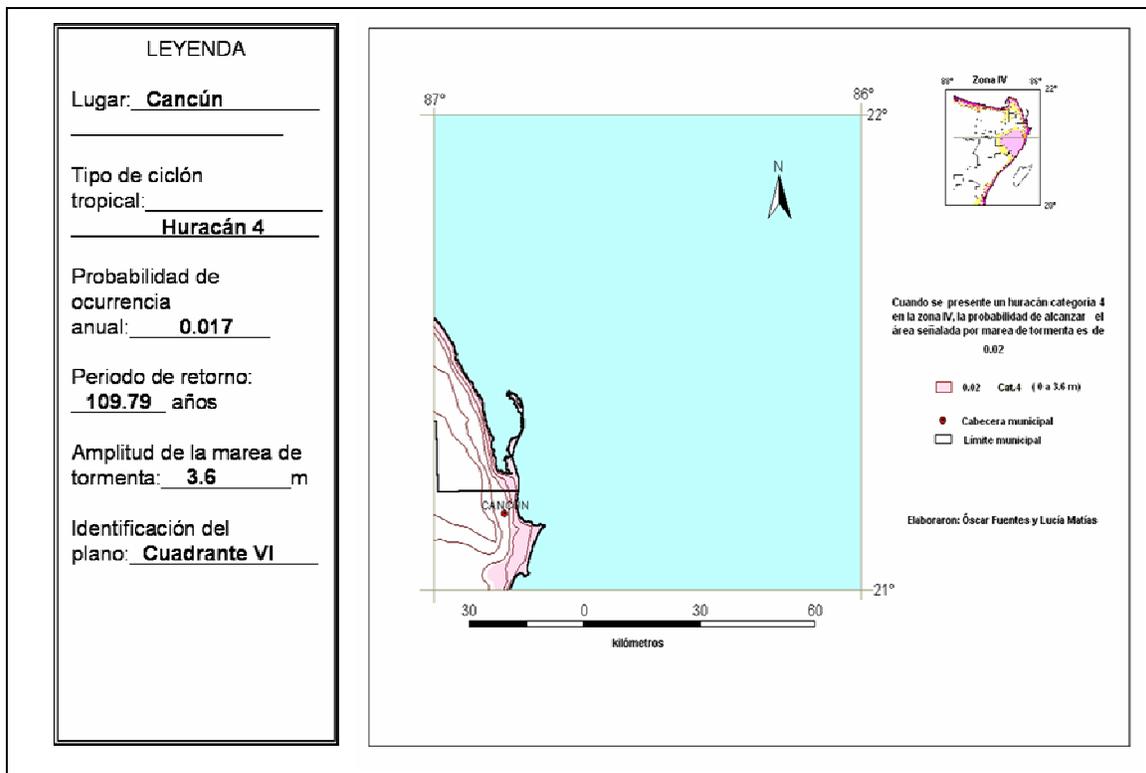


Figura 2.38 Peligro por marea de tormenta tipo “Muy alta” para un huracán categoría 4 en la región oriental del estado de Quintana Roo

2.5.6 Sexto plano

En el plano seis se dibuja en color amarillo el área comprendida entre 0 y 5.1 m, que es la elevación media de marea de tormenta que podría producir un huracán categoría 5. El valor de probabilidad se obtiene de la figura 2.22; es decir $P=0.02$, sin embargo, se escribe en la leyenda el dato de la probabilidad ajustada $P(i)=0.017$. El periodo de retorno se obtiene con ayuda de la hoja de Excel (figura 2.39), donde se muestra un $Tr = 155$ años.



Figura 2.39 Cálculo de la probabilidad y periodo de retorno para los huracanes categoría 5 cerca de Cancún

La amplitud de la marea de tormenta para un huracán categoría 5 se obtiene, una vez encontrando el radio de máximo viento (R), los vientos máximos sostenidos (V_{HS}) y el factor correctivo (F), con las siguientes fórmulas:

$$R = 0.0007 e^{0.01156 p_0}$$

siendo la presión de 882 mb,

$$R = 0.0007 e^{0.01156 (882)}$$

$$R = 0.0007 e^{10.1959}$$

$$R = 18.75 \text{ km}$$

Los vientos máximos se calculan como:

$$V = 231.01 - 0.2618R(\text{sen}\phi) + 0.50 V_d$$

$$V = 231.01 - 0.2618 (18.75) \text{sen}(21) + 0.50(30)$$

$$V = 231.01 - 1.7593 + 15$$

$$V = 244.25 \text{ km/h}$$

El factor correctivo se obtiene:

$$F = 0.6(1 + \text{sen}\alpha)$$

$$F = 0.6(1 + \text{sen}21^\circ)$$

$$F = 0.6(1 + 0.3584)$$

$$F = 0.6(1.3584)$$

$$F = 0.8150$$

Una vez estimadas las variables, se procede a calcular la amplitud de la marea de tormenta:

$$h = (0.03R + 0.000119V^2 - 1.4421)F$$

$$h = [0.03(18.75) + 0.000119(244.25)^2 - 1.4421](0.8150)$$

$$h = [0.5625 + 0.000119(59658.0625) - 1.4421](0.8150)$$

$$h = [0.5625 + 7.0993 - 1.4421](0.8150)$$

$$h = 6.2197(0.8150)$$

$$h = 5.1 \text{ m}$$

La amplitud de la marea de tormenta de un huracán categoría 5 en la región de figura 2.40 es de 5.1 m. Se define este tipo de inundación para el extremo oriental del estado de Quintana Roo como del tipo “extraordinaria”.

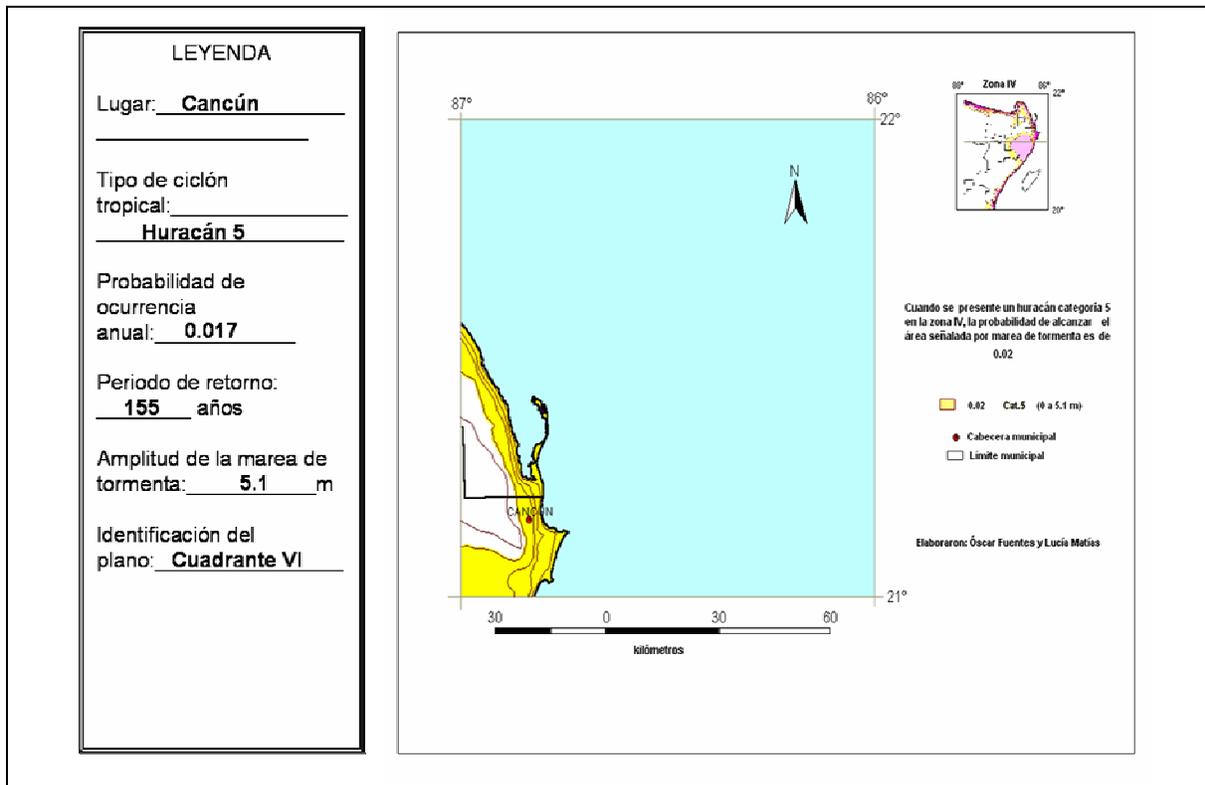


Figura 2.40 Peligro por marea de tormenta tipo “Extraordinaria” para un huracán categoría 5

2.6. FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD PARA LA MAREA DE TORMENTA

La vulnerabilidad se estimará en los mismos términos que se plantean en el capítulo 1.3, en el que el daño a las viviendas está en función de la profundidad de la inundación que se presentaría en ellas.

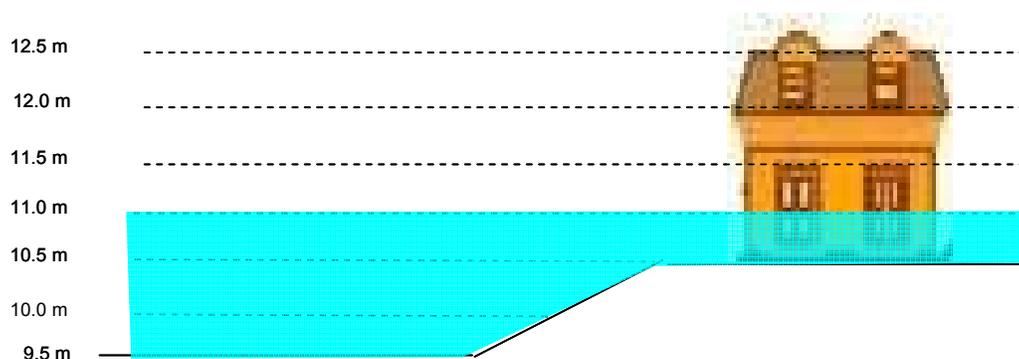
Se supondrá que las inundaciones costeras se forman poco a poco durante uno o más días, por lo que las corrientes del agua en la zona anegada son pequeñas (menores a 0.3 m/s) y no generarán fuerzas de arrastre o de impacto que las afecten estructuralmente. En una futura actualización de este documento se tomará en cuenta el caso en el que se presenten fuerzas adicionales debidas a oleaje o a corrientes.

2.6.1 Cálculo de la vulnerabilidad de las viviendas por inundaciones

En este documento se analizará al menaje existente en el interior de las viviendas como el elemento de riesgo, por lo que la vulnerabilidad se referirá únicamente a este aspecto. El daño al menaje se plantea en función de la profundidad de la inundación que se presentaría en ellas.

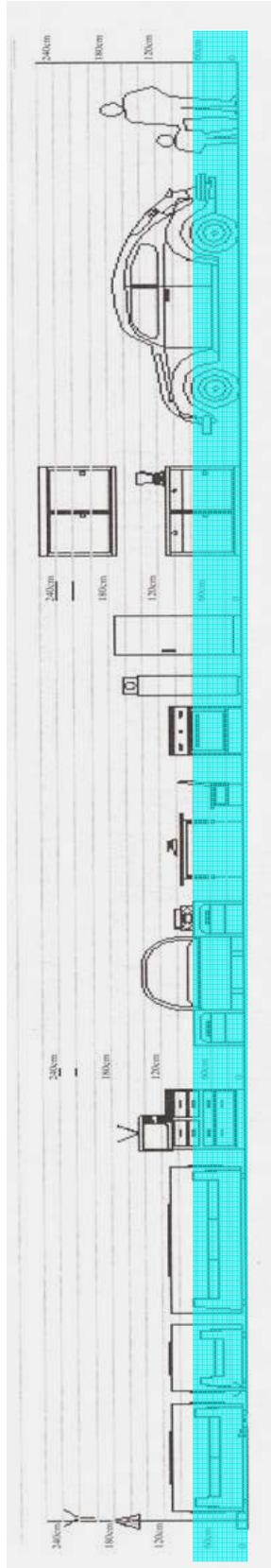
2.6.2 Determinación de la profundidad de inundación de las viviendas

Las viviendas existentes en la zona de interés se marcan en cada uno de los mapas de peligro, de acuerdo con la elevación del terreno en su desplante, se obtiene la profundidad de inundación dentro de la vivienda (figura 2.41).



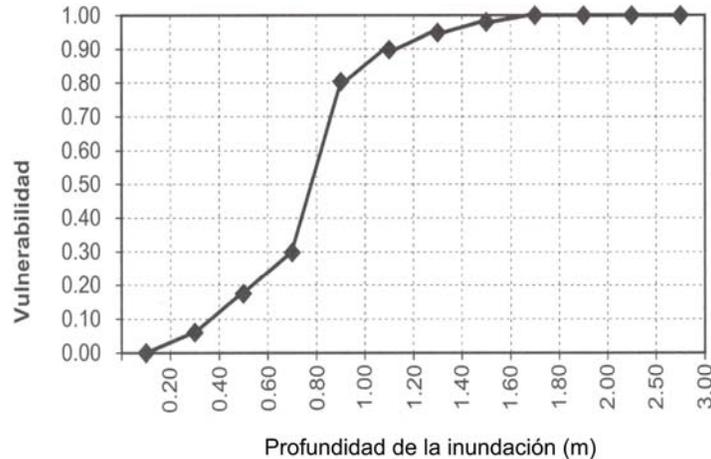
2.41 Profundidad de la inundación de 0.5 m en la vivienda

De acuerdo con la elevación del espejo de agua de la inundación que aparece en el mapa de peligro, se determina su espesor dentro de la vivienda (figura 2.42).



2.42 Profundidad de la inundación dentro de una vivienda

A cada profundidad de inundación dentro de la vivienda, le corresponde un porcentaje del daño total del menaje que existe en su interior. En la sección 1.3.2 de este tomo, se presentan las funciones de vulnerabilidad para cinco tipos de viviendas con base en los materiales utilizados en sus techos y muros. En la figura 2.43 se reproduce la función de vulnerabilidad de una vivienda tipo II, la cual comprende los hogares clasificados como clase baja, donde la casa puede ser de autoconstrucción o construida con materiales de la zona y la mayoría de las veces sin elementos estructurales. Respecto al menaje, las habitaciones cuentan con sus muebles propios y están más o menos definidos.



2.43 Función de vulnerabilidad para una vivienda tipo II

En la tabla 2.5 aparecen los valores del porcentaje del daño total del menaje de las viviendas tipo II. Además, para este tipo de viviendas se considera que el costo total del menaje es de \$50,000.

Tabla 2.5 Porcentaje de daño del menaje de una vivienda tipo II por inundación

Profundidad de la inundación (m)	Grado de vulnerabilidad (Porcentaje del valor total de daño)
0.1	0
0.3	0.07
0.5	0.18
0.7	0.30
0.9	0.80
1.1	0.90
1.3	0.95
1.5	0.98
1.7	1.0
1.9	1.0

2.6.3 Costo de la inundación para el grupo de viviendas desplantadas en cierto intervalo de elevación topográfica

Para la profundidad de inundación costera que aparece en el mapa de peligro en estudio se determina la vulnerabilidad de las viviendas. Esta corresponde al costo total de los daños a las viviendas ubicadas dentro de la zona inundada marcada en el mapa de peligro.

La descripción del cálculo de la vulnerabilidad de las viviendas por la inundación costera se realiza a través de un ejemplo. Para ello, se considera el mapa de peligro por inundación de la marea de tormenta asociado a un ciclón tropical de cierta intensidad.

En la figura 2.44 se muestra un mapa de peligro para una marea de tormenta generada por un huracán categoría 2, que de acuerdo con el método simplificado para calcular la amplitud de la marea de tormenta resultó ser de 2 m con una probabilidad de 0.15.

Las regiones se escogen de un tamaño tal que, dividan la zona de interés en por lo menos cinco partes en cada dirección.

En cada región se contó el número de viviendas de cada tipo y se clasificaron de acuerdo con la cota de su piso. Según el capítulo 1.3 el costo total del menaje para las viviendas tipo I es de \$12,500 y para las de tipo II es de \$50,000. En la tabla 2.6 se consignan estos datos.

En la tabla 2.6 se presentan los cálculos que permiten obtener la vulnerabilidad de las viviendas incluidas en el mapa de peligro del huracán categoría 2.

La columna 4 de la tabla 2.7 se obtuvo al restar a la amplitud de marea de tormenta (2 m), el valor de la elevación de desplante de la vivienda.

En la columna 6 se anotaron los costos totales de los menajes de las viviendas tipo I y tipo II.

En la columna 7 aparece el costo del deterioro por vivienda, que se encontró al multiplicar el porcentaje de daño por el valor total de perjuicio.

En la columna 8 se muestra el resultado expresado en millones de pesos, y resulta al multiplicar el daño en una vivienda (columna 7) por el número de viviendas (columna 1).

En la columna 9 se incluyen los daños dentro de cada región, que es igual a la suma de los daños en la región que se analiza, mismos que aparecen en la columna 8.

En la columna 10 se incluyen los resultados de dividir cada valor de la columna 9, entre el daño total que está escrito en la parte inferior de ella, con la intención de encontrar su riesgo relativo de daño. Este valor indica la proporción de daños en cada región del mapa de peligro, para señalar las zonas que tienen la mayor vulnerabilidad. En el caso del ejemplo fue la región A, ya que ahí la vulnerabilidad relativa fue de 0.47.

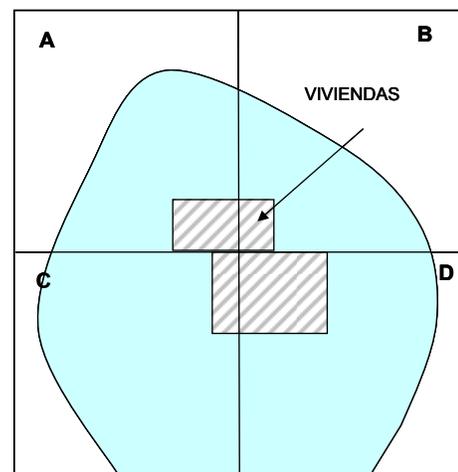


Figura 2.44 Mapa de peligro para un huracán categoría 2. La elevación de la inundación es de 2 m

Tabla 2.6 Viviendas en cada zona del mapa de peligro

Región	No. de viviendas	Tipo de vivienda	Elevación de desplante
A	80	I	0.5
	40	II	0.5
	30	II	1
B	20	I	1
	30	II	1
	35	II	1.5
C	10	II	0.5
	15	II	1
	20	II	1.5
D	10	I	0.5
	20	I	1
	25	II	1
Costo menaje de las viviendas tipo I: \$12,500			
Costo menaje de las viviendas tipo II: \$50,000			

Tabla 2.7 Huracán categoría 2 (la amplitud de la marea de tormenta es de 2 m)

Región	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	No. de viviendas	Tipo de vivienda	Elevación de desplante	Profundidad de la inundación	Porcentaje de daño	Costo total por vivienda	Daño en una vivienda	Daños (Millones de pesos)	Suma de daños en la región (Millones de pesos)	Riesgo relativo
A	80	I	0.5	1.5	95	12,500	11875	0.95		
	40	II	0.5	1.5	98	50,000	49000	1.96	4.185	0.47
	30	II	1	1	85	50,000	42500	1.275		
B	20	I	1	1	82	12,500	10250	0.205		
	30	II	1	1	85	50,000	42500	1.275	1.953	0.22
	35	II	1.5	0.5	27	50,000	13500	0.473		
C	10	II	0.5	1.5	98	50,000	49000	0.49		
	15	II	1	1	85	50,000	42500	0.638	1.398	0.16
	20	II	1.5	0.5	27	50,000	13500	0.27		
D	10	I	0.5	1.5	95	12,500	11875	0.119		
	20	I	1	1	82	12,500	10250	0.205	1.386	0.16
	25	II	1	1	85	50,000	42500	1.063		
<i>Total</i>								8.921	8.921	1

Para las tormentas tropicales y los huracanes categorías 1, 3, 4 y 5 se seguirá un proceso similar al anterior, para disponer en cada uno de ellos de una tabla muy parecida a la 2.7 que proporcione la vulnerabilidad.

2.7. ELABORACIÓN DEL MAPA DE RIESGO

El riesgo se calculará como se indica en el capítulo 1.4 de este libro, es decir,

$$R = C P V$$

siendo C el valor de los bienes expuestos, V el grado de vulnerabilidad y P la función de peligro de la marea de tormenta.

Con base en los costos de los daños al menaje de las viviendas por marea de tormenta, en cada una de las áreas de interés en los mapas de peligro, se obtiene el valor de los daños para cada región de los mapas de peligro con la siguiente expresión:

$$R = C \sum_{i=0}^N P_i V_i \quad (2.11)$$

siendo P_i la probabilidad de ocurrencia del ciclón tropical de intensidad i , V_i la vulnerabilidad asociada a este ciclón y N toma el valor de seis, porque es el número de intensidades de los ciclones tropicales analizados (TT, H1, H2, H3, H4 y H5). Las probabilidades aparecen en cada uno de los mapas de peligro y los valores de la vulnerabilidad en tablas similares a la 2.6.

En el ejemplo de aplicación de vulnerabilidad de la tabla 2.7 se obtuvo en la columna 9, la afectación por la profundidad de la inundación según el grado de vulnerabilidad de las viviendas en los cuadrados A, B, C y D, cuando se presenta un huracán categoría 2; a estos valores se les llamará V2A, V2B, V2C y V2D.

Cuando se dispone de una tabla similar a la 2.7 para tormentas tropicales se encuentran V0A, V0B, V0C y V0D; para un huracán categoría 1 serían V1A, V1B, V1C y V1D; para un huracán categoría 3 se tendría V3A, V3B, V3C y V3D; para el de categoría 4, V4A, V4B, V4C y V4D. Finalmente, para uno de categoría 5 quedarían V5A, V5B, V5C y V5D.

Por otra parte, en cada mapa de peligro aparece la probabilidad de ocurrencia anual de cierta clase de ciclón tropical. De ellos se definen P0, P1, P2, P3, P4 y P5, que son las probabilidades de ocurrencia anual de mareas de tormenta por tormentas tropicales, huracanes categoría 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente. Para el caso de huracán categoría 2 se tiene que $P2 = 0.15$.

Suponiendo que en la zona de interés sea posible incluir a todas las categorías de huracán, sería conveniente anotar en una tabla como la 2.8, en las primeras cinco columnas, información correspondiente a las probabilidades de ocurrencia anual de distintas clases de ciclones tropicales en la zona de estudio y las vulnerabilidades obtenidas apoyándose en los mapas de peligro y algunas características de las viviendas.

En las últimas cuatro columnas aparecen los productos de probabilidad por vulnerabilidad y las sumas de estos valores. Estas sumas corresponden al valor esperado de los daños en cada cuadrado.

Los daños por inundación pueden ser anotados en el plano que sirvió para construir los mapas de peligro y de esa manera construir el mapa de riesgo por inundaciones costeras. En la figura 2.44 se presenta un ejemplo de cómo quedaría el mapa de riesgo a partir del mapa de peligro de la figura 2.44.

En la tabla 2.8 se incluye los cocientes del costo esperado en cada cuadrado entre la suma de todos los valores esperados que aparecen en el renglón que dice *riesgo relativo*, ya que otra forma de representar el mapa de riesgo por inundaciones costeras consiste en anotar en él valores relativos al costo esperado de efectos máximos, y establecer algunos intervalos para calificar el grado de daños esperados.

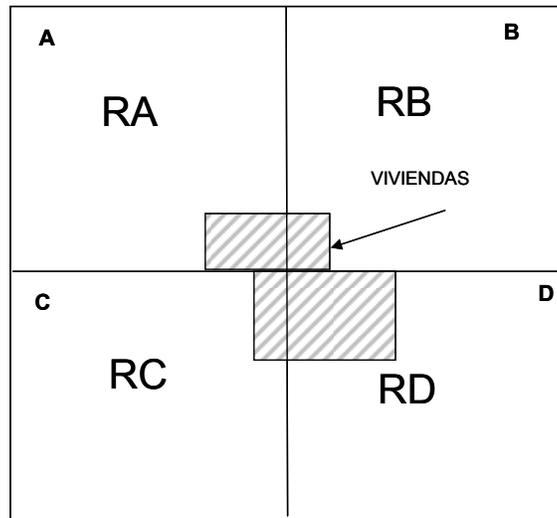


Figura 2.45 Mapa de riesgo por inundación costera

El grado de riesgo relativo en cada cuadrado podría mostrarse, por ejemplo, a intervalos entre 0 a 0.1 como riesgo mínimo e iluminar el cuadrado con gris; entre 0.1 y 0.3 como riesgo bajo y llenar con color azul el cuadrado; de 0.3 a 0.7 como riesgo moderado y colorear en verde el cuadrado; entre 0.5 a 0.7 como riesgo alto e ilustrar en naranja el cuadrado y de 0.7 a 1 como riesgo máximo con un sombreado con rojo. En la figura 2.46 se muestra una manera de cómo podría quedar el mapa de riesgo relativo de daño a las viviendas por inundación costera.

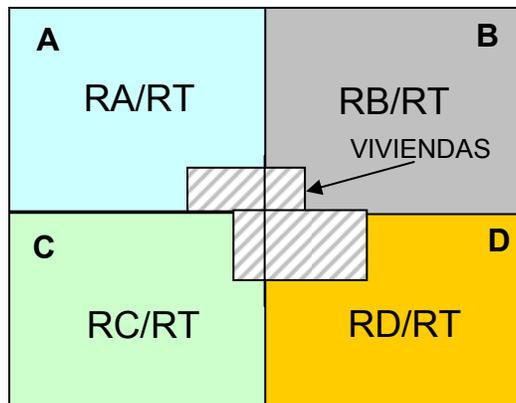


Figura 2.46 Mapa de riesgo relativo por inundación costera

Tabla 2.8 Cálculo del riesgo en cada cuadrado de las manas de neliaro

Categoría del ciclón	Probabilidad de ocurrencia	Vulnerabilidad Cuadro A		Vulnerabilidad Cuadro B		Vulnerabilidad Cuadro C		Vulnerabilidad Cuadro D		Riesgo Cuadro A	Riesgo Cuadro B	Riesgo Cuadro C	Riesgo Cuadro D										
		V0A	V1A	V2A	V3A	V4A	V5A	V0B	V1B	V2B	V3B	V4B	V5B	V0C	V1C	V2C	V3C	V4C	V5C	V0D	V1D	V2D	V3D
Tormenta tropical	P0					V0B	V0C	V0D		(P0)(V0A)	(P0)(V0B)	(P0)(V0C)	(P0)(V0D)										
Huracán categoría 1	P1		V1A	V2A	V3A	V4A	V5A	V1B	V1C	V1D	(P1)(V1A)	(P1)(V1B)	(P1)(V1C)	(P1)(V1D)									
Huracán categoría 2	P2			V2A	V3A	V4A	V5A	V2B	V2C	V2D	(P2)(V2A)	(P2)(V2B)	(P2)(V2C)	(P2)(V2D)									
Huracán categoría 3	P3				V3A	V4A	V5A	V3B	V3C	V3D	(P3)(V3A)	(P3)(V3B)	(P3)(V3C)	(P3)(V3D)									
Huracán categoría 4	P4					V4A	V5A	V4B	V4C	V4D	(P4)(V4A)	(P4)(V4B)	(P4)(V4C)	(P4)(V4D)									
Huracán categoría 5	P5						V5A	V5B	V5C	V5D	(P5)(V5A)	(P5)(V5B)	(P5)(V5C)	(P5)(V5D)									
Suma:										RA	RB	RC	RD										
Suma de riesgos:										RA/RT	RB/RT	RC/RT	RD/RT										
Riesgo relativo													RT=RA+RB+RC+RD										

CONCLUSIONES

Los mapas de riesgo que se pueden obtener con la metodología descrita pueden ser de gran utilidad en la reglamentación del uso de suelo en las zonas inundadas por marea de tormenta, o a encaminar acciones para mitigación del riesgo por parte de Protección Civil en las zonas con mayor probabilidad de sufrir daños.

Cuando se permite la construcción de viviendas en los sitios susceptibles a inundarse por marea de tormenta debe preverse en sus diseños que podría existir una inundación de cierta magnitud, para que los daños por este motivo sean nulos o mínimos. Una forma de hacerlo podría ser colocando el piso de las viviendas por encima de la elevación que alcanzaría el nivel del agua durante la marea de tormenta de huracanes categoría 2 y reducir al mínimo las construcciones en la primera franja adyacente a la costa.

Cuando se tenga información a un nivel de detalle, a una escala grande es recomendable emplear un Sistema de Información Geográfica y algún modelo matemático para calcular la marea de tormenta y realizar estimaciones más precisas de las zonas de inundación.

Se recomienda que se revise el trazo de las curvas de nivel de los planos de apoyo que se encuentran entre el nivel 0 y los 10 m. Es conveniente dibujarlas a cada metro desde la línea de costa hasta la de 10 m. Es muy importante conocer las elevaciones del piso de las viviendas para los municipios cuya elevación topográfica esté entre 0 y 10 m. En caso de tener duda de las zonas bajas, hacer un levantamiento topográfico en el lugar.

Para algunas costas del norte de México es importante la marea astronómica, cuyo ascenso máximo se debe adicionar al de la marea de tormenta.

La reforestación de la vegetación, como el caso del manglar en las márgenes de los ríos y los canales, así como frente a las costas reduce el efecto de la marea de tormenta y de las inundaciones. Si la vegetación de la costa es inexistente, se deberá utilizar la primera franja paralela a la costa para actividades recreativas relacionadas con la playa, y mantener sólo las instalaciones de servicio existentes y los espacios públicos con fines recreativos.

Los servicios básicos deberán ser concentrados hacia zonas más céntricas y alejadas de la costa y de los ríos.

En el futuro se deben obtener más funciones de vulnerabilidad que abarquen otros aspectos que pueden representar daños importantes, por ejemplo, sobre elementos estructurales tales como cimentaciones, muros o bien, elementos no estructurales como plafones, muros falsos, etc.

RECOMENDACIONES PARA REDUCIR DAÑOS POR MAREA DE TORMENTA

1. Difundir entre la población, la identificación de las zonas cercanas al mar, donde la elevación topográfica sea menor a 10 m, está expuesta a inundaciones por marea de tormenta.
2. En las viviendas ubicadas a menos de 5 m de elevación topográfica, tener previsto que pueden inundarse del orden de los 3.5 m, por lo que debe contarse con un plan alternativo para llevar muebles y equipos a elevaciones más altas.
3. En las construcciones ubicadas a menos de 5 m de elevación topográfica, tener previsto que pueden inundarse del orden de los 3.5 m, por lo que no deben instalarse plantas eléctricas ni otros equipos que puedan ser dañados por la acumulación de agua.
4. La población deberá dirigirse con anticipación hacia los refugios temporales y fuera de las zonas inundables, debido a que también se pueden presentar vientos intensos y lluvia fuerte.
5. La inundación costera puede contaminar las fuentes de agua potable, por lo que se debe prever una dotación suficiente de agua potable para 5 días o más.
6. Las construcciones habitacionales próximas al mar pueden estar expuestas a oleaje intenso durante el tiempo que el nivel medio del mar es alto, por lo que sería necesario evacuar a la población de estas zonas con suficiente antelación a la llegada del ciclón tropical.
7. Se debe tener cuidado con los muros o bardas de lindero cercanas a las construcciones porque tienen una alta probabilidad de socavación de sus cimientos y de ser derribados por el oleaje.
8. Prever que el nivel de la arena de la playa pueda disminuir en más de 1 m, lo que podría reducir el apoyo de los cimientos con el terreno.
9. Proteger la zona de cimentación más cercana al mar que pueda perder apoyo con el piso.
10. Evitar que las nuevas construcciones estén a menos de 3.5 m de elevación topográfica y considerar la llegada de olas a ellas cuando suba el nivel medio del mar del orden de los 3.5 m.
11. Conservar la vegetación original del lugar, sobre todo a elevaciones menores de 3.5 m.
12. Cuidar las zonas naturales de vegetación como manglares porque constituyen una defensa natural contra la marea de tormenta.
13. Conservar las dunas de arena que puedan existir en el lugar cercano al mar.
14. Revisar qué sucedería con la construcción en caso de que se incremente el nivel medio del mar hasta 3.5 m y ocurra una erosión de la playa, para que se disponga con suficiente anticipación de estructuras de protección adecuadas para la misma.
15. Disponer de mapas de peligro y riesgo de terrenos cercanos al mar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Coburn, A., R. Spence and A. Pomonis, "Vulnerabilidad y evaluación del riesgo". Programa de entrenamiento para el manejo de desastres. Cambridge, U.K., pp.69. 1991.
- De la Cruz-Reyna, S. "Propuesta de un código de alerta para potenciales erupciones del volcán Popocatepetl". Prevención, Cenapred, No.11, pp.8-10. 1995.
- Fuentes, O., V. Franco y L. Matías, "Guía metodológica para el análisis del peligro, vulnerabilidad, riesgo y pérdidas causadas por desastres naturales o antropogénicos y su reducción y prevención", SEGOB-UNAM, diciembre, pp. 99-132. 2003.
- Maisel Louis., "Probabilidad y estadística", Fondo Educativo Interamericano, S. A., U.S.A. 1977.
- Pérez-Hernández, A."El ordenamiento territorial en la reducción de los desastres naturales en las zonas costeras cubanas", Gaceta ecológica, 76, pp. 73-82. 2005.
- Pielke, R. Jr. And Pielke, R. Sr. "Hurricanes Their Nature and Impacts on Society". John Wiley and Sons. England. pp. 279. 1997.
- Rosengaus, M., M. Jiménez y Ma. Vázquez. "Atlas climatológico de ciclones tropicales en México", Cenapred-IMTA. México, pp. 106. 2002.
- Roze, J. "Crisis, vulnerabilidad y desastres". La globalización en regiones periféricas de América Latina. Argentina. 1999.
- Salas M. y M. Jiménez. Fascículo "Inundaciones", Cenapred. México, pp. 53. 2004.
- Salas, I., R. Pérez, O. García, C. Rodríguez, A. Pérez, "Mapa de peligro por surgencias de ciclones tropicales". Boletín de SOMETCUBA, Vol.4, No. 1. 1998

ANEXO 1

CÁLCULO DE PELIGRO Y RIESGO POR PRESENCIA DE CICLONES TROPICALES

CÁLCULO DE PELIGRO Y RIESGO POR PRESENCIA DE CICLONES TROPICALES

Registro de ciclones tropicales

Los ciclones tropicales se caracterizan por una circulación cerrada de sus vientos y se dividen en fases de acuerdo con su viento máximo sostenido en superficie (VMS). Conforme a la escala Saffir-Simpson se obtiene que:

Tabla A.1

Notación	Descripción	VMS (km/h)
D.T.	Depresión tropical	<63
T.T	Tormenta tropical	63-118
H1	Huracán categoría 1	119-153
H2	Huracán categoría 2	154-177
H3	Huracán categoría 3	178-209
H4	Huracán categoría 4	210-249
H5	Huracán categoría 5	>249

Para conseguir los registros de ocurrencia de ciclones tropicales se realizó una búsqueda de las trayectorias de ciclones tropicales dentro de una malla abarcando a toda la República Mexicana y una parte de los océanos que la rodean. La malla en la latitud norte comprende de los 13° a los 33° y en longitud oeste de 80° a 120°.

La exploración se realizó con un programa en Visual Basic en ambiente de sistema de información geográfico (SIG). Se emplearon dos capas en formato shape, que previamente fueron generadas en el programa “Busca Ciclones” para los siguientes periodos en el océano Atlántico de 1851 al 2005 (155 años) y en el océano Pacífico de 1949 al 2005 (57 años).

La búsqueda consistió en contar el número de trayectorias de los ciclones tropicales que pasaron dentro de un cuadro, como se ejemplifica en la figura A1, cuyos lados son de un grado de longitud (en coordenadas geográficas); en el caso de que la trayectoria tuviera diferentes intensidades se tomaba la de mayor intensidad, por ejemplo dentro del cuadro de la figura A1, se puede observar una trayectoria con 3 intensidades: depresión tropical, tormenta tropical, y huracán categoría 1, entonces dentro del conteo sólo se consideraba un evento como huracán categoría 1.

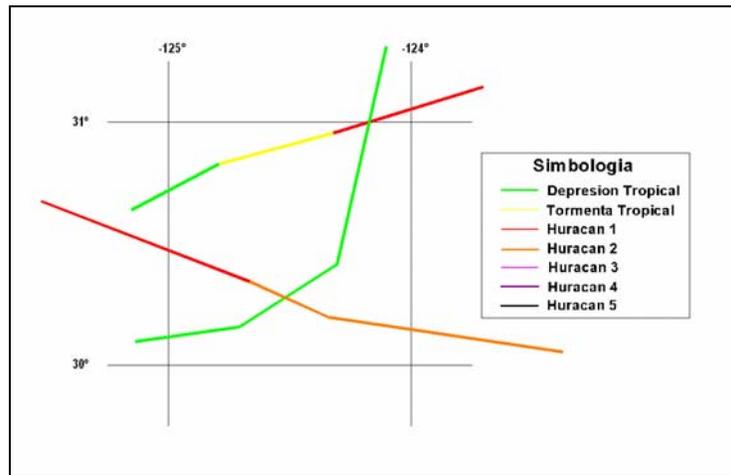


Figura A.1

Con el programa anterior se obtuvo una tabla con las coordenadas del centro del cuadro, el conteo para las siete categorías del ciclón tropical y el periodo de registro de la base de datos para cada cuadro.

En la tabla A.2, se muestra como ejemplo, la estadística de la cantidad de excedencias de velocidad de vientos ocurridos durante el periodo de 1949 al 2005 (57 años) en el suroeste del estado de Sinaloa (Longitud -106.5, Latitud 23.5) clasificados por su intensidad.

Tabla A.2

Intensidad i	Categoría	M_i
1	DT	2
2	TT	6
3	H1	7
4	H2	1
5	H3	1
6	H4	1
7	H5	0
	Total	18

donde M_i es el número de eventos de intensidad i máxima alcanzada por un evento, para este caso es el VMS de cada categoría.

Tasa de excedencia $v(i)$

A partir de la tabla A.2 se calculó la tasa de excedencia de intensidad $v(i)$, la cual registra todos los niveles de intensidad i excedidos durante un evento, es decir, si se llegó a un VMS de intensidad i (M_i), se registran los niveles de intensidad menores rebasados durante el mismo evento. Por ejemplo, si se tiene un VMS de intensidad 7 (H5, M_i) se registra también la ocurrencia del mismo evento para las intensidades inferiores, es decir, si se tienen 6 eventos con intensidad 2, y 2

con intensidad 1 (tabla A.2), entonces conforme a la tasa de excedencia se tuvieron 8 casos de intensidad 1, y 6 de intensidad 2.

Para obtener la tasa de excedencia por medio de registros como el de la tabla A.2, se usa la siguiente expresión:

$$v(i) = \begin{cases} \sum_{j=0}^{N-i} (M_{N-j}) \\ 0 \text{ otro caso} \end{cases} \quad (A1)$$

donde N es nivel máximo de intensidad i que se puede alcanzar. Conforme a la tabla A.1, se tiene que:

$$v(1) = \sum_{j=0}^6 M_{7-j} = M_7 + M_6 + M_5 + M_4 + M_3 + M_2 + M_1 = 0 + 1 + 1 + 1 + 7 + 6 + 2 = 18$$

$$v(2) = \sum_{j=0}^5 M_{7-j} = M_7 + M_6 + M_5 + M_4 + M_3 + M_2 = 0 + 1 + 1 + 1 + 7 + 6 = 16$$

$$v(7) = \sum_{j=0}^0 M_{7-j} = M_7 = 0$$

Los resultados anteriores corresponden a un periodo de 57 años; así conviene manejar una tasa de excedencia anual, y se procede a dividir entre 57 los resultados obtenidos. La tasa de excedencia queda de la siguiente manera:

Tabla A.3 Tasa de excedencia

Intensidad i	$v(i)$
1	0.316
2	0.281
3	0.175
4	0.053
5	0.035
6	0.018
7	0
8	0

En la tabla anterior se incluyó una intensidad adicional $i = 8$ con el fin de utilizar correctamente la definición de función de peligro.

Como se puede observar en la tabla A.1, $v(i)$ es decreciente con la intensidad.

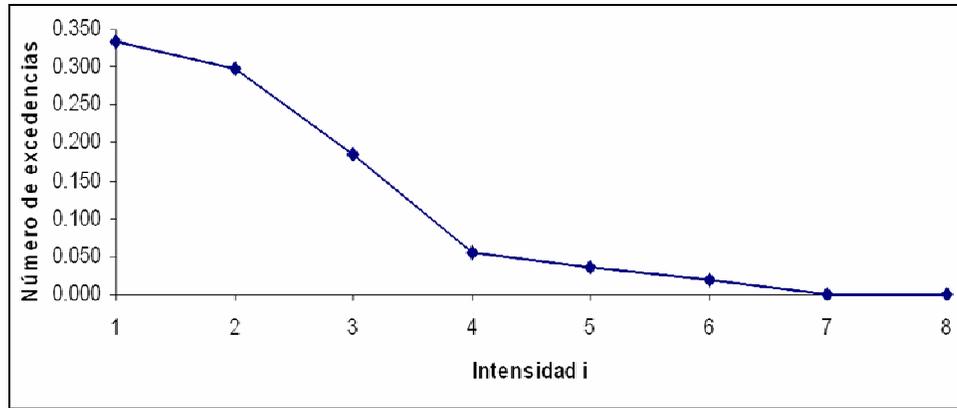


Figura A.2 Tasa de excedencia $u(i)$

Ahora se procederá a calcular el peligro y los periodos de retorno por intensidad.

Peligro

En vista de su definición, la densidad de probabilidades de las intensidad, $p(i)$, puede obtenerse derivando $v(i)$ de derecha a izquierda y normalizando posteriormente:

$$p(i) = -k \frac{dv(i)}{di} \quad (\text{A2})$$

Donde la constante k es tal que $p(i)$ integra 1. Nótese que $dv(i)/di$ es proporcional al número de eventos con intensidad igual a i o, más rigurosamente, con intensidad entre i e $i+di$.

De la expresión (A2) resulta que:

$$p(i) = -k \frac{dv(i)}{di}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(i) di = -k \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dv(i)}{di} di$$

$$1 = -k \int_1^{v_1} \frac{dv(i)}{di} di$$

$$1 = -k[v(i)]_1^8$$

$$1 = -k[v(8) - v(1)]$$

$$1 = k(0.316)$$

$$k = \frac{1}{0.316}$$

En general, se tiene que:

$$k = \frac{1}{v(1)} \quad (\text{A3})$$

La función de peligro queda de la siguiente forma:

$$p(i) = -\frac{1}{0.316} \frac{dv(i)}{di} \quad (\text{A4})$$

La probabilidad de que se presente un evento que exceda la intensidad i , sin que avance al siguiente nivel está dado por:

$$P(i) = -\frac{1}{0.316} \int_i^{i+1} \frac{dv(i)}{di} di \quad (\text{A5})$$

Para el caso de $i = 1$ se tiene

$$P(1) = -\frac{1}{0.316} \int_1^2 \frac{dv(i)}{di} di$$

$$P(1) = -\frac{1}{0.316} [v(2) - v(1)]$$

$$P(1) = -\frac{1}{0.316} [-0.0370] = 0.1111$$

Para el caso de $i = 7$ resulta:

$$P(7) = -\frac{1}{0.316} \int_7^8 \frac{dv(i)}{di} di$$

$$P(7) = -\frac{1}{0.316} [v(8) - v(7)]$$

$$P(7) = -\frac{1}{0.316} [0] = 0$$

El peligro queda de la siguiente manera:

Tabla A.4

Intensidad i	$P(i)$
1	0.1111
2	0.3333
3	0.3889
4	0.0556
5	0.0556
6	0.0556
7	0
8	0
Σ	1

Periodo de retorno

El periodo de retorno se define como el promedio de tiempo en que vuelve a ocurrir la excedencia de cierta intensidad i . Se obtiene este promedio a través del cálculo del recíproco de la tasa de excedencia, entonces:

$$Tr(i) = \frac{1}{v(i)} \quad (A6)$$

Para este caso, tenemos los siguientes resultados:

Tabla A.5 Periodos de retorno

Intensidad i	$Tr(i)$ (años)
1	3.2
2	3.6
3	5.7
4	19.0
5	28.5
6	57.0
7	-

Riesgo

Desde el punto de vista de pérdida, el riesgo puede verse como la combinación de tres factores importantes: el costo o valor de los bienes expuestos a un evento, por su nivel de vulnerabilidad o daño ante el evento en acción, por la probabilidad de que el evento ocurra. De lo anterior, es posible expresar al riesgo como:

$$R = C P V \quad (A7)$$

donde C = Valor de los bienes expuestos, P = Peligro, y V = Vulnerabilidad

Con la expresión se obtiene el riesgo ante la ocurrencia de un evento con cierta intensidad, sin embargo, para medir el riesgo será preferente tomar el promedio de daños esperados cuando ocurra un evento, es decir, obtener el riesgo ante el próximo evento.

El valor de los bienes expuestos y la vulnerabilidad

Se entiende por valor de los bienes expuestos (C en la ecuación A.7) a la cuantía de lo que es susceptible de afectarse durante la ocurrencia de un fenómeno perturbador. En muchos casos C tiene unidades monetarias, sin embargo, habrá ocasiones en que se necesite expresar C de otra forma, por ejemplo si lo susceptible de afectarse son vidas humanas, sus unidades serán el número de vidas.

La vulnerabilidad es una medida de qué tan susceptible es un bien expuesto a la ocurrencia de un fenómeno perturbador. De dos bienes expuestos uno es más vulnerable si, ante la ocurrencia de fenómenos perturbadores con la misma intensidad, sufre mayores daños. La vulnerabilidad suele expresarse como un número entre 0 y 1, donde 0 implica que el daño sufrido ante un evento de cierta intensidad es nulo, y 1 implica que este daño es igual al valor del bien expuesto. La vulnerabilidad puede representarse con una función matemática o en forma de una tabla llamada matriz de vulnerabilidad.

Cálculo del riesgo

Si se propone una función de tasa de vulnerabilidad $V(i)$, como se muestra en la tabla A.5, el riesgo se podrá calcular como se describe a continuación.

Tabla A.6 Vulnerabilidad

Intensidad i	$V(i)$
1	0
2	0.005
3	0.01
4	0.06
5	0.18
6	0.52
7	0.72

El riesgo ante el próximo evento

El riesgo ante el próximo evento es la suma de los asociados a los diferentes niveles de intensidad. De la ecuación (7) se suman los riesgos para cada intensidad, y se llega a:

$$R_p = C \sum_{i=1}^n P(i)V(i) \quad (\text{A8})$$

Sí $C=\$1.00$, se tiene que

$$R_p = \sum_{i=1}^7 P(i)V(i) = \$0.0478$$

El resultado anterior significa que para un evento cualquiera, el valor del riesgo será de \$0.048 por cada unidad monetaria de los bienes expuestos ante el fenómeno analizado. Por ejemplo, si el valor total de la edificación vale un millón de pesos, el riesgo ante un evento cualquiera será de $R_p = 1,000,000 \times 0.048 = \$48,000$.

El riesgo anual

Ahora bien, si se desea obtener el riesgo anual, se deberá multiplicar la ecuación de riesgo por el valor esperado de huracanes que ocurren al año, que para este caso es 0.3333.

$$R_a = v(1)(R_p) = v(1) \left(C \sum_{i=1}^n P(i)V(i) \right) \quad (\text{A9})$$

Sí $C=\$1.00$, resulta que

$$R_a = 0.333 \sum_{i=1}^7 P(i)V(i) = \$0.01508$$

Suponiendo que se tiene un bien con valor de \$100,000 en la zona geográfica analizada anteriormente, entonces la pérdida promedio por la ocurrencia de un ciclón tropical es $0.0478 \times 100000 = \$4,780$.

GLOSARIO

Amplitud de marea: Altura que puede alcanzar la sobreelevación del nivel medio del mar.

Batimetría: Representación de las profundidades de los cuerpos de agua, que tiene como fin determinar el relieve del fondo marino.

Campo de viento: Es el patrón o distribución del viento dentro de la zona de influencia del ciclón tropical.

Carta batimétrica: Representación en un plano de la configuración del fondo de un cuerpo de agua, obtenida por medio de sondeos, líneas de contorno y tintas batimétricas.

Ciclón: Zona de perturbación atmosférica caracterizada por fuertes vientos que fluyen alrededor de un centro de baja presión. En el hemisferio norte el viento circula en sentido contrario a las manecillas del reloj y en el hemisferio sur a la inversa.

Costa: Región de confluencia del mar y la tierra, de extensión variable a causa de la acción del mar.

Curva de nivel: Línea continua que forma una figura de la superficie del relieve. Todos los puntos de la curva de nivel están unidos a la misma elevación.

Depresión tropical: Etapa inicial de un ciclón tropical en la que se le asigna un número. Sus vientos son menores que los 62 km/h.

Dirección de traslación: Ángulo respecto al norte, que se mide en dirección de las manecillas del reloj (azimut) y que sirve como referencia al desplazamiento del ciclón tropical, de un punto a otro en su trayectoria.

Dirección del viento: Es el ángulo que forma la trayectoria del viento respecto al norte.

Energía: Trabajo mecánico desarrollado por el viento, es proporcional al cuadrado de su velocidad.

Energía del viento: Energía que es proporcional al cuadrado de la velocidad.

Escala Saffir-Simpson: Es la escala potencial de daños relacionada con cinco intensidades de huracán. Determina la velocidad del viento según la categoría de huracán, adicionalmente se asigna la presión central y la marea de tormenta que corresponde a la magnitud del viento típica de cada intensidad de huracán.

Hemisferio boreal: Es la parte norte de la Tierra que se obtiene al dividirse por el ecuador.

Huracán: Es la etapa más crítica de un ciclón tropical, con alto grado de destrucción, después de ser tormenta tropical. El huracán tiene a su vez, cinco grados de intensidad con velocidades que varían entre los 118 y más de 250 km/h.

Isobara: Línea que une puntos de igual valor de presión atmosférica.

Magnitud del viento: Es el valor de la velocidad del viento.

Marea astronómica: Movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso del nivel de las aguas de los mares y océanos, resultado de la atracción, por gravedad de La luna y del Sol. Este ciclo se repite cada 12 horas y 25 minutos, llevándose a cabo un desplazamiento horizontal de los límites del agua: el máximo o ascenso se denomina pleamar o marea alta, y el mínimo bajamar o marea baja.

Marea de tormenta: Ascenso del nivel medio del mar, producido por la disminución de la presión atmosférica del centro del ciclón y los vientos de éste sobre la superficie del mar.

Marea: Movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso del nivel de las aguas de los mares y océanos, resultado de la atracción, por gravedad de La luna y del Sol.

Milibar: Unidad de presión igual a la milésima parte de un bar. Es la unidad de presión atmosférica en el sistema c.g.s y la que emplean comúnmente los meteorólogos para trazar las cartas meteorológicas, representándose las isobaras con intervalos de dos milibares.

Nivel medio del mar: Plano de referencia o nivel cero, utilizado como base para la medición de altitudes y profundidades.

Ojo del ciclón tropical: Zona de calma del ciclón, caracterizada por ausencia de viento y lluvia.

Oleaje: Sucesión continua de olas.

Periodo de retorno: Es el tiempo promedio en que un evento excede un umbral determinado.

Presión atmosférica: Acción que ejerce la masa de la atmósfera sobre la Tierra y los objetos que se encuentran en ella.

Presión central: Es la presión registrada en el centro del ojo del huracán.

Probabilidad de ocurrencia: Es el número de casos favorables entre el número total de casos posibles en un suceso aleatorio.

Radio de máximo viento: Región donde se presentan los valores máximos de velocidades de viento.

Sentido del viento: Hacia donde avanza el viento.

Tasa de excedencia: Registro del conteo de eventos que rebasan un umbral de velocidad del viento.

Tormenta tropical: Categoría del ciclón tropical que alcanza después de ser depresión tropical a partir de ésta recibe un nombre propio. Puede alcanzar velocidades entre 62 y 118 km/h.

Tsunami: Ola marina de gran magnitud producida por un maremoto o por una erupción volcánica en el fondo del mar. Esta ola puede recorrer grandes distancias. Su altura en altamar es aproximadamente de 30 centímetros pero al llegar a la costa puede alcanzar 30 metros o más.

Valor esperado: Es el daño promedio ocasionado por la ocurrencia de un evento.

Velocidad de desplazamiento del ciclón tropical: Es la velocidad con la que se traslada un ciclón de un punto a otro en su trayectoria.

Velocidad del viento máximo sostenido: Representa los vientos más intensos que suceden precisamente sobre el borde derecho del ojo del huracán. El calificativo de velocidad máxima se refiere al máximo con respecto a la distribución en planta del viento sostenido.

Viento máximo sostenido: Es el viento promedio medido durante un minuto a una altura aproximada de 10 metros sobre la superficie.

Viento: Moviendo del aire de la atmósfera determinado, por su magnitud o intensidad, su dirección y sentido.

III 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*

RESUMEN

En este documento se analiza el tema de las bajas temperaturas y nevadas, las cuales se presentan en varias regiones del país y que año con año producen daños a la población y a sus viviendas. También se propone un método para evaluar primeramente, el peligro y la vulnerabilidad a estos fenómenos y, después, se sugiere una manera de estimar el riesgo por daños a la salud o a las viviendas, en el caso de las nevadas. Un obstáculo para realizar lo anterior es la falta de registros de temperaturas horarias y de espesores de nevadas, por lo que en este capítulo se enfatiza la necesidad de reforzar más el monitoreo y las mediciones de estas variables para establecer en el futuro umbrales de peligro con menos incertidumbre, que puedan permitir realizar una estimación más confiable del riesgo. Un papel muy importante será el de las unidades estatales y municipales de Protección Civil de toda la República Mexicana, que coadyuvarán precisamente al impulso del monitoreo de estos fenómenos en aquellas localidades con problemas recurrentes derivados de la época invernal, utilizando los conceptos básicos de este capítulo y los recursos disponibles de Prevención en sus áreas de trabajo, y en el caso que se requiera, con la asesoría del Cenapred.

3.1 INTRODUCCIÓN

En algunos países el fenómeno de las bajas temperaturas, o frío, como se le conoce comúnmente, es tan frecuente que la gente está acostumbrada a vivir con él; en cambio, en otros, sobre todo aquellos de latitudes tropicales, ocurren ocasionalmente, por lo que toma desprevenida a la población. Aunque, si existen zonas montañosas, es posible que aun en estos países haya poblaciones sujetas a bajas temperaturas gran parte del año, incluso con presencia de nevadas.

Las bajas temperaturas y los fenómenos relacionados con ellas pueden causar varios problemas en los países afectados, principalmente en la salud de la población, así como para sus animales domésticos y cultivos; también, pueden entorpecer el funcionamiento de la infraestructura, como los caminos, que se hacen inseguros por el hielo o la nieve acumulada en el pavimento y pueden ocasionar accidentes.

La República Mexicana se caracteriza por una diversidad de condiciones de temperatura y humedad. Por su ubicación geográfica se encuentra entre dos regiones climáticas, la templada al norte del trópico de Cáncer y la tropical, al sur de éste. Debido a la forma del relieve, la altitud, extensión territorial y su localización entre dos océanos se producen diversos fenómenos atmosféricos, según la época del año; por ejemplo, en el invierno que es frío y seco, el país se encuentra bajo los efectos de las masas polares y frentes fríos, que ocasionan bruscos descensos de temperatura, acompañados generalmente de problemas en la salud de la población.

En México, los descensos de temperatura son más evidentes en las zonas de la sierra, principalmente en la de San Pedro Mártir, en Baja California, así como en los estados de Chihuahua y Durango; sin embargo, también ocurren en la región centro en los alrededores del volcán Nevado

de Toluca, el Ajusco y la Sierra Nevada, y en algunas porciones de la Sierra Madre Oriental, como en la sierra de los Tuxtlas, en las cercanías de los volcanes Pico de Orizaba y Perote.

De acuerdo con estadísticas se pueden ubicar regiones donde es más común la incidencia de las bajas temperaturas expresadas como el fenómeno de las heladas (figura 3.1). Se observa que existe estrecha relación de las zonas más frías respecto de los sistemas orográficos (figura 3.2).

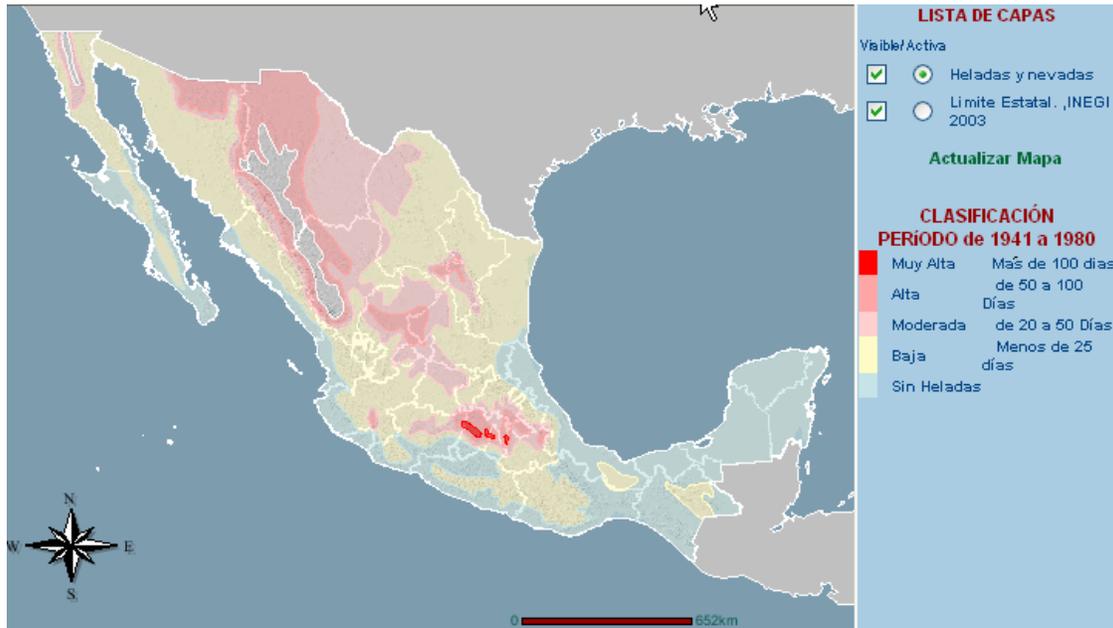


Figura 3.1 Zonificación de heladas en México
 (<http://atl.cenapred.unam.mx/website/RiesgosHidrometeorologicos/Heladas/viewer.htm>)

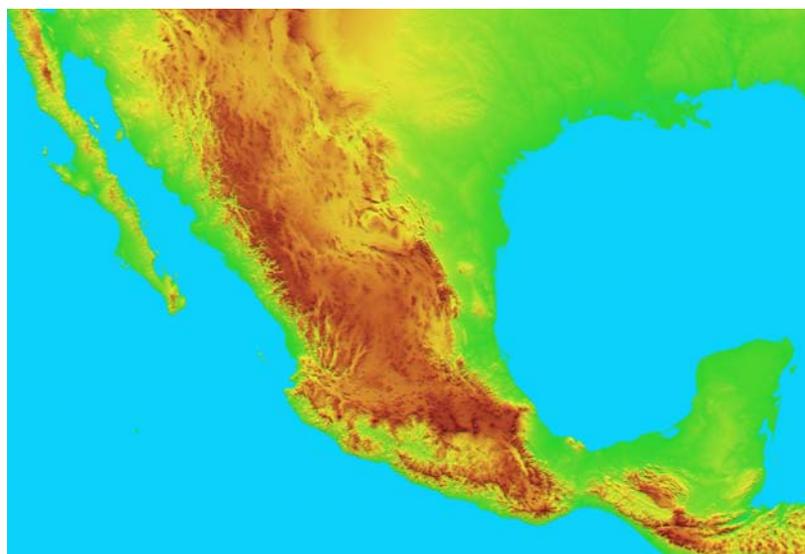


Figura 3.2 Relieve de la República Mexicana (INEGI, 2000)

Por otro lado, las nevadas son una de las manifestaciones en que puede ocurrir una precipitación (figura 3.3). Éstas se presentan cuando la temperatura en la atmósfera, al nivel superficial, es igual o menor de los 0° centígrados, además de otros factores, como es el viento, principalmente su componente vertical, y la humedad, entre otras. Su estructura consiste en cristales de hielo que se unen para formar los copos de nieve, los cuales sufren transformaciones desde su precipitación hasta su fusión, por lo que las características tanto físicas como químicas de la nieve varían con respecto al tiempo.



Figura 3.3 Nevada en San Pedro Mártir, Baja California
(Fuente: Hayde Bustamante)

Debido a la situación geográfica de nuestro país son pocas las regiones que padecen de nevadas, siendo más acentuado este fenómeno en regiones altas, como montañas o sierras, principalmente, durante el invierno. Un caso extraordinario ocurrió en el invierno de 1967, donde aproximadamente el 50% del territorio nacional resultó afectado por una nevada, incluso en el valle de México.

Históricamente las zonas donde su ocurrencia es más frecuente son los volcanes del Pico de Orizaba, Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Nevado de Toluca, así como en las sierras de Chihuahua, Durango, Sonora, Coahuila, Baja California y Nuevo León, y en menor frecuencia en la zona del Bajío (Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y Jalisco), así como en las faldas del Nevado de Toluca y las partes altas del valle de México, como es el Ajusco.

Los efectos negativos de las nevadas en la población son, por un lado, las bajas temperaturas que se asocian a ellas, que pueden provocar enfermedades en las vías respiratorias, o en el peor de los casos, muerte por hipotermia, así como el colapso de los techos en las casas endeble debido al sobrepeso de la nieve, el cierre de caminos y aeropuertos, la consecuente incomunicación de estas poblaciones, la suspensión de actividades y el congelamiento de tuberías de abastecimiento, además de los daños a los campos de cultivo.

Para la elaboración de mapas de riesgo por bajas temperaturas y nevadas es imprescindible estimar la vulnerabilidad de las poblaciones expuestas a estos fenómenos. La estimación de la vulnerabilidad sólo será posible con el conocimiento de la población afectable y sus características socioeconómicas, mientras que el peligro por bajas temperaturas requerirá de la zonificación de éstas, así como de un tratamiento probabilístico en el que destaque su intensidad, es decir, su valor y duración bajo un umbral determinado.

En el caso de regiones susceptibles a la ocurrencia de nevadas, también será importante la vulnerabilidad de la vivienda de la población.

La presente 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. Adicionalmente se analizará la manera de identificar el peligro, el criterio de evaluación de la vulnerabilidad y la estimación del riesgo.

3.1.1 Características de los parámetros de las bajas temperaturas y nevadas

Radiación y capacidad térmica del suelo

El término “albedo” (*del latín albēdo, blancura*) se utiliza para medir la capacidad de reflexión de la luz de una superficie, y puede tomar valores entre cero (no hay reflexión) y uno (todo se refleja); depende de muchos factores como el ángulo de la radiación o la temperatura y humedad del material. El albedo también es un factor importante en lo que se refiere al tema de las nubes.

El agua tiene un albedo muy pequeño, es decir, su capacidad para reflejar la luz es baja, por eso absorbe una gran cantidad de la radiación solar que la toca, por lo que su capacidad térmica es alta. Es por ello que la superficie del mar tarda mucho tiempo en calentarse, en comparación con la superficie de la tierra. Por consiguiente, la pérdida de calor del mar en invierno tarda más que la de la tierra. Esto se debe a la alta capacidad de conducción calórica del agua, así el calor llega hacia capas más profundas.

Por lo anterior se puede decir que el mar funciona como un gran almacén de calor. Absorbe mucha radiación en verano y la conduce hacia capas más profundas. De esta manera el mar está más frío que la tierra durante el verano. Pero el calor no se pierde tan rápidamente, así que el agua permanece más caliente durante el invierno que la tierra.

Otro ejemplo es la arena. Tiene un albedo medio, así que una parte de la radiación solar está absorbida. Pero la capacidad de conducción calórica o térmica es muy baja en la arena, así como su capacidad térmica, por lo que el calor absorbido se queda en la capa superficial y la arena se puede calentar muy rápidamente. Este fenómeno se siente en verano en la playa donde casi no es posible caminar sin sandalias por el calor de la arena. Pero si se cava sólo hasta una profundidad de unos centímetros la arena ya está mucho más fría. En la noche se muestra la situación contraria: como el calor está almacenado sólo en las capas muy cerca de la superficie, la pérdida de calor también ocurre en forma muy rápida. Por eso las noches en el desierto son frías, en comparación con las temperaturas altas del día.

La nieve también es un material con características térmicas muy interesantes. Su albedo es muy alto, es decir, gran parte de la radiación solar es reflejada. Además, por su capacidad de conducción calórica relativamente alta, la radiación solar que absorbe la nieve está repartida en una capa gruesa, por esta razón la superficie de la nieve está muy fría. Si la temperatura en la atmósfera se incrementa hasta más de 0° centígrados, la superficie de la nieve permanece a 0° C hasta que toda la nieve se derrite.

Existe una correlación entre la presencia de nieve y las bajas temperaturas en una región: antes de una nevada las temperaturas bajan. Por el albedo alto de la nieve se refleja gran parte de la radiación solar, lo que provoca que las temperaturas desciendan más, favoreciendo la caída de más nieve. Cuando la temperatura aumenta, la nieve se funde. Entonces baja el albedo del suelo, así que una mayor parte de la radiación solar es absorbida, lo que conduce a un incremento de la temperatura.

En la tabla 3.1 se muestra el rango de valores del albedo para diferentes superficies.

Tabla 3.1 Varios tipos de suelo con valores de albedo y capacidad térmica

Superficie	Albedo	Capacidad térmica [J / kg K]
Bosque	0.05 – 0.18	
Hierba	0.05 – 0.30	
Granito	0.30 – 0.35	710
Arena	0.20 – 0.40	920
Nieve	0.80 – 0.90	2090
Agua	0.03 – 0.22 (agua del mar: 0.35)	4180

Radiación solar

La radiación solar sobre la superficie de la tierra está en función de la latitud. En los trópicos, donde el Sol está en el cenit, la Tierra recibe más radiación que en las regiones situadas hacia los polos. Sobre todo, la intensidad de la radiación es más alta hacia los trópicos.

La cantidad de horas con sol es casi igual en los trópicos aunque cambia hacia los polos. En la zona polar existe el día y la noche polares, es decir el Sol no se pone durante varios meses en verano y no aparece durante varios meses en invierno; sin embargo, las temperaturas siempre son muy bajas y sólo cambia la intensidad del frío.

Para determinar la temperatura es más importante la intensidad de la radiación. Por eso, las regiones cercanas a los trópicos reciben más calor que otras partes del mundo. Sin la influencia del mar (descrita arriba) la distribución de las temperaturas sería paralela con las líneas de la misma latitud, las temperaturas altas hacia los trópicos y las temperaturas bajas hacia los polos. Pero con los dos factores (mar y tierra) juntos se forma un esquema más complejo.

En invierno ocurren las temperaturas más altas en el suroeste de los continentes y las más bajas en el noreste. En la zona de los vientos del Oeste, por ejemplo, las líneas de misma temperatura son diagonales, inclinadas del noroeste al sureste en invierno y del suroeste al noreste en verano. En una zona de vientos del Este sería al revés. Estas condiciones cambiarían si hubiera hielo en el mar, ya que al estar el agua aislada de la tierra (por la capa de hielo) dejaría de calentar el agua a la tierra. Podría concluirse que la temperatura está en función de la latitud y de la distancia al mar, aunque existen otros factores que también tienen una influencia importante.

Altura sobre el nivel del mar

La altura sobre el nivel del mar es un factor importante, ya que al disminuir la densidad del aire con la altura provoca la disminución de la temperatura (aproximadamente 5° centígrados por un kilómetro de altura). A medida que aumenta la elevación sobre el nivel del mar, al aire le cuesta más trabajo expandirse por lo que se va enfriando al perder energía en forma de calor. Por este efecto hay nieve en las montañas más altas, incluso dentro de la zona tropical (figura 3.4).



Figura 3.4 Nieve en la sierra de San Pedro Mártir, Baja California
(Fuente: Hayde Bustamante)

La tabla 3.2 muestra la altura sobre el nivel del mar, latitud y temperatura promedio de algunos lugares de México.

Tabla 3.2 Comparación de temperaturas promedio en algunas ciudades en México

Ciudad	Altura [m]	Latitud [° N]	Temperatura [° C]
Oaxaca	1,563	17.1	+20.5
Puebla	2,150	19.0	+16.3
Veracruz	13	19.2	+25.3
Ciudad de México	2,308	19.2	+16.5
Guadalajara	1,589	20.7	+19.5
Monterrey	534	25.7	+22.0

En la tabla anterior se puede observar que existe una relación entre la altura y la latitud que define la temperatura para una cierta región. Por ejemplo, en Veracruz hace más calor que en Puebla, aunque esta última está situada un poco más al sur, esto se debe a la altura sobre el nivel del mar.

Topografía

La topografía del terreno ejerce una influencia importante. En los valles y las hondonadas hace más frío en la noche que en lo alto de los cerros, porque en la noche desciende el aire frío producido por la pérdida radiativa de la tierra, y se acumula en los valles y las hondonadas. Durante el día están protegidos contra el viento, así que la temperatura se incrementa en comparación con la de las montañas. A medida que avanza el día, la amplitud de la oscilación de temperatura es más alta en los valles que arriba de los cerros. A veces, en invierno la radiación solar es tan baja o la tierra nevada absorbe tan pequeña cantidad de ella que, incluso, durante el día las temperaturas en los valles son más bajas.

En las zonas templadas y polares es importante la diferencia entre una inclinación hacia el sur y una inclinación hacia el norte de los rayos solares. Como el sol nunca está en el cenit siempre su radiación viene de la dirección del sur en el hemisferio del norte, es decir, inclinaciones hacia el sur son más cálidas que inclinaciones hacia el norte, por eso en la cara norte de las montañas permanece más tiempo la nieve.

La topografía tiene gran influencia sobre la dirección del viento. Las grandes montañas, e incluso pequeños cerros, forman barreras para el viento. Por otra parte, en valles y hondonadas la fuerza del viento aumenta como en una tobera.

Viento y advección

El viento ayuda a impedir que se formen temperaturas extremas en capas bajas de la atmósfera, las corrientes verticales mezclan el aire frío, cerca de la superficie, con aire más caliente, en capas superiores. Además, la turbulencia del viento también mezcla el aire continuamente. Si no hay viento es más probable que desciendan las temperaturas cerca de la superficie hasta un valor extremo. El viento relacionado con bajas temperaturas provoca que el frío sea más peligroso para la gente, esta relación se llama “wind chill” y afecta únicamente a los humanos, con objetos inanimados el efecto es diferente.

Otro aspecto importante es la advección, o sea el desplazamiento horizontal de una masa de aire hacia una zona en que las propiedades térmicas o de humedad son distintas. Si la temperatura del aire transportado por el viento es más alta que la de su alrededor se llama advección de aire caliente, en caso contrario es advección de aire frío.

Un ejemplo donde este efecto desempeña un papel muy importante es Europa. Está situada en la región de los vientos del Oeste, vientos que vienen del mar y de la Corriente del Golfo, donde absorben mucho calor. Esta advección de aire caliente es responsable del clima templado de Europa. En cambio, el norte de América (en regiones de la misma latitud) hace mucho más frío que en Europa porque los vientos traen aire frío del noroeste.

Nubosidad

Por último, la nubosidad ejerce una influencia grande sobre las temperaturas. El efecto de las nubes sobre el balance radiativo del suelo es complejo ya que depende, entre otras cosas, de la forma y altura de las nubes, si éstas están formadas por gotas de agua o cristales de hielo, por el tamaño y número de gotas de agua dentro de ellas, así como por la cantidad de radiación solar en comparación con la radiación terrestre.

Las nubes sirven para retener gran parte del calor que, de otro modo, se perdería para la tierra en forma de radiación. Además de intervenir en la transmisión de radiación, las nubes actúan como reservorios térmicos temporales, debido a que absorben cierta proporción de la energía que interceptan.

Las nubes altas normalmente tienen un efecto de calentamiento que se llama efecto invernadero, porque dejan pasar la radiación solar pero absorben la radiación terrestre, enviando parte de ésta hacia el suelo. En cambio, las nubes bajas y, sobre todo, nubes con gran espesor (figura 3.5), tienen el efecto de enfriar, porque reflejan o absorben la radiación solar. Por ejemplo, cuando el cielo está despejado durante la noche, el suelo pierde energía muy rápidamente por la irradiación hacia el espacio, lo que precisamente pasa en los desiertos, donde no hay una humedad atmosférica suficientemente alta para que puedan formarse nubes, provocando que las noches en los desiertos sean frías y los días muy calurosos.

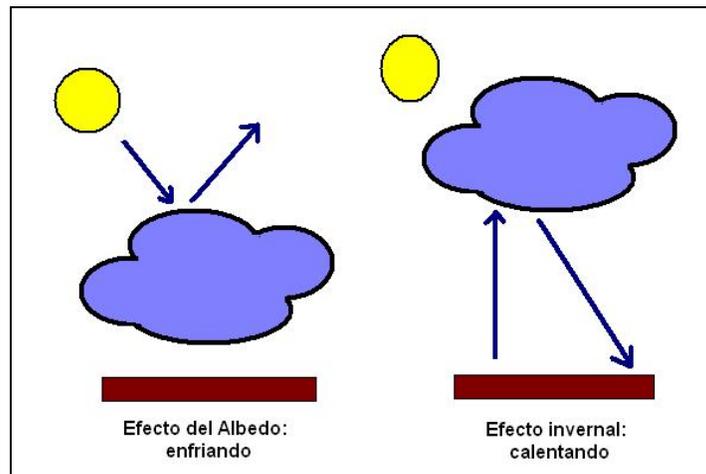


Figura 3.5 Efecto del albedo (izquierda) e invernadero (derecha)

El albedo de las nubes bajas con gran espesor está entre 0.6 y 0.8, mientras que el de nubes altas sólo es de aproximadamente 0.2.

3.1.2 Instrumentación para medir variables meteorológicas

Medición de la temperatura

Para medir la temperatura se usan tres principios de la física: la modificación de la longitud o del volumen de un cuerpo con la temperatura, el cambio de la diferencia de voltaje en un lugar de contacto entre dos metales con la temperatura y la dependencia de la resistencia eléctrica de un metal con la temperatura.

Los instrumentos de medición tienen que estar protegidos contra la radiación solar, ya que puede modificar la medición de la temperatura. Por eso, normalmente se protege a los instrumentos de medición dentro de una caja de madera en color blanco y con aberturas para que pueda entrar el viento.

La herramienta más común y conocida es el termómetro de mercurio (figura 3.6), y se basa en el primer principio mencionado anteriormente. Cuando la temperatura del aire se incrementa, el mercurio se expande y cuando la temperatura desciende el mercurio se contrae. Después de calibrar el termómetro se puede usar para medir la temperatura. El termómetro de mercurio provee buenos resultados hasta una temperatura de aproximadamente 35° C bajo cero, porque con temperaturas más bajas el mercurio se congela.

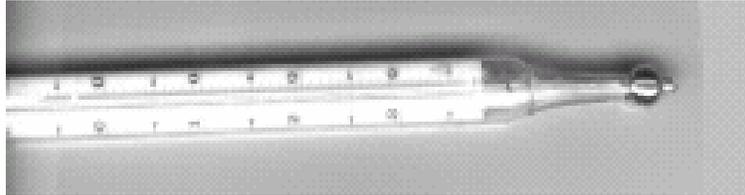


Figura 3.6 Termómetro de mercurio

En México se tienen temperaturas medias que oscilan entre 5 y 35° C. En la figura 3.7 se observa que el lugar donde ocurren las temperaturas menos confortables o frías es en el estado de Chihuahua. En la versión electrónica la temperatura media está en tonos azules a rojos, los primeros corresponden a los ambientes fríos y los rojos a los cálidos. Mientras que, la temperatura mínima aparece en colores azules a amarillos, en esta figura la gama azul está relacionada con las bajas temperaturas.

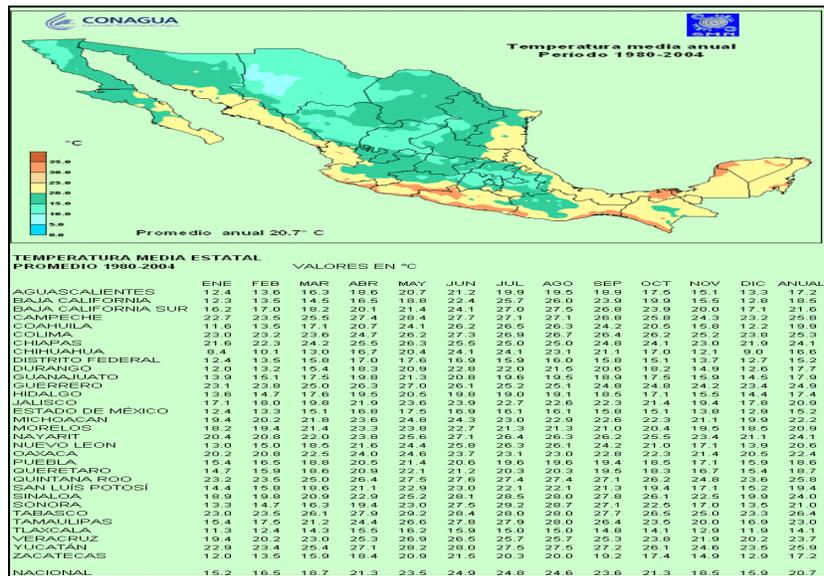


Figura 3.7 Temperatura media anual en la República Mexicana para el periodo 1980-2004 (<http://smn.cna.gob.mx/productos/map-lluv/tem-med.gif>)

Medición de la radiación solar

El principio físico que se utiliza consiste en calentar una superficie negra expuesta a la radiación solar, el grado del calentamiento por absorción será entonces la medida de la radiación (en unidades de Watt/m^2).

El siguiente instrumento permite medir la radiación total que proviene de un ángulo sólido pequeño y que incide en una superficie plana normal al eje de este ángulo. Se utiliza para medir la radiación solar directa y se llama Pirheliómetro (figura 3.8).

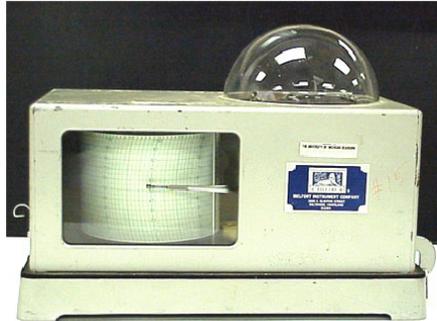


Figura 3.8 Pirheliómetro, aparato para medir la radiación solar

Medición del viento

El viento debe ser registrado a una altura de diez metros sobre la superficie para que no sea perturbado por obstáculos como son árboles o edificios, esto es una regla oficial para que las mediciones puedan ser comparadas en todas las regiones del mundo. Para conocer su velocidad y dirección, se utilizan los anemómetros (figura 3.9).

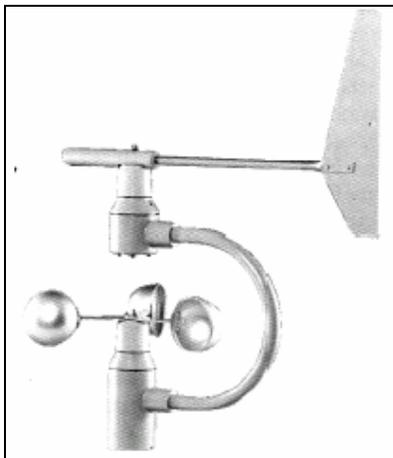


Figura 3.9 Anemómetro

La dirección del viento se mide con la veleta y la velocidad con el movimiento rotacional al girar las cazoletas con respecto a un eje al ser tocadas por el viento.

Medición de la nubosidad

La nubosidad es la variable meteorológica más difícil de medir. En algunos casos se usa el sentido común de las personas, donde se anota la altura a la que se encuentran, el tipo de nube (figura 3.10), la velocidad con la que se mueven en el cielo, así como la duración de la presencia de las nubes (cantidad de horas con cielo nublado); sin embargo, los observadores se apoyan en el atlas internacional de nubes de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1993).

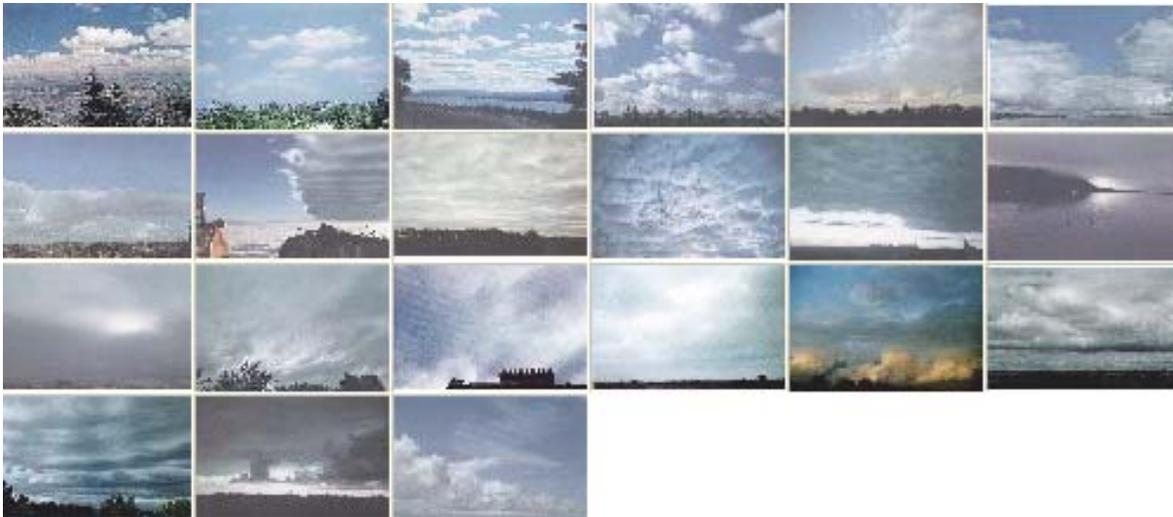


Figura 3.10 Grupo de nubes bajas: cumulus, stratus, stratocumulus y cumulonimbus (OMM, 1993)

Recientemente, el instrumento que más se usa para medir las nubes es el satélite. Existen dos tipos diferentes de satélites: los geoestacionarios, que hacen círculos alrededor del globo terráqueo encima del ecuador, con la misma velocidad con la que gira la Tierra, por lo que siempre están situados encima del mismo lugar, y los polares, con órbitas de giro alrededor de la Tierra, con dirección casi paralela a los meridianos, es decir, recorren el planeta de polo a polo y su altura aproximada es de 850 Km; éstos cambian su ruta con el paso del tiempo de manera que, durante un día, observan todos los lugares del globo (figuras 3.11 y 3.12).

El satélite GOES-E provee imágenes en cinco canales; tres en el infrarrojo, uno en el visible y otro más en vapor de agua. Para la identificación de nubes, los canales más útiles son el infrarrojo y el visible. En la parte visible se mide el albedo de las nubes, que depende del tipo de éstas, así como de diferentes características de las cámaras de los satélites. Este tipo de imágenes son prácticas durante el día, además poseen una resolución de un kilómetro. En la noche se utilizan las imágenes infrarrojas, que miden la temperatura de las nubes, sin embargo, en invierno es difícil distinguir entre nubes y suelo con nieve, porque tienen el mismo color y temperatura.



Figura 3.11 Satélite meteorológico geostacionario "GOES-E:75°W"

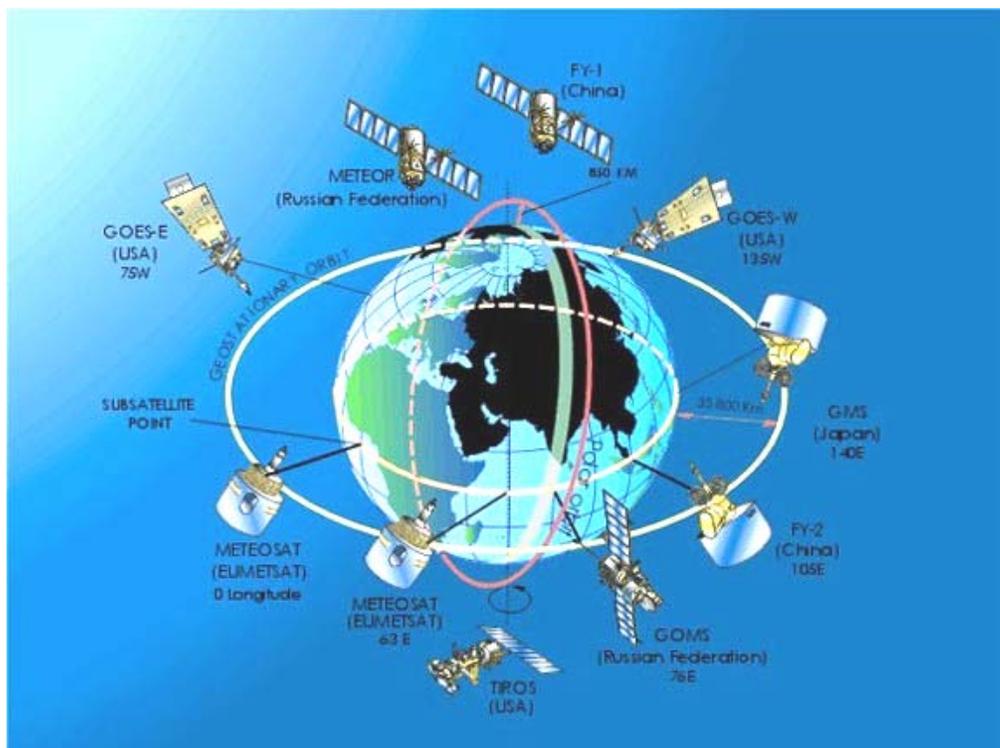


Figura 3.12 Sistema de satélites geostacionarios y de órbita polar del mundo

El satélite Meteosat provee imágenes en tres partes del espectro de la luz, dos de ellas son importantes para la medición de las nubes, la parte visible y la infrarroja. En la parte visible se mide el albedo de las nubes, la que depende del tipo de éstas, así como de diferentes características de las cámaras de los satélites. Estas imágenes sólo pueden ser utilizadas durante el día. En la noche se usan las imágenes infrarrojas, en ellas se mide la temperatura de las nubes; sin embargo, en invierno es difícil distinguir entre nubes y suelo nevado, ya que tienen el mismo color y calor.

Otra forma de medir la nubosidad es por medio de radares, los cuales lanzan ondas con una longitud entre uno y tres centímetros hacia las nubes, con la finalidad de medir su densidad (figura 3.13).



Figura 3.13 Radar meteorológico tipo Doppler

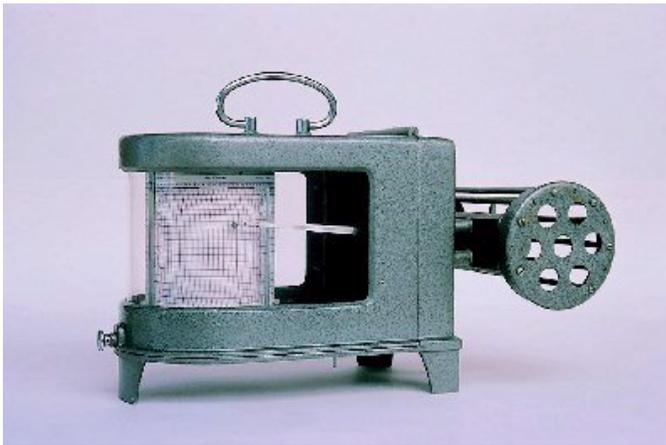
Medición de la humedad atmosférica

Una posibilidad para medir la humedad atmosférica es la utilización de dos termómetros de mercurio. Uno de los termómetros (figura 3.14) debe estar envuelto en un trapo húmedo. La temperatura que mide este termómetro es más baja que la que mide el otro, porque el aire dentro del termómetro húmedo pierde calor por la evaporación de agua en el trapo. Se evapora más agua cuando el aire está más seco, por eso la diferencia entre las temperaturas de los dos termómetros es una medida de la humedad atmosférica. La relación entre la diferencia de temperaturas y la humedad también depende de la temperatura absoluta que mide el termómetro seco. Con estos dos valores de medición se pueden consultar unas tablas llamadas psicrométricas, que ayudan de manera directa a obtener la humedad, y de esa manera deducir la humedad atmosférica. Para que funcione este principio se tienen que ventilar los termómetros continuamente con una velocidad de viento de tres o cuatro metros por segundo como mínimo.

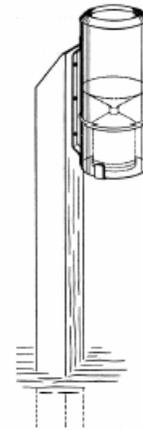
Otra forma de medir la humedad en la atmósfera se basa en el cambio de tamaño de algunos materiales expuestos a la humedad, como puede ser el cabello. En la superficie de éste existen pequeños cristales que absorben el vapor del agua contenido en el aire. Por eso la longitud del cabello cambia cuando la humedad relativa en la atmósfera es diferente. Esta relación no es lineal, pero mediante una calibración del instrumento, llamado higrógrafo (figura 3.15), se puede usar para medir la humedad. Normalmente el instrumento se une a un aparato para escribir el cambio de la longitud del cabello en forma automática. En la meteorología se usa principalmente el cabello humano, aunque también suele ser usado el pelo de caballos y ovejas.



Figura 3.14 El psicrómetro es el aparato que permite medir la humedad relativa del aire



a)



b)

Figura 3.15 a) Higrógrafo de cabello para medir la humedad relativa y b) Pluviómetro, que permite medir la precipitación de lluvia y nieve

Medición de la precipitación

La precipitación se mide con un recipiente que recoge las gotas de lluvia y los copos de nieve (figura 3.15 b) generalmente en intervalos de 24 horas, con un aparato llamado pluviómetro, o de manera continua, con un pluviógrafo. El recipiente debe estar protegido contra el viento y la evaporación, a una distancia mínima de obstáculos como árboles o edificios, que es dos veces la altura del obstáculo. La precipitación se mide en milímetros. Si se trata de nieve o granizo se tiene que fundir primero.

Otra forma para medir la precipitación es la utilización del radar (figura 3.13). A través de una antena se envía una señal en forma de corriente eléctrica mediante impulsos cortos y se capta la respuesta (la señal reflejada) en las pausas entre dos impulsos. Con el tiempo obtenido entre el impulso enviado y la respuesta se puede calcular la distancia de los objetos reflejados. Para medir la precipitación se utiliza corriente eléctrica con una longitud de onda entre tres y diez centímetros. Así, es posible medir no sólo la distancia del radar a la lluvia sino también su intensidad, el tamaño de las gotas y el tipo de la precipitación, lluvia, granizo, etc.

Actualmente se puede medir por medio de una estación automática, variables atmosféricas como temperatura, humedad, presión, radiación solar, viento y lluvia; este equipo de adquisición de datos cuenta con sensores e instrumentos que registran, almacenan y transmiten las observaciones de forma automática, sin la necesidad de personal en el lugar. Las ventajas de la estación automática es que son más consistentes en sus registros, los cuales, son recolectados con mayor frecuencia y en el tiempo deseado; además, se pueden instalar en zonas aisladas (figura 3.16).

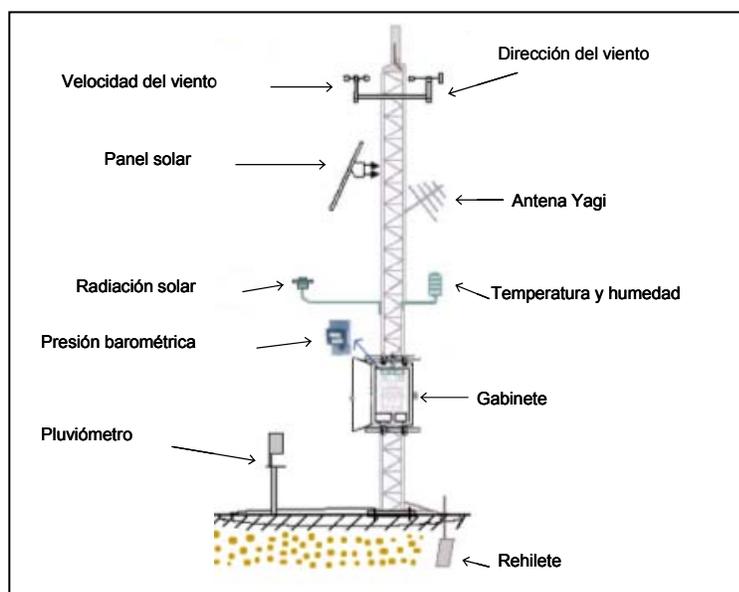


Figura 3.16 Estación automática tipo torre triangular

3.1.3 Formación de las nevadas

Las bajas temperaturas, heladas o nevadas pueden presentarse de formas muy diferentes en todo el mundo. En la región ártica, por ejemplo, existen lugares donde la humedad atmosférica es tan baja que no cae nieve; se trata de los “desiertos árticos”. En cambio, en otros lugares la nieve es abundante, formando paisajes blancos de diferentes tonalidades.

Si la humedad en los niveles cercanos a la superficie es muy alta y hay un descenso de la temperatura, entonces se puede presentar niebla cerca del suelo. Ésta se forma con mucha frecuencia en los valles cuando las temperaturas descienden por radiación durante la noche y no existen vientos suficientemente fuertes para mezclar este aire frío con aire más caliente de niveles superiores. La niebla normalmente se disuelve con la radiación solar del día siguiente o cuando cae nieve; así, las pequeñas gotitas de agua de la niebla se congelan por encima de los copos de nieve

hasta que desaparecen completamente. Cuando la humedad atmosférica es menor, se forma escarcha o la helada blanca, donde el vapor de agua se congela sobre una superficie fría. Si no hay escarcha ni nieve se llama helada negra, la cual resulta peligrosa para los cultivos.

Uno de los fenómenos meteorológicos de mayor riesgo que va asociado con las bajas temperaturas es la nevada, la cual ocurre cuando las condiciones atmosféricas son propicias, como una humedad atmosférica suficientemente alta, temperaturas por debajo de los cero grados centígrados, corrientes de viento ascendentes y una alta concentración de partículas fijas en la atmósfera que servirán como fondo de cristal de hielo.

Para que se origine una nevada es necesario que se enfríe el aire húmedo, lo que normalmente ocurre al presentarse una corriente ascendente, logrando una sobresaturación del aire con vapor de agua (es decir, que la humedad relativa esté por arriba del 100%), pero varios estudios han mostrado que no puede condensarse el agua pura hasta que la humedad relativa alcance valores de aproximadamente 800%, cantidad que no se puede dar en la naturaleza. Entonces, es necesario que existan partículas fijas en el aire apropiadas para que se pueda congelar el agua en las capas altas de la atmósfera. El valor de la humedad relativa necesario para la condensación y formación de gotitas de agua depende de la existencia, la forma y el número de estas partículas. Normalmente existen suficientes partículas (figura 3.17) para que el vapor de agua condense alrededor de una humedad relativa de 100%.

Para que ocurra la precipitación, en forma líquida o como nieve, existen dos teorías que lo pueden explicar, pero sólo una de ellas es aplicable en el caso de la caída de nieve o aguanieve, ésta se llama proceso de Wegener, Findeisen y Bergeron. Considera una nube (cirrocumulus, altostratus o cumulonimbus) en la cual hay gotitas de agua líquida y cristales de hielo a la vez. Normalmente los cristales de hielo están situados en la parte alta de la nube, donde las temperaturas son más bajas, las gotitas de agua están situadas en la parte baja de la nube. En medio de la nube existen cristales de hielo, además de existir inestabilidad.

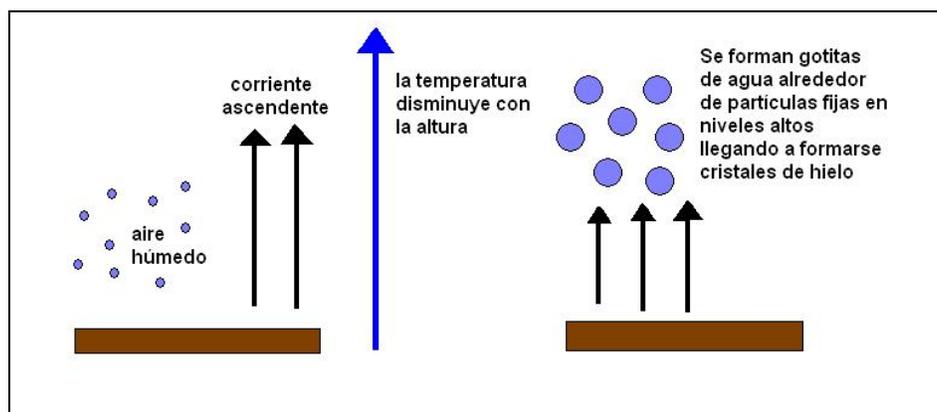


Figura 3.17 Proceso de formación de cristales de hielo

Cuando los cristales son de hielo y gotitas de agua a la vez, las temperaturas son bajas, y no hay suficientes partículas fijas para desarrollarse más cristales de hielo; además, las corrientes ascendentes que forman la nube ya no pueden mantenerlos flotando y comienzan a caer. Al ir descendiendo atrapan muchas gotitas de agua que se congelan por encima de los cristales, así que éstos crecen mucho más. Ese proceso se llama coagulación. Si al caer pasan por una capa de aire en donde las corrientes ascendentes son más fuertes, entonces van a subir otra vez y el proceso se repite. De esta manera pueden crecer los cristales de hielo hasta alcanzar un tamaño

considerablemente grande. Cuando las corrientes ascendentes de aire no pueden mantener flotando los cristales de hielo, entonces se produce la precipitación en forma de nieve.

Los copos de nieve

Los copos de nieve tienen diferentes formas y tamaño, ello depende de la temperatura y humedad de la atmósfera, aunque todos presentan estructuras hexagonales (figura 3.18) debido a la manera en como se agrupan las moléculas de oxígeno e hidrógeno al congelarse el agua.

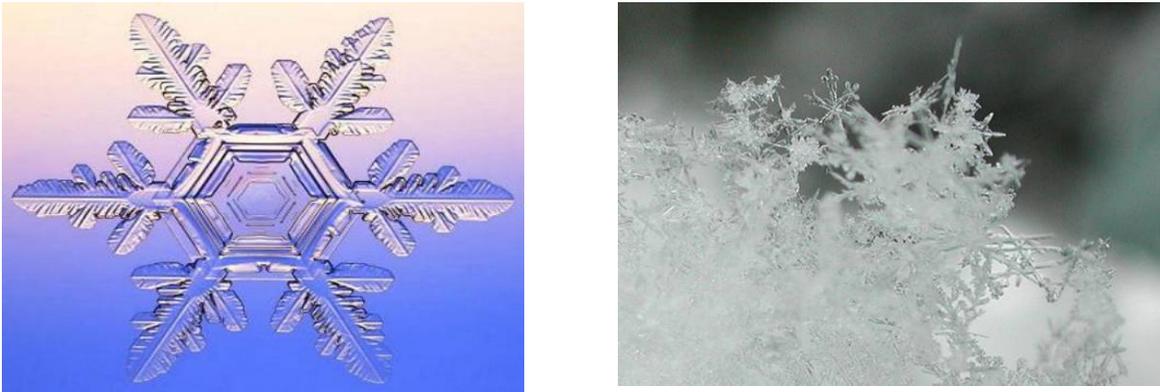


Figura 3.18 Ejemplos de forma de los copos de nieve

Cuando el agua se congela, las fuerzas de cohesión entre las moléculas de agua (H_2O) son mayores a las térmicas y forman un conjunto rígido con simetría hexagonal, ya que es el estado natural más estable (de menor energía). El crecimiento comienza normalmente con una partícula de polvo la cual absorbe algunas moléculas de agua que forman el núcleo del cristal de hielo. Por lo general, éstos necesitan de una superficie para su formación. El cristal recién formado crece a partir de un diminuto prisma hexagonal. Mientras el cristal se desarrolla, en las esquinas surgen pequeños brazos delgados que, al contacto con el aire, aumentan un poco más. Debido a que las condiciones atmosféricas que rodean al cristal son idénticas a él mismo, entonces los seis brazos llegan aproximadamente al mismo tamaño.

Los pequeños cristales de hielo son transportados a grandes distancias dentro de la nube y su crecimiento y desarrollo dependerán de la temperatura en el ambiente. Al ir encontrando diferencias de temperatura, humedad y viento, los pequeños brazos del cristal empiezan a crecer y a desarrollar pequeñas dendritas. Mientras el copo de nieve es arrastrado por el viento se va encontrando con distintas condiciones de crecimiento y, por ende, va creciendo en una intrincada estructura; esto explica por qué hay tal diversidad de copos de nieve en la naturaleza, lo que justifica la frase “no hay dos copos iguales”.

3.2 PELIGRO POR BAJAS TEMPERATURAS

El ser humano es vulnerable a ciertas temperaturas, tanto por arriba de un umbral, como por debajo de otro. Este documento se ocupa de aquellas temperaturas que están por debajo de un cierto umbral. Por otro lado, es de interés analizar aquellos eventos extremos, es decir, poco frecuentes, que pueden perjudicar, de manera excepcional a la población, y no el evento normal que se presenta

todas las mañanas cuando está a punto de amanecer. Adicionalmente, es un hecho que junto con la presencia de bajas temperaturas debe analizarse su duración, ya que no es lo mismo que se presenten temperaturas por debajo de los cero grados un par de horas al día, que durante varios días de manera continua. Enseguida se describirá el cálculo de peligro por bajas temperaturas, indicando en primer lugar cómo se obtiene la función de peligro y, finalmente, la probabilidad de pasar de una temperatura menor, dado que se conoce la temperatura actual, lo cual será de utilidad si se quisiera elaborar escenarios de ondas de frío para una condición inicial dada.

3.2.1 Temperatura

La variable temperatura se interpretará como aquella de tipo discreto tomada cada hora, por lo que sólo se podrá obtener de observatorios sinópticos o de estaciones automáticas. Se definirá como t_i , donde i es el número de horas en un lapso cualquiera. Un registro típico se observa en la figura 3.19.

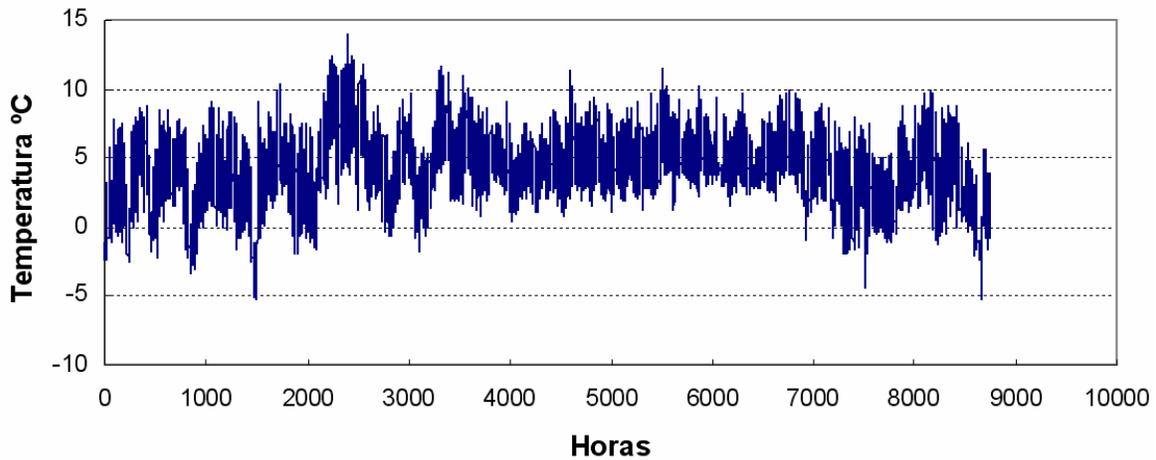


Figura 3.19 Temperatura horaria en el Nevado de Toluca durante el año 2001

3.2.2 Umbral

Un umbral es una magnitud fijada a partir de la cual se produce un efecto determinado. En el caso de bajas temperaturas se puede pensar que existen umbrales de temperatura para los cuales pueden producirse problemas en la salud de las personas; sin embargo, debido a condiciones históricas, o incluso genéticas, ciertos grupos poblacionales son más resistentes a bajas temperaturas que otros. Es por ello que se establecerá un umbral móvil que iniciará desde una temperatura determinada en grados centígrados, ° C, hacia abajo, y se denominará U_j , donde j va de cero a $m-1$, siendo m el número total de umbrales a analizar. Se puede escoger un paso de descenso o intervalo de, por ejemplo, 5° C, de modo que el umbral móvil vaya de 10, 5, 0, -5, -10, etc. (° C). Con base en lo anterior, podemos definir el evento Y , tal, que cumpla con lo siguiente:

$$Y = \{ \text{Cambio del umbral } U_j \text{ al umbral } U_{j+1} \}$$

Asimismo, se definirá como h_j , el número de horas en un periodo cualquiera donde la temperatura fue menor o igual a un umbral j determinado, donde j va de cero a $m-1$ umbrales. Con base en esto, se podrá calcular la probabilidad del evento Y mediante la división de h_{j+1} entre h_j . De

esta forma se puede determinar la probabilidad de que se inicie un evento de baja temperatura en cierto umbral. La forma en que se expresa esta probabilidad es:

$$P(Y) = P_{u=j+1} = \frac{h_{j+1}}{h_j}$$

3.2.3 Duración de un evento de baja temperatura

Se definirá dt_i como la duración, en horas, de un evento en que $t_j \leq U_i$, continuamente, es decir, la temperatura está por debajo de un cierto umbral. En la figura 3.20 se observa un evento en el que, si el umbral es igual a 0°C , entonces de la hora 1446 a la 1547 la temperatura está por debajo de ese umbral, con una duración continua de 101 horas, es decir, ¡un poco más de 4 días! Se observan otros eventos en que la temperatura está por debajo de los 0°C , aunque con duraciones continuas diferentes.

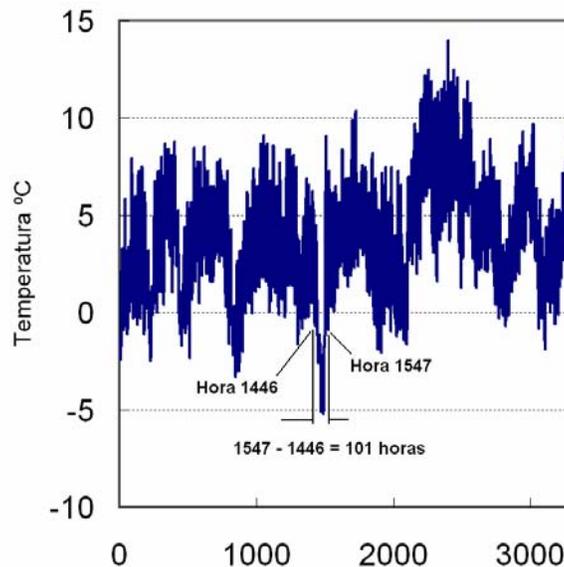


Figura 3.20 Duración de un evento de baja temperatura

3.2.4 Función de peligro por bajas temperaturas

Como se comentó anteriormente, la función de peligro por bajas temperaturas, o más específicamente de una onda de frío, dependerá de dos cosas: la temperatura, descrita por medio del concepto de umbral U_j , y de la duración de la onda dt_i . Entonces, se define un evento X , tal que cumpla con lo siguiente:

$$X = \{\text{ocurrencia de una onda de frío con duración } dt_i\}$$

De esta manera se podrá representar dicha probabilidad como se muestra en la figura 3.21, en donde se observa que la frecuencia de las ondas de frío bajo cierto umbral de temperatura y cierta duración es una superficie cuyo altura, o valor, disminuye a medida que el umbral disminuye, así como si su duración aumenta, es decir, las ondas de frío extremas y de larga duración son más raras que las de temperaturas menos extremas y de menor duración.

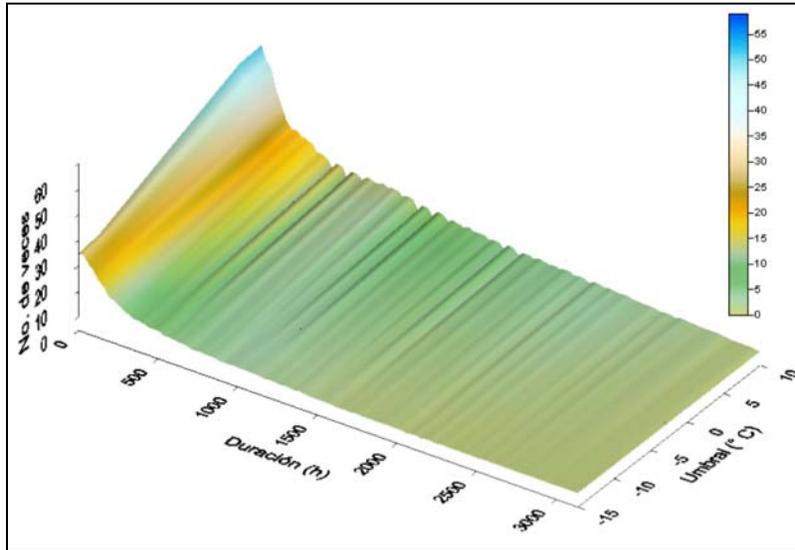


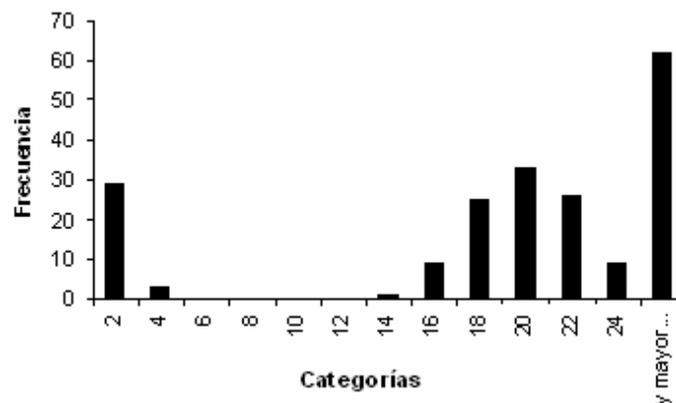
Figura 3.21 Posible función de probabilidad de ondas de frío

Por lo anterior, en este documento se propondrá una manera de obtener esta función de probabilidad para poder estimar entonces el riesgo por bajas temperaturas. Para un caso práctico en el que se tenga información de una estación meteorológica automática, que registre la temperatura a intervalos de una hora, o menores, se propone construir un histograma que registre las frecuencias de ondas de frío para los umbrales seleccionados y con diferentes duraciones. Hay que recordar que un histograma es una representación gráfica de las frecuencias, o veces, que se repite un valor de una cierta variable, para varios intervalos, o categorías, en las que se divide el rango de estos valores, para lo cual es necesario saber las magnitudes mínima y máxima que pueden tomar.

Para este caso la obtención del histograma consiste en contar el número total de ondas de frío para un umbral específico, por categorías de dos horas, es decir, contar cuantas ondas de frío duraron máximo dos, cuatro horas, seis y 24 horas, y una última categoría que tiene todas las ondas de frío de mayor duración a 24, dando un total de 15 categorías. Lo anterior significa mucho trabajo dada la cantidad de información que se puede obtener de una sola estación, por lo que se sugiere automatizar este proceso mediante un programa de cómputo, por ejemplo, una macro de Excel. Un ejemplo de este conteo se ilustra en la tabla 3.2 y en la figura 3.22 para un umbral de 10°C .

Tabla 3.3 Ejemplo de conteo de ondas de frío con umbral 10° C

Categorías (horas)	Frecuencia
2	29
4	3
6	0
8	0
10	0
12	0
14	1
16	9
18	25
20	33
22	26
24	9
y mayor...	62
Total	197

**Figura 3.22 Ejemplo de histograma**

Con base en el conteo de eventos X , es decir, ondas de frío con duración d_{ti} , se obtuvo la probabilidad de que al momento de iniciarse el registro de un cambio de temperatura a un umbral establecido, este evento tenga una duración específica.

Por ejemplo, la probabilidad de que una onda de frío menor o igual a 10° C tenga una duración máxima de dos horas, es el resultado de dividir el total de ondas menores o iguales a 10° C con duración máxima de dos horas, entre el número total de ondas de frío con este umbral para cualquier duración. Este proceso se aplica a los demás umbrales.

Por lo anterior, y de la tabla 3.3, se tiene que:

$$P(X=\{\text{onda de frío con umbral de } 10^{\circ} \text{ C y duración máxima de } 2 \text{ h}\}) = 29/197 = 0.147$$

Probabilidad de cambio de un umbral a otro en el Nevado de Toluca

Para finalizar el análisis de peligro, y poder realizar posteriormente el de riesgo, es necesario obtener la función de probabilidad de los cambios entre umbrales de temperatura, es decir, que una onda de frío cambie a otra de frío más intenso. En la tabla 3.4 se observa el número total de horas de ondas de frío donde se registró una temperatura para el umbral j , nuevamente se sugiere automatizar el proceso mediante un programa de cómputo. La probabilidad de que la temperatura baje al umbral 1 dado que estamos en el umbral 0 es $50388/52589 = 0.9581$; la probabilidad de pasar del umbral 1 al umbral 2, es decir, que la temperatura baje mínimo a 5°C , dado que se encontraba entre 10 y 5°C es de $34437/50388 = 0.6834$, y así sucesivamente. En el caso de exceder la intensidad 5 a una mayor, notamos que la probabilidad es cero, por el hecho de que no ha ocurrido un evento con una intensidad mayor. Asimismo, y para el cálculo de riesgo, se obtiene la función de peligro por umbral de temperatura, dividiendo para cada umbral la diferencia de horas entre el número total de horas; por ejemplo, para un umbral de 10°C se divide $52589-50388 = 2201$ entre 52589 , lo que da como resultado 0.0419 y, para un umbral de 5°C se divide $50388 - 34437 = 15951$ entre 52589 , y resulta 0.3033 .

Tabla 3.4 Probabilidad de cambio de umbral y función de peligro por umbral de temperatura

Umbral j	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Hrs. Totales h_j	Probabilidad de cambio de umbral $P(Y)$	Función de peligro por umbral de temperatura
0	Todas	52589	0.9581	
1	10°	50388	0.6834	0.0419
2	5°	34437	0.0934	0.3033
3	0°	3216	0.0177	0.5937
4	-5°	57	0.0702	0.0601
5	-10°	4	0.0000	0.0010
				1

3.2.5 Mapeo de las zonas de peligro por bajas temperaturas

En las figuras 3.1 y 3.2 se observa una relación muy estrecha entre la elevación del terreno y la presencia de bajas temperaturas. De esta manera, se puede suponer que una estación meteorológica que esté a una altura determinada puede proporcionar información útil para valorar el peligro por bajas temperaturas en cierto entorno. Como se observa en el ejemplo siguiente se tiene una zona donde existe una elevación en el terreno y tres estaciones que miden temperatura ubicadas a diferentes elevaciones. Con base en los datos obtenidos por dichas estaciones es factible suponer que hay “franjas de influencia” que rodean a la montaña.

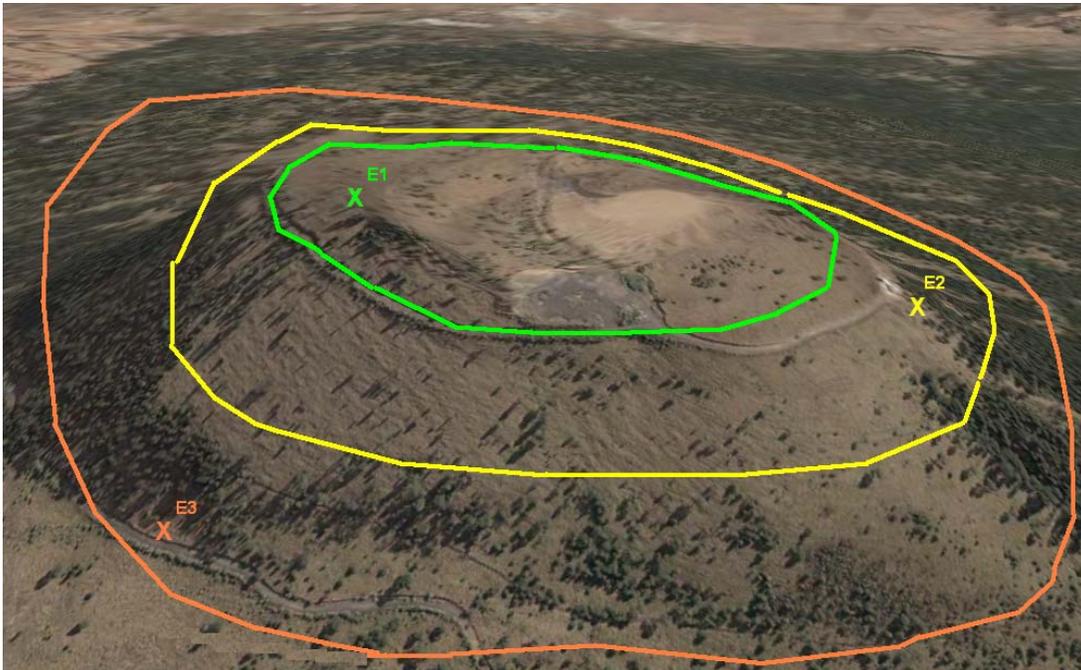


Figura 3.23 Mapeo de zonas de peligro

3.2.6 Función de peligro por la presencia de nevadas

Una función de peligro permite conocer la probabilidad de presentación de nevadas en una zona dada, donde la precisión de los resultados dependerá de la calidad y la cantidad de datos que se tengan para el área de estudio. Así mismo, se recomienda contar con un sistema de información geográfica (SIG) para facilitar la visualización y el manejo de los datos tanto geográficos, como los que se refieren a las estaciones que registraron nevadas.

Para definir la función de peligro es deseable contar con información de espesores de nieve, pero a falta de dicha información se analizarán las nevadas con base en el único parámetro que se maneja en el país: el número de días con nevada.

Planteamiento general de la metodología

La metodología se puede resumir en los siguientes pasos:

- a. Selección de la zona de estudio
- b. Recolección de datos de nevadas
- c. Revisión y análisis de los datos
- d. Análisis estadístico

Selección de la zona de estudio

Las nevadas ocurren en elevaciones aproximadamente por arriba de los 2,000 msnm, por lo que se entiende que la metodología se aplicará en regiones montañosas o en sus faldas; de tal

manera que para delimitar la zona de estudio es indispensable contar con un mapa topográfico, cuando menos a escala 1:50,000 y de manera ideal, contar con el modelo digital de elevaciones. En el mapa se ubicarán las poblaciones de interés que son susceptibles a nevadas y algunos puntos altos de montañas o volcanes cercanos a dichas poblaciones. A partir del punto central del cráter del volcán o pico de la montaña, se trazarán radios de influencia de tal manera que se incluyan las poblaciones de interés. Con ello se tendrá una primera aproximación de la delimitación de la zona de estudio. Ésta se definirá mejor cuando se cuente con la ubicación de las estaciones que registraron datos de nevadas.

Recopilación de datos

El siguiente paso consiste en buscar las estaciones climatológicas que se encuentren en el lugar de interés y que hayan medido el parámetro “número de días con nevadas al año”. Dicha información, así como la referente a la climatología del país, como lluvia, presión atmosférica, velocidad de los vientos, temperaturas, etc., la proporciona el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Para ello, se debe revisar la página de Internet del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), con dirección <http://smn.cna.gob.mx>, en la ruta: Productos → Normales → Por estaciones. Ahí se desplegará una ventana con el título “Normales Climatológicas Estándar y Provisionales 1961-1990”, con una lista de los estados de la República donde se podrá entrar en cualquiera de ellos (figura 3.24). Ahí se podrán consultar las estaciones climatológicas del sistema CLICOM del estado seleccionado (figura 3.25).



Figura 3.24 Ventana de las Normales Climatológicas

Productos Climatológicos

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
UNIDAD DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL
ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DEL SISTEMA CLICOM

ESTADO: MÉXICO

NÚMERO	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA msnm	FECHAS		AÑOS DATOS
					INICIO	FIN	
15001	ACAMBAY, ACAMBAY	19 58	099 51	2,252	1957-05	1992-09	35.4 91.1
15002	ACUILCO, ACUILCO (SMN)	20 06	099 50	2,459	1961-01	1998-12	38.0 81.9
15003	ALMOLOYA DE JUAREZ, (SMN)	19 22	099 46	2,595	1961-01	1988-12	28.0 98.8
15004	ALMOLOYA DEL RIO, (DGE)	19 09	099 29	2,670	1961-02	1990-05	29.3 97.2
15005	AMANALCO DE BECERRA, A.	19 15	100 02	2,511	1962-03	1992-10	30.7 92.2
15006	AMATEPEC, AMATEPEC	18 38	100 10	1,820	1964-08	1992-01	27.5 60.0
15007	AMECAMECA DE JUAREZ,	19 08	098 46	2,479	1969-03	1988-11	19.7 93.6
15008	ATEMCO, TEXCOCO (DGE)	19 33	098 55	2,300	1961-01	1985-12	25.0 96.8
15009	ATLACOMULCO, ATLACOMULCO	19 48	099 53	2,526	1961-01	1976-06	15.5 98.5
15010	ATOTONILCO, A. DE JUAREZ	19 28	099 46	2,560	1961-01	1999-04	38.3 92.2
15011	ATARASQUILLO, LERMA	19 19	099 28	2,500	1961-01	1989-12	29.0 97.1
15012	BEJUCOS, TEJUPILCO (CFE)	18 47	100 25		1961-01	1989-10	28.8 97.2
15013	CALACOAYA, TLALNEPANTLA	19 23	099 14		1961-01	1988-12	28.0 99.5
15014	CHAPULHUAC, OTZOLOTEPEC	19 27	099 29		1969-01	1997-08	28.7 90.6
15016	COATEPEC HARINAS, C. H.	18 55	099 44	2,265	1961-01	1998-12	38.0 90.3
15017	COATEPEC DE LOS OLIVOS,	19 23	098 51	2,410	1961-01	1988-12	28.0 99.8
15018	COL. AVILA CANCHO,	19 19	098 46	2,900	1961-01	1988-12	28.0 99.1
15019	COL. VICENTE GUERRERO,	19 36	099 20	2,900	1971-01	1988-02	17.2 100.0
15020	CHALCO, CHALCO	19 16	098 54	2,280	1961-01	1988-12	28.0 98.9
15022	CHICONAUTLA, ECATEPEC	19 39	099 00	2,245	1963-03	1988-07	25.4 98.6
15023	CHIMALHUACAN,	19 25	098 56	2,230	1969-06	1988-12	19.6 98.1
15024	PPESA DANHO, JILOTEPEC	19 53	099 12	2,435	1951-01	1998-12	48.0 98.7
15025	EJIDO LLANO GRANDE,	19 32	099 40	2,538	1963-06	1999-02	35.8 97.3
15026	ENTREPE, IXTLARIJUA	19 34	099 51	2,548	1961-01	1998-12	38.0 95.7
15027	EL SALITRE (SAN BARTOLO)	19 30	099 18	2,558	1961-01	1988-10	27.8 98.6
15028	EL TAJO, TEQUISQUIAC.	19 55	099 08	2,558	1961-01	1988-12	28.0 96.8
15029	EL TEJOCOTE (ATLACOMULCO)	19 27	098 54	2,449	1969-01	1999-02	30.2 84.6
15030	HACIENDA DE LA Y.	19 25	099 36	2,580	1961-01	1999-04	38.3 86.8

Figura 3.25 Ventana con las estaciones climatológicas del sistema CLICOM una vez seleccionado el estado

Como se puede observar en la figura 3.25, la información que aparece en la ventana son datos generales de las estaciones climatológicas, tales como el número de estación, coordenadas, altitud y periodo de registro. Dichas estaciones se deben ubicar en el mapa topográfico y elegir aquellas que se encuentren dentro o cerca de la zona de estudio.

Otra opción para conocer la ubicación de las estaciones climatológicas, en lugar de entrar a Internet, es hacer una petición formal a la Gerencia Regional de la CONAGUA en el estado donde se quiere realizar el trabajo o directamente al SMN, para que se les proporcione información digital de las estaciones cercanas a su localidad.

En segundo lugar, se procede a revisar la información de cada estación que se eligió por estar dentro de la zona de estudio. Las estaciones climatológicas que se encuentran en el sistema CLICOM tienen información de varios parámetros, tales como temperatura mínima, máxima, media, precipitación mensual, número de días con tormenta eléctrica, días con granizo, días con nevadas, etc.

Sin embargo, existe el inconveniente de que el parámetro del número de días con nevada no ha sido incorporado a los archivos digitales de cada estación del país, por tal motivo, se deberá hacer una petición formal al SMN para obtener dicha información en la forma número 212-50 (figura 3.49), que lleva el título de “Registro de observaciones climatológicas hechas a las 8 horas”

para cada estación. A partir de esta forma, se debe llenar un formato para cada estación, en el que se incluyan los siguientes campos:

- Nombre de la estación
- Municipio al que pertenece
- Número de estación
- Altitud
- Ubicación (coordenadas: latitud y longitud en grados y minutos)
- Periodo de registro
- Registro del número de días con nevadas de cada estación por año, mes y anualmente

En la tabla 3.5 se despliega un ejemplo del formato para una estación climatológica específica en el Estado de México.

Tabla 3.5 Formato con el número de días con nevada para la estación climatológica Loma Alta, estado de México

Estación	Loma Alta												
Municipio	Zinacantepec												
No. estación	15229												
Altitud	3432												
Latitud°	19 10												
Longitud	99 49												
Periodo de registro	1981-1987												
Número de días con nevada													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1981	7	2											9
1982													0
1983		4											4
1984													0
1985													0
1986													0
1987													0

Revisión y análisis de datos

Como paso previo al análisis estadístico, es importante revisar los datos obtenidos en el formato de la tabla 3.4 para cada estación de interés, porque pueden existir detalles en la información que producirían resultados equivocados.

En algunos casos, existen errores involuntarios que provienen de la fuente donde se extrajeron los datos, como los de ubicación y altitud de las estaciones. Para despejar las dudas, se debe comparar con otras fuentes y en algunos casos, se deberá recurrir al SMN o a las oficinas regionales de CONAGUA.

También se debe tener especial atención en no confundir la estación, dado que hay varias con el mismo nombre, pero manejadas por la antigua Secretaría de Recursos Hidráulicos (DGE), por el SMN o por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), y que se ubican en diferentes coordenadas.

Se debe escoger un periodo de años de registro de tal manera que se incluya el mayor número de estaciones posibles con el mayor número de años de registro.

En esta etapa habrá estaciones climatológicas que tal vez se eliminen del análisis por no cubrir el periodo de registro establecido (con las condiciones que se mencionaron en el párrafo anterior) o por no tener datos. Aunque también puede ocurrir lo contrario, es decir, que se añadan otras estaciones.

Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico de los datos, del número de días con nevada de las estaciones seleccionadas, es indispensable contar con una persona que tenga conocimientos de probabilidad y estadística, de preferencia aplicada a la hidrología y en aspectos meteorológicos, para lo cual es recomendable apoyarse en estudiantes que deseen hacer su servicio social de las carreras de ingeniería civil, hidrología, meteorología, o actuaría.

Dado que en pocas regiones del país nieva sistemáticamente todos los años (como en la Sierra de Chihuahua y en la cima de algunos volcanes), es de esperarse que los registros de nieve sean escasos en la mayor parte de la república, siendo éste el caso de las localidades relativamente cercanas a algún volcán. A esta situación se le agrega el hecho de que en ocasiones no se registran todas las nevadas que ocurrieron en el lugar de medición.

Por lo anterior, se propone:

1. Utilizar la distribución discreta de probabilidad de Poisson, la cual se expresa con la ecuación:

$$p(x; \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad (\text{para } x = 0, 1, 2, \dots \text{ y } \lambda > 0)$$

donde:

- p es la probabilidad de que no nieve,
- q es la probabilidad de que nieve (se debe cumplir que $p + q = 1$),
- λ es el parámetro de la distribución de Poisson que representa el número promedio de ocurrencias del evento aleatorio por unidad de tiempo.
- x es el número de eventos que ocurren sobre el tiempo o el espacio.

2. Formar grupos con las estaciones climatológicas, según la altitud en la que se encuentren, para procurar tener un mayor número de datos de días con nevada. Por ejemplo, si se tienen estaciones con altitudes que varían entre los 2000 y los 3500 msnm, entonces se pueden agrupar aquellas que queden en la cota 2000-2500 msnm, en la de 2501-3000 msnm y en la de 3001-3500 msnm. Así, se obtendrá un promedio de la información de nevadas de cada grupo.

Cabe recordar que las estaciones climatológicas que se propone agrupar, corresponden a aquellas elegidas según se explicó en el punto “Revisión y análisis de datos”, donde todas ellas tienen un mismo número de años de periodo de registro.

Una vez definidas las estaciones que conformarán cada grupo, según su altitud, se deben incorporar los datos de cada estación, los cuales corresponden a la suma de los valores registrados durante la temporada de invierno en cada año de registro por estación. En la tabla 3.4 se muestra un ejemplo de la clasificación de los datos por grupo (para un caso ficticio con 10 años de periodo de registro), el cual está formado por cinco estaciones y donde los valores de cada estación se distribuyeron en las columnas B a la F, respectivamente. En la columna G, cada celda tiene la suma de los valores de todas las estaciones por cada año y en la columna H se muestra el promedio por cada año del número de días con nevada, es decir, se dividió para cada año el valor de la columna G entre el total de las estaciones, que en este caso es cinco.

Finalmente, siguiendo con el ejemplo (tabla 3.6) se debe obtener el promedio, (*prom*), del número de días con nevada para cualquier año y estación comprendida entre la franja de altitud establecida, que en este caso es entre los 2500 y los 3000 msnm, el cual se calculó dividiendo la sumatoria total de la columna H (valor de 3.20) entre el total del número de años de registro (10 años para el ejemplo). Por lo tanto, $prom = 3.20 / 10 = 0.32$, siendo la cifra que será utilizada como el parámetro λ en la aplicación de la distribución de Poisson.

Tabla 3.6 Ejemplo del acomodo de datos por estación para un grupo en particular y cálculo de valores a partir de ellos

Grupo de datos Altitud de 2500-3000 msnm Nov. Mar Periodo de 10 años de registro							
A	B	C	D	E	F	G	H
Año	Altitud, msnm					Suma	Promedio
	3511	3623	3740	3900	2976		
	Estación Salsipuedes	Estación Maclovía	Estación La Flaca	Estación Rinconcito	Estación Solovino		
1973						0	0.00
1974	2		2	1	2	7	1.40
1975						0	0.00
1976		1				1	0.20
1977						0	0.00
1978				4		4	0.80
1979						0	0.00
1980						0	0.00
1981				3	1	4	0.80
1982						0	0.00
Suma total	2	1	2	8	3	16	3.20

Este valor significa que cae nieve, en promedio, 0.32 días por año en la franja comprendida entre los 2500 a los 3000 msnm dentro de la temporada invernal, es decir, esporádicamente, ya que el promedio no llega a ser siquiera un día por año.

Para conocer cual es la probabilidad de que haya cero días con nevada al año ($x = 0$) para el grupo de datos de la tabla 3.4, se utiliza $\lambda = 0.32$ en la ecuación de la distribución de Poisson.

$$p(x = 0; \lambda = 0.32) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} = \frac{e^{-0.32} 0.32^0}{0!} = 0.7261$$

Este valor significa que existe una probabilidad de 0.7261 de que ningún día caiga nieve en un año particular, dentro de la franja de los 2500 a 3000 msnm en la temporada de invierno, es decir, que existe una alta probabilidad de que no caiga nieve.

Calculando q se tiene que:

$$q = 1 - p = 1 - 0.7261 = 0.2739$$

Lo cual quiere decir que existe un 0.2739 de probabilidad que caiga nieve en algún día en cualquier año, dentro de la misma franja de elevación y en temporada de invierno. Dicha probabilidad es relativamente baja.

Una vez calculados los valores de p y q es posible obtener la función de peligro, la cual es la representación gráfica de dichos valores (figura 3.26).

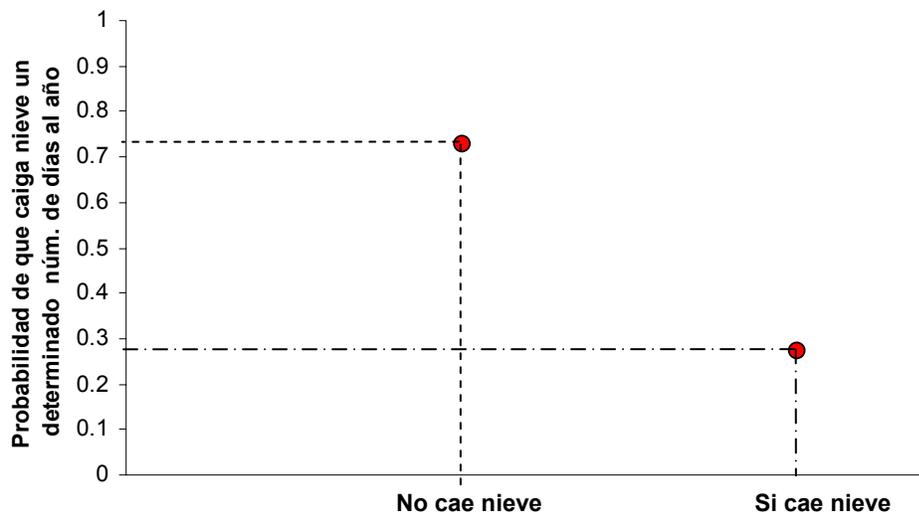


Figura 3.2 Función de peligro para el grupo de estaciones climatológicas del ejemplo de la tabla 3.6, ubicadas entre altitudes de 2500 a 3000 msnm

La probabilidad de que caiga nieve al año, obtenida de la función de peligro de la figura 3.26, se utilizará para el cálculo del riesgo por nevadas.

3.3 VULNERABILIDAD

3.3.1 Impacto de las bajas temperaturas en la salud de la población

El frío intenso causa severa morbilidad y mortalidad de importancia en la salud pública. Por ejemplo, durante el invierno 2002 a 2003 se registraron 1,380 defunciones en algunos países del mundo (figura 3.27), atribuidas a condiciones invernales; de éstas 630 ocurrieron en Asia, 614 en Europa y el resto en América, donde en México se presentaron 121 decesos. A pesar de la crudeza de las bajas temperaturas, las diferencias en cuanto a la distribución de la población, la septentrionalidad, la continentalidad, la altitud, la latitud, horas de radiación solar, entre otras características físicas, así como las de carácter socioeconómico y cultural, son determinantes para la ocurrencia de afectaciones por bajas temperaturas o muertes (Trujillo, *et. al.*, 2004).

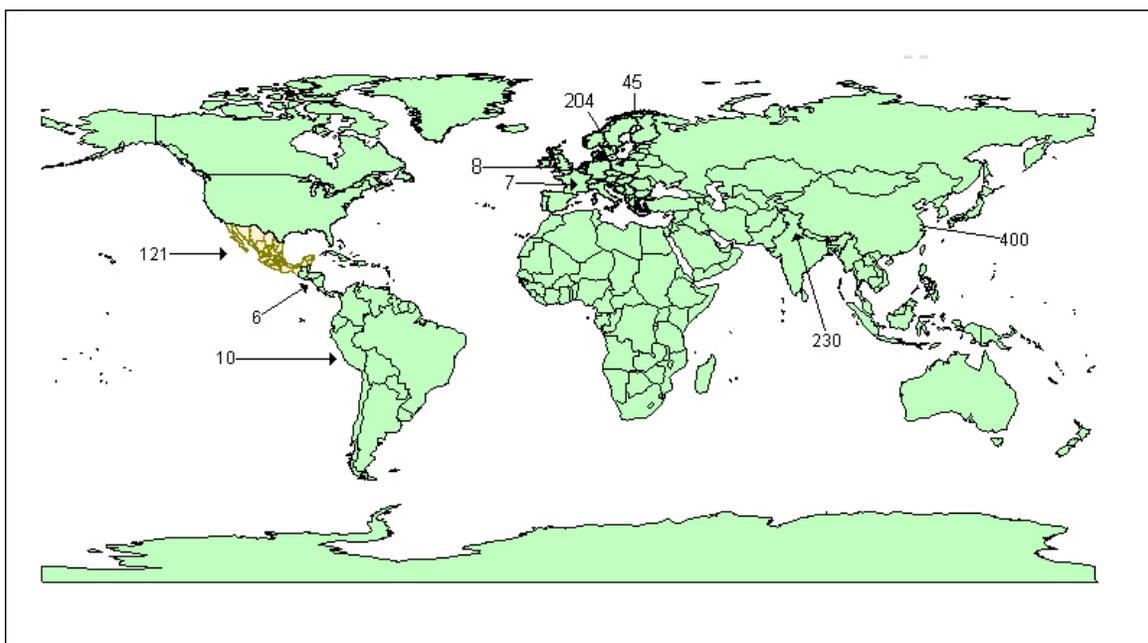


Figura 3.27 Número de defunciones en algunos países debido a las bajas temperaturas durante el invierno 2002-2003

Para ello, es conveniente identificar cuáles son aquellas enfermedades que de forma directa son las causantes de los decesos durante el invierno. Entre ellas se encuentran la hipotermia, la congelación, el dolor de cabeza, los padecimientos de las vías respiratorias, la urticaria del frío, los ataques cardíacos, la intoxicación de monóxido de carbono y las quemaduras.

A continuación se describe cada una de las enfermedades más frecuentes cuando ocurre un descenso de temperatura.

Hipotermia

La hipotermia es la disminución de la temperatura corporal, por debajo de los 35° C y consiste en la exposición prolongada al frío. La enfermedad se identifica por la piel del individuo que es pálida, fría y seca, además el hombre manifiesta escalofríos, disminución de la respiración superficial y del estado de conciencia.

La hipotermia accidental resulta de la exposición prolongada a temperaturas ambientales frías que son un problema grave en salud pública, porque es la única enfermedad crónica conocida y relacionada con el frío, además en ocasiones provoca la muerte de las personas (tabla 3.7).

Tabla 3.7 Tipos y características térmicas de la hipotermia

Hipotermia	Tipo	Características de temperatura °C
	Moderada	Entre 32 y 35
	Severa	Entre 25 y 32
	Extrema	Menor a 25

Los síntomas de la hipotermia dependen de su grado de afectación. Por ejemplo, con la de tipo moderada se presentan escalofríos, una respiración agitada y pulso más rápido que el normal. Si ésta es grave ocurren estados de confusión, el enfermo habla de manera incoherente, la respiración y el pulso son lentos; además, el paciente manifiesta cansancio físico hasta que, finalmente, se desmaya. La hipotermia severa es cuando la temperatura corporal es menor de 25° C, las personas pierden la conciencia, la respiración es imperceptible y el pulso no es palpable. A temperaturas tan bajas el miocardio se torna irritable y es común la fibrilación ventricular, es decir, la persona muestra todos los síntomas clínicos de muerte.

Congelamiento

El congelamiento se presenta cuando una persona está helada por excesiva exposición al frío y presenta entumecimiento, somnolencia, pérdida de la visión, tambaleo, aturdimiento o semiinconsciencia y hormigueos. Además, es posible que exista dolor y, en ocasiones, aparecen ampollas. Las zonas del cuerpo más propensas son las orejas, nariz y dedos, pero también puede existir un congelamiento generalizado (figura 3.28).



Figura 3.28 Identificación de las partes del cuerpo humano más susceptibles al congelamiento

Fuente: <http://www.meine-gesundheit.de/320.0.html>

Se distinguen tres grados de congelamiento que muestran diferentes síntomas:

- a. De primer grado: Las partes del cuerpo afectadas enrojecen y pierden sensibilidad, después de calentarlas se siente dolor y comezón.
- b. De segundo grado: Su característica principal es la formación de ampollas graves (figura 3.28).
- c. De tercer grado: La piel muere, se pone blanca y luego negra o se generan ampollas llenas de sangre y úlceras. Con este grado de congelamiento siempre se forman cicatrices permanentes.

Además de los tipos de congelamientos mencionados, ocurre hinchazón cuando el frío no es muy intenso pero se está expuesto por mucho tiempo. La hinchazón tiene un color rojo o azul y también presenta ardor.

El peligro de sufrir congelamiento es alto para personas que sufren enfermedades relacionadas con la circulación de los vasos sanguíneos, tales como la diabetes o el tabaquismo; este último provoca que los vasos sanguíneos se estrechen y de esta manera la situación se complica. Mientras que, el consumo de alcohol tiene el efecto contrario, porque los vasos sanguíneos se dilatan, así el cuerpo pierde calor rápidamente. Si éstos se acompañan de un cansancio físico, un consumo de drogas y una mala alimentación, la enfermedad es más crítica.



Figura 3.29 Congelamiento en las manos, debido a la exposición del frío intenso

Es importante mencionar que, en ocasiones, el congelamiento y la hipotermia ocurren al mismo tiempo, lo cual es una situación muy peligrosa. Por ello, se tiene que cuidar siempre la temperatura del herido y verificar si existe congelamiento o padece hipotermia.

Las partes del cuerpo que sufren congelamiento suelen presentar dolor o causar serios problemas tiempo después.

Dolor de cabeza

El frío provoca dolor de cabeza porque los músculos se contraen. Esto ocurre principalmente, cuando hay viento. El dolor se presenta al reír, al toser, al estornudar, al levantar objetos pesados o por realizar grandes esfuerzos, y puede ser corto e intenso.

Enfermedad de las vías respiratorias

En general, el mayor número de casos se registra durante las semanas de más bajas temperaturas. Los cambios bruscos de temperatura influyen mucho. Por ello, a partir de los primeros fríos, recrudecen otras infecciones de las vías respiratorias que no son virales, como el asma.

La tos, el catarro, la gripe, la bronquitis, la neumonía, la bronquiolitis, la rinitis, entre otras, forman parte de este tipo de dolencias que afectan alguna parte del sistema respiratorio. Así, el aire frío que se respira en invierno es peligroso para los pulmones, los bronquios y la garganta. Además, si éste es seco provoca que las mucosas pierdan humedad. Por esta razón es conveniente fortalecer el sistema inmune durante el invierno.

Urticaria del frío

Hay enfermedades relacionadas con el frío que sólo sufren ciertas personas; una de éstas es la urticaria del frío, un padecimiento sobre todo de algunas mujeres jóvenes. Los síntomas son erupciones en la piel (figura 3.30) provocados por el frío e, incluso, es posible sufrir un shock que puede causar la muerte.



Figura 3.30 Algunas manifestaciones de la urticaria del frío
Fuente: <http://www.aerztezeitung.de/docs/2001/12/17/228a0102.asp?cat=/news>

Riesgo de ataques cardíacos

El frío ataca al corazón, principalmente a las personas con problemas cardíacos, por lo que deben permanecer dentro de un ambiente cálido, en la medida de lo posible. Pero aunque el riesgo

es grande para estas personas, tiene que cuidarse toda la población. Si a una persona le duele el corazón o siente una presión anormal en el tórax tiene que acudir inmediatamente al médico.

Intoxicación por inhalación de monóxido de carbono

En México cada año se producen decesos por intoxicación accidental con monóxido de carbono, el cual es un gas inodoro e incoloro que, si se respira puede causar enfermedad y muerte repentina; éste se encuentra en los gases de combustión, como los que se producen al usar motores pequeños de gasolina, hornos, generadores, linternas y estufas de gas, o mediante la quema de carbón vegetal y madera. El monóxido de carbono que estas fuentes emiten puede acumularse en espacios cerrados o con poca ventilación.

Por lo anterior, se recomienda utilizar adecuadamente estos aparatos que proporcionan calor al cuerpo humano.

Quemaduras por incendios

Las quemaduras son generadas porque las personas suelen dormir cerca de una fuente de calor y en un momento dado, el fuego puede extenderse y llegar a la ropa de las personas, provocando quemaduras. Lo mismo sucede con los incendios; por ejemplo, la pobreza extrema que sufren ciertas regiones de México, el tipo de material de la vivienda y los calentadores que permanecen encendidos toda la noche en una habitación sin ventilación, pueden provocar incendios.

Asfixia

Otro tipo de accidente que sucede de manera indirecta y causa decesos es la asfixia, principalmente en los bebés, debido al sobrepeso de las cobijas y al exceso de ropa, que los padres, de forma inconsciente e ignorando el peligro, pueden provocar tratando de mantenerlos en un ambiente cálido.

Radiación ultravioleta

Otro peligro relacionado con la ocurrencia de nevadas es la elevación de la radiación ultravioleta por la reflexión de la nieve. Esto produce un peligro para la piel, así como para los ojos.

Para todos estos padecimientos es muy difícil fijar umbrales de la temperatura con los que exista el problema de sufrir afectaciones, las cuales, no sólo dependen de la temperatura y el tiempo de exposición, sino también de otras variables meteorológicas y de la constitución del cuerpo de cada persona, su edad, sexo y otros aspectos fisiológicos. Sin embargo, existen métodos para tratar de evaluar el peligro ocasionado los descensos de temperatura en la salud de la población.

Efectos de las bajas temperaturas en algunos países del mundo

En los Estados Unidos de Norteamérica la mortandad se incrementa a mitad del invierno y alcanza su punto más bajo en el verano tardío. Decenas de muertes ocurren en enero más que en agosto. El número de decesos en el invierno sobrepasa a las certificadas cada año durante la época

de calor. En la figura 3.31 se muestra el número de decesos por hipotermia en ese país, donde la media anual es de 689 (MMWR, 2005).

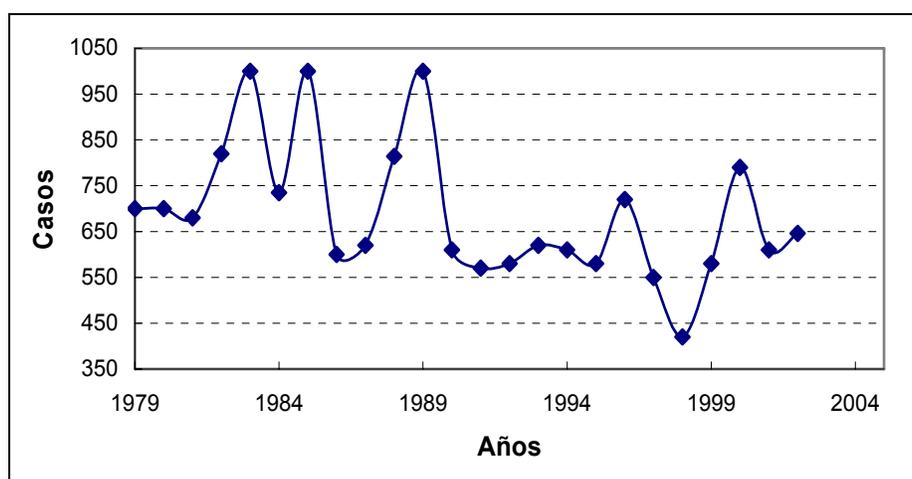


Figura 3.31 Número de decesos anuales por hipotermia en Estados Unidos por hipotermia

En cambio en México, debido a la escasa información disponible sobre la hipotermia, se tiene sólo el registro de 227 decesos en 30 años (figura 3.32), de los cuales durante el 2000 ocurrieron 67 muertes (La Red, 2003).

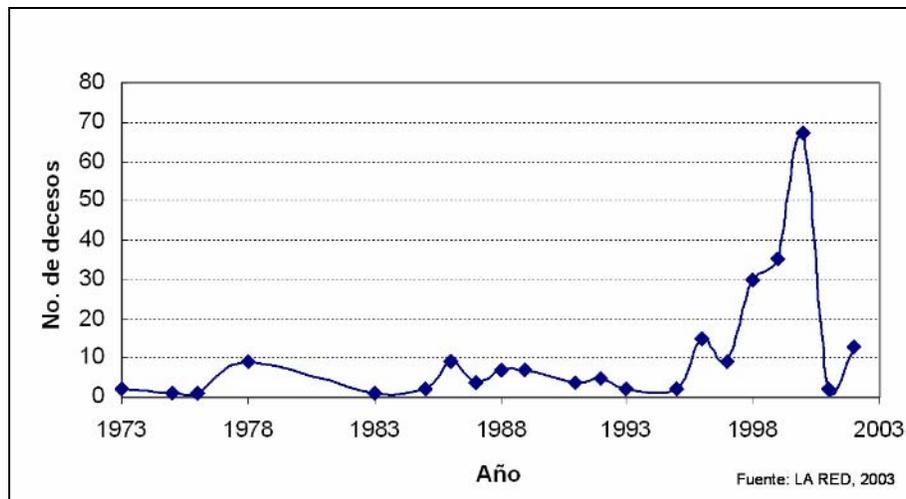


Figura 3.32 Número de decesos anuales por hipotermia en México

Hay otros países que sufren los estragos de este fenómeno: en el año 2005, las ciudades de Barcelona y Madrid, en España, sufrieron una nevada (figura 3.33a), causando retrasos en los aeropuertos y las temperaturas llegaron hasta -22.5°C en la región de Cataluña. Ese mismo año en Francia, el termómetro llegó a -5°C en su capital y hasta -17°C en la región central de La Creuse, provocando la muerte de dos personas y registrándose nevadas, que desde 1971 no ocurrían en la isla de Córcega, provocando bloqueos en puertos y carreteras. Mientras que, en la República Checa, las heladas del mes de febrero causaron graves problemas, al descender la temperatura hasta -30°C ; en la ciudad de Praga, el fuerte frío causó la ruptura de los conductos de agua potable en algunos

barrios, dejando a sus habitantes sin agua (figura 3.33b). En Ostrava (tabla 3.5), el frío afectó el transporte ferroviario, partiendo rieles en algunas de las vías férreas, las puertas de los autobuses de transporte urbano se congelaron; así, en un semana se diagnosticaron 1,700 personas con problemas en las vías respiratorias. En la tabla 3.8 se muestran otros casos.



Figura 3.33 (a) Carretera bloqueada por la intensa nevada del 28 de febrero de 2005 en la ciudad de Granada, España y (b) ruptura de los conductos de agua en una calle de Praga, República Checa, debido a las bajas temperaturas del día 7 de febrero de 2005

Tabla 3.8 Algunas afectaciones en el mundo asociadas a las bajas temperaturas
(Fuente: Diario de Navarra, España, Reforma, El Universal)

País	Temperatura (°C)	Decesos	Causa	Observaciones	Fecha
Bulgaria		4	Congelamiento y suicidio	Falta de combustible para la calefacción, 469 personas se quedaron sin corriente eléctrica y agua, debido a la rotura de cables y tuberías. Una mujer se suicidó al tirarse por la ventana.	29-Dic-1996
Sudáfrica		20	Asfixia	Fogatas encendidas dentro de sus viviendas con ventilación inadecuada, en la ciudad de Durban	09-Jul-1996
El Salvador		5	Hipotermia y quemaduras	Interrupción del servicio de agua potable y de energía eléctrica debido al paso del frente frío.	20/Nov-2002
Rusia	-30	2	Congelamiento	Las temperaturas extremas presentadas en la capital generaron que 18 personas fueran hospitalizadas con síntomas de hipotermia y congelamiento.	17-Ene-2006
Rusia	-32	7	Congelamiento	Las personas murieron congeladas en las calles de Moscú y otras 69 fueron hospitalizadas con síntomas de hipotermia.	19-Ene-2006

Efectos de las bajas temperaturas en México

En México, principalmente en la región norte y centro, se reportan cada año decesos e incremento en el número de personas afectadas por las bajas temperaturas. Según reportes de la Secretaría de Salud los más propensos son la población indígena, adultos mayores, niños menores de cinco años y los niños de la calle, por ejemplo, durante el invierno 1998-99 el número de muertos a consecuencia del frío rebasó los 200. De estos últimos 39 fueron por hipotermia, 36 por intoxicaciones de monóxido de carbono, 16 por quemaduras y 150 asociadas a infecciones respiratorias agudas; donde el 27% de las víctimas fueron personas mayores de 65 años y 35% niños menores de un año (UAM,1999).

Debido al número de pérdidas humanas durante la temporada invernal 2001, el CENAPRED realizó un estudio del comportamiento de las temperaturas mínimas para el estado de Chihuahua durante el invierno 2000-01, que es uno de los lugares del país con mayor afectación por este fenómeno, según reportes de la Secretaría de Salud.

El trabajo consistió en determinar la distribución espacial y temporal de los fallecimientos y sus causas. Además se analizaron las temperaturas mínimas del mes de diciembre, y se compararon con el registro histórico de varias estaciones, por medio de las anomalías de temperatura mínima y de sus valores extremos (figura 3.34).

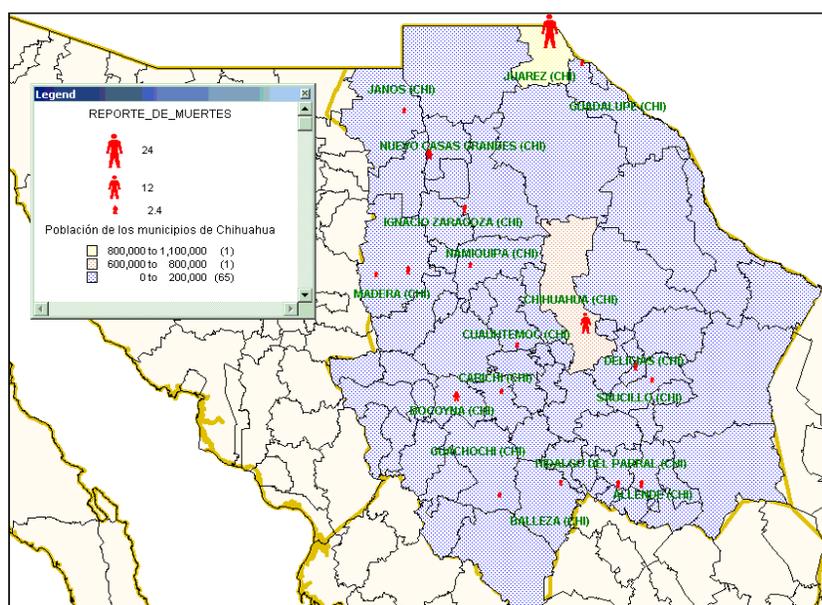


Figura 3.34 Distribución de los decesos en el estado de Chihuahua debido a las bajas temperaturas

La información de decesos, proporcionada por la Unidad Estatal de Protección Civil de Chihuahua, muestra que se debieron en gran medida a la situación socio-económica de cada municipio. Las principales causas de muerte fueron intoxicación por monóxido de carbono y por gas butano, hipotermia y quemaduras. Mientras que la ocurrencia mayor de decesos se dio en el mes de noviembre.

La muerte por inhalación de gas butano sucedió por tener una ventilación escasa y dificultar la eliminación de los gases de combustión de los calentadores. Se registraron nueve decesos, principalmente en personas mayores de 35 años y del sexo masculino.

En quemaduras sólo se presentaron cuatro casos, todos ellos en varones: dos infantes y dos adultos. La distribución de los decesos se concentró esencialmente en el municipio de Juárez y en menor medida en Chihuahua, lugares con mayor número de habitantes, donde el frío es intenso y la pobreza es alta. Para este caso, los más afectados fueron los niños, adultos y personas de la tercera edad.

La hipotermia afectó de igual forma al género masculino y en mayor medida a los indigentes, debido a que se encontraban en la vía pública y en los lugares donde el frío fue extremo. Además, la población más susceptible fueron los adultos entre 40 y 50 años (figura 3.35).

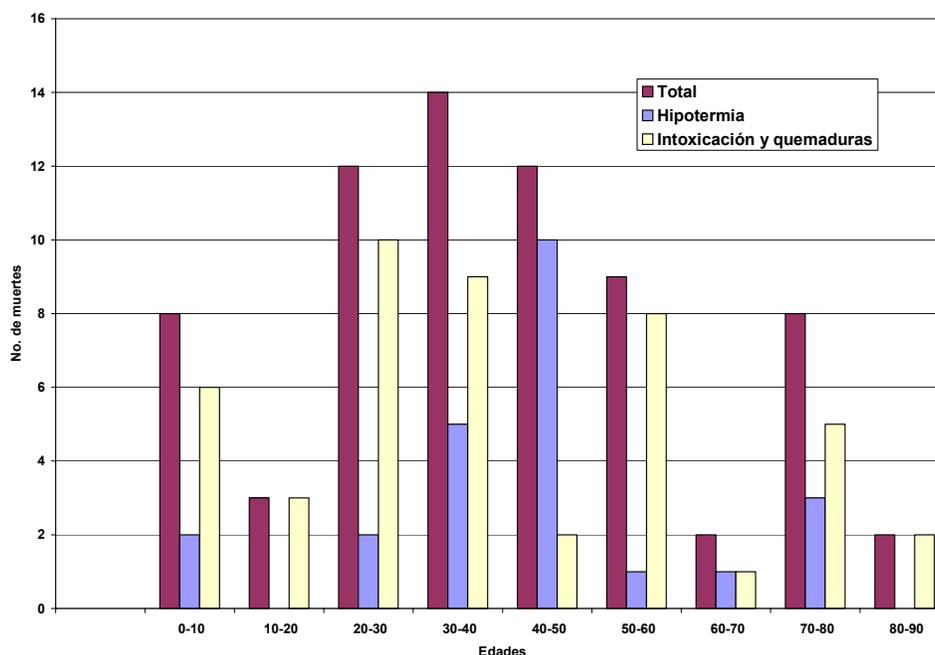


Figura 3.35 Número de decesos según grupo de edad

El impacto del frío intenso no sólo depende del fenómeno natural, sino de la vulnerabilidad de la población expuesta. Por ejemplo, una parte de la población del municipio de Juárez es de las más vulnerables, debido a que tienen que salir a trabajar en la zona fronteriza con Estados Unidos o habitan en hogares con un gran número de personas, llegando algunas veces al hacinamiento, o bien, sus viviendas son de material precario como el cartón y con poca o nula ventilación. Otros municipios vulnerables fueron Chihuahua y Bocoyna, y los menos afectados Janos, Buenaventura, Allende, Valle de Zaragoza, Parral, Balleza, Guachochi, Delicias, Namiquipa y Saucillo.

Asimismo, se realizó una búsqueda de otros estados que han presentado afectaciones por las bajas temperaturas en México, los cuales se concentran en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Algunas afectaciones en México asociadas a las bajas temperaturas
(Fuente: Base de datos de la Subdirección de riesgos hidrometeorológicos)

Fecha	Estado	Municipio	Temp. °c	Decesos	Causa	Observaciones
02/01/1979	Tamaulipas	Nuevo Laredo	-5	3	Intoxicación	Los decesos fueron por intoxicación de gas y una gran parte de la población resultó con enfermedades respiratorias debido a las bajas temperaturas.
12/01/1993	Nuevo León	Apodaca	5	1	Enfermedad respiratoria	Una niña de dos meses de edad murió por el descenso de temperatura, debido a una complicación de las vías respiratorias.
16/02/1993	Chihuahua	Guerrero		1	Congelamiento	Un indígena no identificado de aproximadamente 15 años murió por congelamiento.
03/11/1993	Nuevo León	Monterrey	2	1	Enfermedad respiratoria	Un indigente se quedó dormido a la intemperie bajo los efectos del alcohol y pereció a consecuencia de enfermedades respiratorias.
30/11/1993	Tamaulipas	Reynosa		1	Enfermedad respiratoria	Un menor muere por pulmonía, provocada por el descenso de temperatura.
01/01/1997	Zacatecas	Fresnillo		1	Intoxicación	Anciano de 90 años murió por intoxicación.
14/01/1997	Chihuahua	Ciudad Juárez	-18	4	Incendio	12 viviendas construidas de cartón y madera se incendiaron cuando sus habitantes trataban de mitigar el frío.
15/01/1997	Michoacán	Morelia	1	2	Congelamiento	Mueren indigentes por congelamiento.
17/01/1997	Durango	Durango		1	Enfermedad respiratoria	Un pequeño de 9 meses murió por bronco aspiración ocasionada por enfriamiento.
21/01/1997	Coahuila	Sabinas		3	Intoxicación	Las personas murieron al inhalar gas, cuando el calentador se apagó.
11/12/1997	Sonora	San Luis Río Colorado		3	Enfermedad respiratoria	Los decesos reportados corresponden a menores de edad, quienes fallecieron por infecciones respiratorias.
06/01/1999	Chihuahua	Ciudad Juárez	-4	1	Congelamiento	Un anciano muere congelado en el interior de su vivienda, construida de cartón y madera
22/01/1999	Nayarit	Tuxpan		1	Hipotermia	Un anciano falleció por bajas temperaturas, debido a la hipotermia.
01/01/2001	Sonora	Naco		2	Intoxicación	Dos adultos murieron al inhalar monóxido de carbono.
28/12/2001	Chihuahua	Ciudad Juárez	-8.0	1	Hipotermia	Un indigente murió por hipotermia, quien se quedó dormido en una vivienda abandonada cubierto con un pedazo de cartón.
09/01/2002	Veracruz	Xalapa		1	Hipotermia	Una indigente de 60 años murió por el frío
26/11/2002	Puebla	Zacatlán	0.0	1	Hipotermia	Una persona del sexo masculino murió por hipotermia y neumonía.
28/12/2003	Coahuila	Torreón		1	Hipotermia	Un indigente de aproximadamente 65 años de edad falleció en la vía pública a consecuencia de las bajas temperaturas.

Continúa

Tabla 3.9 Algunas afectaciones en México asociadas a las bajas temperaturas
(Fuente: Base de datos de la Subdirección de riesgos hidrometeorológicos)

Fecha	Estado	Municipio	Temp. °c	Decesos	Causa	Observaciones
12/01/2004	Distrito Federal	Milpa Alta		1	Hipotermia	Un hombre de 60 años murió por hipotermia
07/12/2005	Chihuahua	Ciudad Juárez	-5.0	1	Congelamiento	Una persona murió congelada y otras cinco se intoxicaron con monóxido de carbono, debido al mal uso de aparatos de calefacción

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

Aunque las temperaturas sean las mismas en dos días o dos lugares diferentes, sus efectos pueden ser diferentes. Esto depende del viento, la humedad atmosférica y la radiación solar. Si hay viento y la humedad es alta ocurre el congelamiento. Por otra parte, el clima puede ser agradable con temperaturas de 0° C, siempre y cuando no exista viento y la radiación solar sea alta.

Normalmente un ser humano produce una capa de aire más cálida cerca de su cuerpo. Cuando el viento elimina esta capa, el cuerpo tiene que calentarse nuevamente. En este proceso aumenta el consumo de energía, por lo que la temperatura del cuerpo desciende.

Otro efecto del viento es que provoca mayor evaporación en el cuerpo. Adicionalmente éste pierde energía cuando hay sudor. Por eso se siente un enfriamiento más rápido cuando el cuerpo está mojado. Por lo anterior, se dice que las temperaturas bajas son peligrosas cuando la humedad atmosférica es alta.

Las radiaciones solar y atmosférica ayudan al ser humano a mantener una temperatura agradable. Con la misma temperatura del aire se siente menos frío cuando hay sol, entonces el cuerpo puede absorber una parte de la radiación y calentarse de esta manera.

Aunque es un problema muy complejo y difícil, existen varios métodos para tratar de describir y evaluar el peligro que forman ciertas condiciones meteorológicas, relacionadas con las bajas temperaturas y la salud de las personas.

Temperatura percibida o “sentida”

Para tener una mejor medida de la función fisiológica, es decir, la influencia de las condiciones meteorológicas en el humano, se desarrolló el término de “temperatura sentida”, ella toma en cuenta la temperatura y los factores del clima: viento, humedad y radiación.

La “temperatura sentida” compara las condiciones meteorológicas reales con la temperatura existente bajo condiciones “estándar”, para que un humano sienta la misma sensación térmica. La condición estándar significa un lugar sombreado con viento moderado de 2 m/s., con una persona vestida de manera adecuada y que presenta un movimiento lento.

La “temperatura sentida” puede calcularse con un modelo (“Klima-Michel-Model” del servicio meteorológico alemán), el cual necesita una observación meteorológica completa con todas las variables utilizadas, así como la hora y la posición geográfica.

Como la sensación térmica depende de la constitución del cuerpo, la edad, el sexo y muchos otros factores, es natural que los resultados presentados de esta manera sean un promedio. Por ejemplo, en el modelo se supone que un hombre de 35 años de edad, de 1.75 m de altura y de 75 kg, presenta diferente sensación térmica que un niño o un anciano e incluso una mujer de la misma edad.

Se usa la temperatura percibida obtenida con este modelo para informar a la población sobre los riesgos que se presentan con un cierto clima, así como para realizar mapas climáticos del mundo que tomen en cuenta la sensación térmica promedio en otros lugares. También se realizan mapas de ciertas ciudades para que los arquitectos y planeadores de la ciudad tomen medidas preventivas.

La temperatura sentida no sólo se usa para evaluar el peligro relacionado con bajas temperaturas en invierno, sino también el peligro relacionado con altas temperaturas en verano.

Cuando la sensación térmica y el proceso fisiológico difieren del confort térmico¹ esto puede provocar un peligro para el corazón, la circulación y los vasos periféricos.

Tabla 3.10 Temperatura percibida y sensación térmica

Temperatura percibida	Sensación térmica	Proceso fisiológico
≤ -39° centígrados	muy frío	estrés de frío extremo
-26° hasta -39° centígrados	frío	estrés de frío fuerte
-13° hasta -26° centígrados	fresco	estrés de frío moderado
0° hasta -13° centígrados	un poco fresco	estrés de frío débil
0° hasta +20° centígrados	agradable	Confort estable
+20° hasta +26° centígrados	un poco cálido	estrés de calor débil
+26° hasta +32° centígrados	más cálido	estrés de calor moderado
+32° hasta +38° centígrados	muy cálido	estrés de calor fuerte
≥ +38° centígrados	extremadamente cálido	estrés de calor extremo

Fuente: <http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/Medizin/Leistungen/gtinfo.pdf>

Viento de congelamiento o helado (wind chill)

En países donde hace mucho frío, como en el norte de los Estados Unidos o en Canadá, existe otro término que evalúa el peligro de las bajas temperaturas junto con vientos fuertes y que ocasiona efectos en la salud de la gente, se le conoce como viento de congelamiento o helado o “wind chill”.

El viento helado compara las condiciones meteorológicas reales (temperatura y viento) con la temperatura que debería existir bajo condiciones “estándar” (es decir un viento moderado) para que un humano tenga la misma sensación térmica y, en consecuencia, el mismo riesgo de sufrir congelamiento o hipotermia.

Un estudio mostró que gran parte de la población en Canadá usa esta información para decidir como vestirse o cuánto tiempo puede permanecer fuera de casa. Las autoridades de los Estados Unidos y Canadá tienen un sistema de alerta para los valores muy altos del viento helado; éste varía por las diferentes regiones del país; en el sur, la gente no está acostumbrada a temperaturas extremadamente bajas, y se alerta a partir de un valor de viento helado de -35° C; en el

¹ Confort térmico: es la condición de la mente la cual expresa satisfacción con el acondicionamiento térmico ambiental

norte, y en la mayor parte del país, el umbral es de -45°C ; sin embargo, en las regiones árticas no se alerta a las personas antes de que el viento helado sea por lo menos de -55°C .

Como el viento helado sólo depende de los valores de temperatura y viento es mucho más fácil mostrarlo en forma de tablas, que con la temperatura sentida (tabla 3.11).

Tabla 3.11 Valores de viento helado relacionados con una cierta temperatura y viento

viento helado		Temperatura en ° centígrados										
		5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
Viento en m / s	5	4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53
	10	3	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57
	15	2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54	-60
	20	1	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56	-62
	25	1	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44	-51	-57	-64
	30	0	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59	-65
	35	0	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66
	40	-1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68
	45	-1	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62	-69
	50	-1	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-69
	55	-2	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63	-70
	60	-2	-9	-16	-23	-30	-36	-43	-50	-57	-64	-71
	65	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72
	70	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72
	75	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73

Fuente: http://www.msc.ec.gc.ca/education/windchill/windchill_chart_e.cfm

Por ejemplo, con 10°C bajo cero y un viento de 20 m/s, el viento de congelamiento o helado sería de -18°C . Con 25° centígrados bajo cero y un viento de 20 m/s, el viento helado es de -37°C .

Existen tablas que describen el peligro relacionado con ciertos valores de viento helado, pero sólo son válidos para adultos sanos. Las temperaturas bajas y el viento son más peligrosos para niños, ancianos o personas de mala salud. Las tablas que contienen el peligro de ciertos valores de viento helado, así como las acciones para evitar el congelamiento, se pueden consultar en la página-Web de la referencia de la tabla anterior.

Según estas tablas, el riesgo de sufrir congelamiento se considera leve hasta valores del viento helado de -27°C . Sin embargo, a partir de -10°C existe el peligro de sufrir hipotermia cuando una persona está expuesta al frío por mucho tiempo. Entre valores de -28° y -39°C puede sufrir congelamiento después de 10 minutos a 30 minutos de exposición al frío. A partir de valores de -40°C , el riesgo se considera alto y ocurren congelamientos después de 5 a 10 minutos; finalmente, los congelamientos por viento helado de -55°C se presentan en 2 minutos.

Para tener otra medida del peligro relacionado con ciertos valores de viento helado, también se calcula el tiempo que una persona puede estar fuera de casa sin que sufra un probable congelamiento.

Tabla 3.12 Tiempo estimado que una persona puede exponerse sin sufrir congelamiento

Minutos para llegar al congelamiento	Temperatura en ° centígrados								
	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	
Viento en m / s	10	*	*	22	15	10	8	7	2
	20	*	30	14	10	5	4	3	2
	30	*	18	11	8	5	2	2	1
	40	42	14	9	5	5	2	2	1
	50	27	12	8	5	2	2	2	1
	60	22	10	7	5	2	2	2	1
	70	18	9	5	4	2	2	2	1
	80	16	8	5	4	2	2	2	1

Fuente: http://www.msc.ec.gc.ca/education/windchill/minutes_freeze_table_e.cfm

3.3.3. Vulnerabilidad por bajas temperaturas en México

En el Libro 1 sobre “Aspectos fundamentales sobre Riesgo y Cartografía” del CENAPRED se describe a la vulnerabilidad como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador; es decir, el grado de pérdidas esperadas.

La salud humana es vulnerable a los cambios del clima, particularmente si se carece de los servicios adecuados y en aquellas áreas en que pudiera aumentar la exposición a las enfermedades contagiosas. Por lo anterior, es necesario identificar las variables socioeconómicas de la comunidad para medir su nivel de vulnerabilidad.

Identificación de los indicadores de la vulnerabilidad social en la población

La medición de la vulnerabilidad por bajas temperaturas, que a continuación se describe, está relacionada con las características de la vivienda que hacen posible tener una temperatura agradable en su interior. De igual manera la vulnerabilidad a las bajas temperaturas se relaciona con el estado de salud de los habitantes y del nivel de conocimiento para el uso de los sistemas de calefacción que pueden utilizar en su hogar, en caso de una contingencia.

Para evaluar la vulnerabilidad se pueden utilizar enfoques cualitativos, estadísticos o indicadores que analicen varios escenarios, e incluir los elementos de calidad de vida, características de los asentamientos e infraestructura, los cuales, para los fines de este trabajo, fueron identificados como los de mayor importancia.

Calidad de vida de la población

Para este elemento se toma en cuenta el acceso de la población a los servicios de salud (tabla 3.13). En caso de no tenerlo, y de producirse alguna enfermedad, los ingresos de la población disminuirán.

Tabla 3.13 Valoración del indicador: Acceso a instituciones de salud

Nivel	Componente (categoría)	Condición de vulnerabilidad
100	No posee seguridad social	Muy alto
75	Difícil acceso a servicios médicos	Alto
50	Seguro social limitado, porque debe ser concluido por el sector privado.	Medio
25	Servicios de salud con medicamentos	Bajo
0	Seguro social completo y servicios de primera	Muy bajo

De la misma forma, se deberá incorporar el número de médicos que se localizan por cada mil habitantes, con ello se podrá conocer de manera general el radio de influencia de este parámetro y su relación con la densidad de la comunidad, localidad o municipio (tabla 3.14).

Tabla 3.14 Valoración del indicador: Personal médico

Nivel	Número de médicos por cada 1000 habitantes	Condición de vulnerabilidad
100	0.75 a 1.06	Muy alto
75	1.07 a 1.32	Alto
50	1.33 a 1.61	Medio
25	1.62 a 2.28	Bajo
0	2.29 a 3.41	Muy bajo

Por otro lado, las condiciones sanitarias de una población a otra son distintas; por ejemplo, la gente que habita en las barrancas o zonas de invasión de las grandes ciudades, o los habitantes de las zonas áridas y regiones húmedas. Este indicador es válido para toda comunidad, aunque existan diferencias de personas, debido al grado de higiene (tabla 3.15).

Tabla 3.15 Valoración del indicador: Condición sanitaria

Nivel	Componente (categoría)	Condición de vulnerabilidad
100	Personas que siempre están enfermas	Muy alto
75	Personas con mala salud	Alto
50	Personas con salud regular	Medio
25	Personas sanas	Bajo
0	Personas en óptimas condiciones	Muy bajo

Elementos de asentamientos humanos

Dentro de los indicadores que forman este grupo se encuentra el de la distribución de la población y su tamaño. En México, como en todo el mundo, la distribución de los habitantes es desigual, existen regiones donde hay mayor concentración y otras donde la población es escasa. Así, las ciudades están más densamente pobladas que las comunidades rurales (tabla 3.16).

Tabla 3.16 Valoración del indicador: Densidad de población

Nivel	Número de habitantes por km ²	Condición de vulnerabilidad
100	Mayor de 5000	Muy alto
75	1000 a 4999	Alto
50	500 a 999	Medio
25	100 a 499	Bajo
0	Menor a 99	Muy bajo

De la misma forma, es conveniente conocer cómo está distribuida la población de acuerdo a su edad (tabla 3.17).

Tabla 3.17 Valoración de la estructura de la población: Grupos de edad

Nivel	Grupos de edad	Condición vulnerabilidad
100	Menores de 5 años (niños)	Alto
50	Entre 6 y 17 años (adolescentes)	Medio
0	Entre 18 y 35 años (jóvenes adultos)	Bajo
50	Entre 36 y 60 años (adultos)	Medio
100	Mayores de 60 años (personas de la tercera edad)	Alto

Otro factor es el conocimiento con que cuenta la población para el manejo de los sistemas de calefacción en su vivienda, para ello es importante verificar si la gente sabe leer y con ello entender las indicaciones de los aparatos, y si las especificaciones se encuentran en español o bien son traducidos a una lengua indígena, debido a que todavía en el país hay una concentración de indígenas importante (tabla 3.18). Tal razón lleva a la preocupación por conocer el nivel de capacidad para la utilización de los sistemas de calefacción instalados en su vivienda.

Tabla 3.18 Valoración del indicador: conocimiento y manejo de los sistemas de calefacción

Nivel	Componente (categoría)	Condición vulnerabilidad
100	Personas analfabetas e indígenas que no hablan español	Alto
50	Personas que saben leer y escribir	Medio
0	Personas que conocen el manejo y funcionamiento de los sistemas de calefacción.	Bajo

Vivienda

En el caso de la vivienda, debe indicarse el tipo de ésta, si posee los servicios de agua potable, drenaje y energía eléctrica, para que las familias puedan recibir los mensajes de alerta en caso de ocurrir una emergencia por el descenso de la temperatura (tabla 3.19).

Tabla 3.19 Valoración del indicador: vivienda

Nivel	Componente
30	Vivienda ocupada por una familia
20	Vivienda ocupada por cuarto que contenga a dos habitantes
20	Estado de la vivienda en condiciones adecuadas
10	Vivienda con agua entubada
10	Vivienda con drenaje
10	Vivienda con energía eléctrica

Si la vivienda cumple con todos los componentes anteriores, la condición de vulnerabilidad es muy baja; si le falta uno de los servicios es baja, si no posee ningún servicio es media, si los cuartos son ocupados por más de tres personas es alta y si vive más de una familia es muy alta.

De acuerdo con el tipo de construcción de la vivienda propuesta por Reyes, et al., (2004), se forma la siguiente clasificación (tabla 3.20).

Tabla 3.20 Clasificación de la vivienda según tipo y características

Tipo de vivienda	Características de la vivienda
I	Presenta muros de mampostería con techos rígidos. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o de mampostería.
II	Comprende muros de mampostería con techos flexibles. Igual que el tipo 1, su cimentación, es construida con una zapata corrida de concreto o de mampostería.
III	Tiene muros de adobe con techo rígidos. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.
IV	Muestra muros de adobe con techos flexibles. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.
V	Construida con muros de materiales débiles con techos flexibles. Generalmente no cuentan con cimentación.

Índice de vulnerabilidad por bajas temperaturas

De acuerdo con lo anterior, se elaboró la tabla 3.21, en la que se muestra la clasificación de cada uno de los elementos incluidos en la evaluación de la vulnerabilidad.

Tabla 3.21 Calificación de cada uno de los elementos de la vulnerabilidad

Indicador	Ponderación (%)
Acceso a instituciones de salud	25
Personal médico	10
Condición sanitaria	15
Densidad de población	10
Grupos de edad	10
Conocimiento y manejo de los sistemas de calefacción.	10
Clase de vivienda	20
Total	100

Finalmente, el índice de vulnerabilidad IDV, está dado según la ponderación de los tres elementos descritos anteriormente que son; salud de la población (EI), asentamientos humanos (EII) y vivienda (EIII); dicho índice se compone de la siguiente manera:

$$\text{IDV \%} = \text{EI} + \text{EII} + \text{EIII}$$

La ponderación será distribuida de la forma siguiente:

$$\text{IDV (100\%)} = \text{EI (50\%)} + \text{EII (30\%)} + \text{EIII (20\%)}$$

Así, la condición de vulnerabilidad se traduce como se muestra en la tabla 3.22.

Tabla 3.22 Condición de vulnerabilidad

Nivel	Vulnerabilidad
0-20	Muy bajo
21-40	Bajo
41-60	Medio
61-80	Alto
81-100	Muy alto

Los rangos establecidos presentan las siguientes características:

1. *Vulnerabilidad muy baja*: Manifiesta excelentes condiciones en la estructura social y económica de la población, que permiten resistir a las bajas temperaturas.
2. *Vulnerabilidad baja*: Tiene condiciones favorables en su estructura social, principalmente en la vivienda y servicios básicos, que permiten afrontar las consecuencias ocasionadas por bajas temperaturas.
3. *Vulnerabilidad media*: Expone valores intermedios en la estructura social de la población, que resulta en algunas dificultades como su organización para asimilar los estragos de las bajas temperaturas.
4. *Vulnerabilidad alta*: Muestra las carencias existentes en la estructura social y económica de la población, para afrontar bajas temperaturas. Además, requiere de ayuda y de periodos largos para solucionar sus necesidades básicas.
5. *Vulnerabilidad muy alta*: Presenta a la población con sus niveles más bajos en el sector educación, salud, vivienda e ingresos. Por ello, demanda de ayuda externa para recuperarse del desastre, así como de varios años para recobrar la estabilidad en la comunidad. Además, quedan secuelas de largo plazo. Esto implica la tarea de trabajar arduamente en programas de prevención y desarrollo social.

Funciones de vulnerabilidad por bajas temperaturas

La estimación de la vulnerabilidad utilizada en este documento está relacionada específicamente con el umbral de temperatura de cinco a cero grados centígrados, debido a que se considera que a partir de este rango ocurren problemas en la salud de la población. Sin embargo, las gráficas de vulnerabilidad están exentas de cualquier cuadro médico.

En las figuras 3.36 a la 3.40 se muestra la relación existente entre los grupos de población según su edad y la duración de temperatura; se recuerda que los primeros se identificaron en la tabla 3.17.

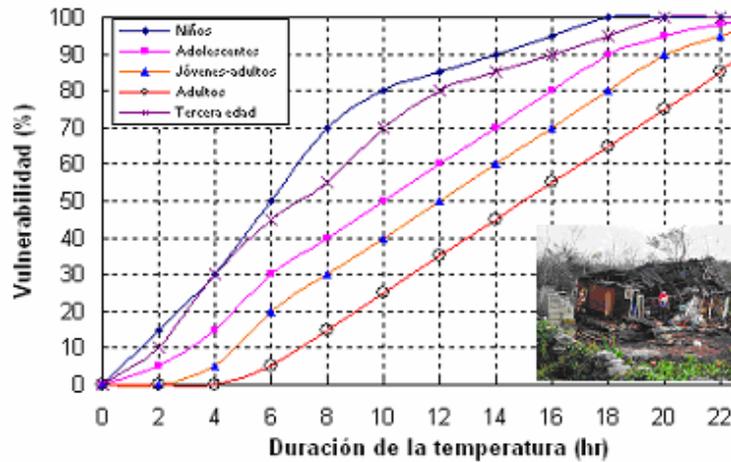


Figura 3.36 Función de vulnerabilidad muy alta

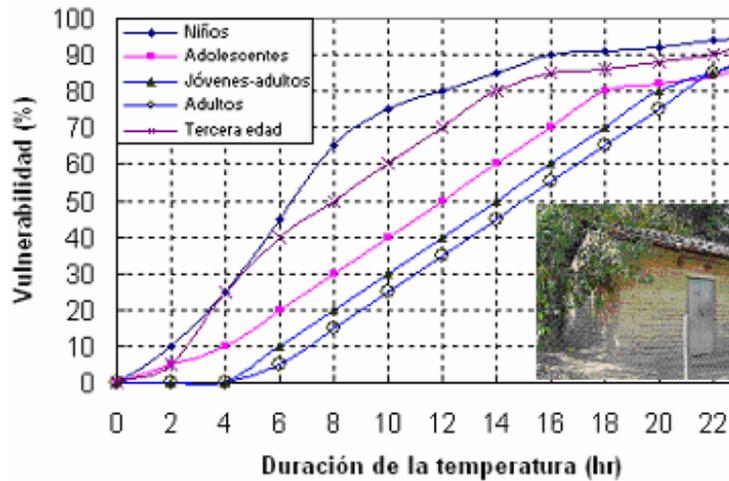


Figura 3.37 Función de vulnerabilidad alta

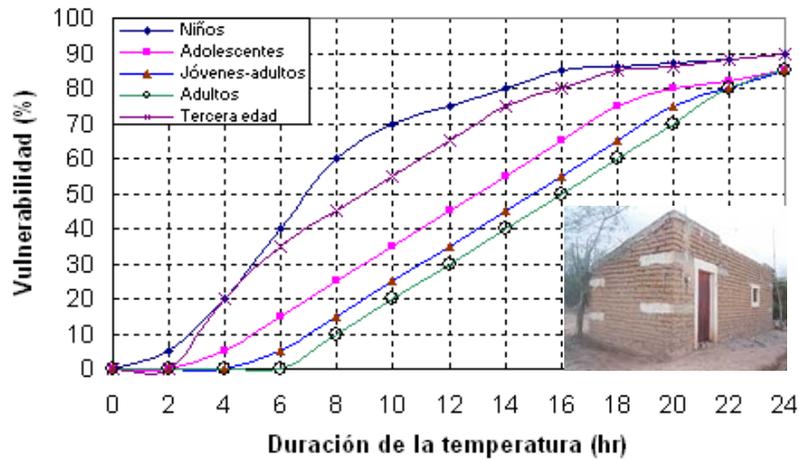


Figura 3.38 Función de vulnerabilidad media

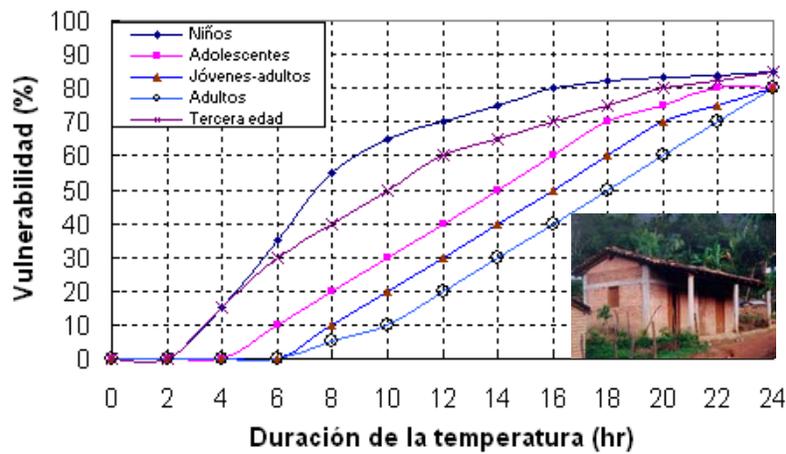


Figura 3.39 Función de vulnerabilidad baja

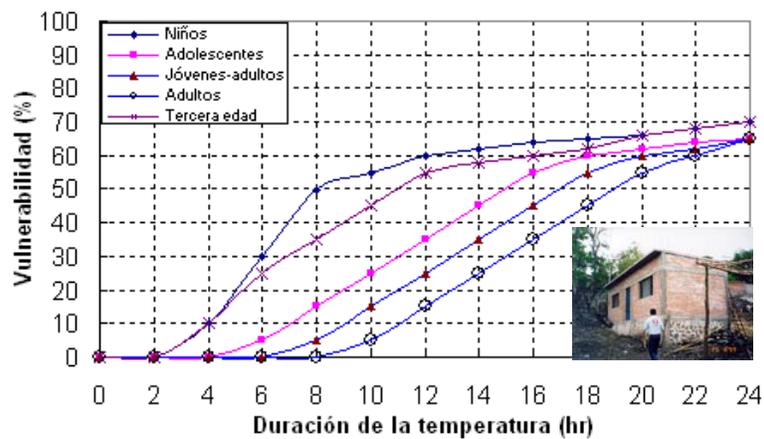


Figura 3.40 Función de vulnerabilidad muy baja

Para conocer todos los requerimientos necesarios para el análisis de la vulnerabilidad, es conveniente realizar encuestas donde se utilicen los criterios anteriores en cada vivienda y a sus habitantes. Para ello se sugiere aplicar el siguiente cuestionario como parte de la conversación con cada familia.

Identificación de la vulnerabilidad por bajas temperaturas	Conocimiento de la población	Material de construcción de la vivienda ² :
Estado: _____	Los habitantes reciben capacitación sobre los riesgos a la salud: SI _____ NO _____	Techo: Concreto _____ Lámina-Cartón _____ Lámina-Asbesto _____ Teja _____ Otros _____
Municipio: _____	Las personas están concientes que vivir en una vivienda sin ventanas provoca que se respire aire contaminado: SI _____ NO _____	Inclinación del techo (grados) 0 _____ 30 _____ 10 _____ 40 _____ 20 _____ 50 _____ >50 _____
Localidad: _____	La población conoce que ocupar más de tres personas un cuarto, es un riesgo a la salud: SI _____ NO _____	Estado del material del techo: Bueno _____ Regular _____ Malo _____
Manzana o lote: _____	La familia tiene acceso a los centros de salud: SI _____ NO _____ De qué tipo? IMSS _____ SEGURO POPULAR _____ ISSSTE _____ PEMEX _____ DEFENSA _____ MARINA _____ SEGURO EN INSTITUCIONES PRIVADAS _____	Muros: Madera _____ Adobe _____ Tabique _____ Otros _____
No. de habitantes en la vivienda ¹ : _____	Número de visitas realizadas al centro de salud o al médico durante la época invernal _____	Sección de la viga de soporte: Rectangular _____ Circular _____
Nombre y edad del jefe de familia: _____	Principales enfermedades registradas durante el invierno: _____	Tipo de material de la viga de soporte _____ Grado de deterioro de la viga _____
Nombres y edades de los integrantes de la familia: _____	Número de personas enfermas durante el invierno: _____	Pisos: Concreto _____ Tierra _____ Otros _____
Croquis de localización	Edad y sexo de las personas enfermas (con mayor frecuencia) _____	Orientación de la vivienda: Norte _____ Sur _____ Este _____ Oeste _____
Croquis de localización	La vivienda cuenta con luz eléctrica? SI _____ NO _____	Iluminación: Sin ventanas _____ 1 Ventana _____ 2 a 3 ventanas _____ más de 4 ventanas _____
Croquis de localización	En la vivienda hay: Televisor _____ Radio _____ Teléfono _____	Ventanas: Vidrio _____ Plástico _____ Lámina _____
Croquis de localización	Esta vivienda tiene drenaje? SI _____ NO _____ Está conectado a : La red pública _____	Número de cuartos³: 1 cuarto _____ 2 a 3 cuartos _____ más de 4 cuartos _____

Continúa

Identificación de la vulnerabilidad por bajas temperaturas	Conocimiento de la población	Material de construcción de la vivienda ² :
	Los habitantes reciben capacitación sobre los riesgos a la salud: SI _____ NO _____	Techo: Concreto _____ Lámina-Cartón _____ Lámina-Asbesto _____ Teja _____ Otros _____
	Fosa séptica _____	
	La población habla alguna lengua indígena? SI _____ NO _____ Qué lengua indígena o dialecto habla? _____	Posee cuarto de cocina: SI _____ No _____ Estufa SI _____ NO _____ Horno rudimentario (fogón) SI _____ NO _____ Otro _____
	La población habla también español? SI _____ NO _____	Para cocinar se utiliza leña SI _____ NO _____ Se utiliza carbón SI _____ NO _____
Cuántas personas saben leer y escribir? Leer _____ Escribir _____	⁴ Para mantener cálida la vivienda Utiliza horno SI _____ NO _____ Utiliza calentón SI _____ NO _____ Otro _____ -	

NOTAS:

- ¹ ¿Cuántas personas viven normalmente (incluir niños y ancianos)?
- ² ¿De qué material es el techo, muros y pisos?
- ³ ¿Cuántos cuartos se utilizan para dormir, sin incluir la cocina?
- ⁴ ¿Sabe cómo proteger su vivienda en época de frío, lluvias, vientos y otros fenómenos?

Si no es posible elaborar las encuestas se deberá utilizar la siguiente estimación de vulnerabilidad, que se basa en la comparación de los índices de Marginación (IM) elaborado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), Regiones Socioeconómicas de México (RSM) (anteriormente Niveles de Bienestar de México) obtenidas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y el Índice de Desarrollo Humano (IDH) formado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), este último retoma la metodología propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Todos ellos utilizan las variables de vivienda, ingresos, educación y distribución de la población, los cuales son indicadores que forman parte del cuestionario anterior.

Se asignó un valor para cada municipio del país y con ello, se formó el mapa de vulnerabilidad que se presenta en la figura 3.43. Asimismo, en el anexo A se puede buscar la categoría de vulnerabilidad para todos los municipios de México.

Es importante mencionar que la condición de vulnerabilidad de algunos municipios es ambigua, debido a que el criterio incluye a todo el municipio, sin tomar en cuenta aquellas localidades que tienen características diferentes, por ejemplo, Tijuana (BC), Juárez (Chih), Valle de Chalco (Méx), entre otros, que son municipios con una vulnerabilidad media a baja, y sin embargo, en ellos se encuentran localidades muy vulnerables; por tal motivo, se recomienda en la mayoría de los casos utilizar las encuestas, para destacar las particularidades de cada comunidad. No obstante, el presente estudio es una primera aproximación al conocimiento de la vulnerabilidad del municipio.

3.3.4 Función de vulnerabilidad por nevadas

Los fenómenos meteorológicos que provocan las nevadas son los que ocurren generalmente durante el invierno, como son las masas de aire polar y los frentes fríos, que en algunas ocasiones llegan a interactuar con corrientes en chorro, líneas de vaguadas, y entrada de humedad de los océanos hacia tierra adentro. Estos fenómenos provocan tormentas invernales que pueden ser en forma de lluvia, aguanieve o nieve (figuras 3.41 y 3.42).



Figura 3.41 Lluvia de invierno en la ciudad de México



Figura 3.42 Nevada ocurrida en el volcán Popocatépetl

Las nevadas pueden ocasionar graves problemas a la población como son muerte por hipotermia, aumento de enfermedades en vías respiratorias, acumulación de nieve en los techos de las casas y su colapso, bloqueo de caminos, congelamiento de la red de agua potable, suspensión de las actividades aéreas, suspensión de labores y clases en las escuelas, aumento de enfermedades respiratorias, presencia de avalanchas, pérdidas en la producción de cultivos, el ganado que está a la intemperie puede morir congelado, etc.

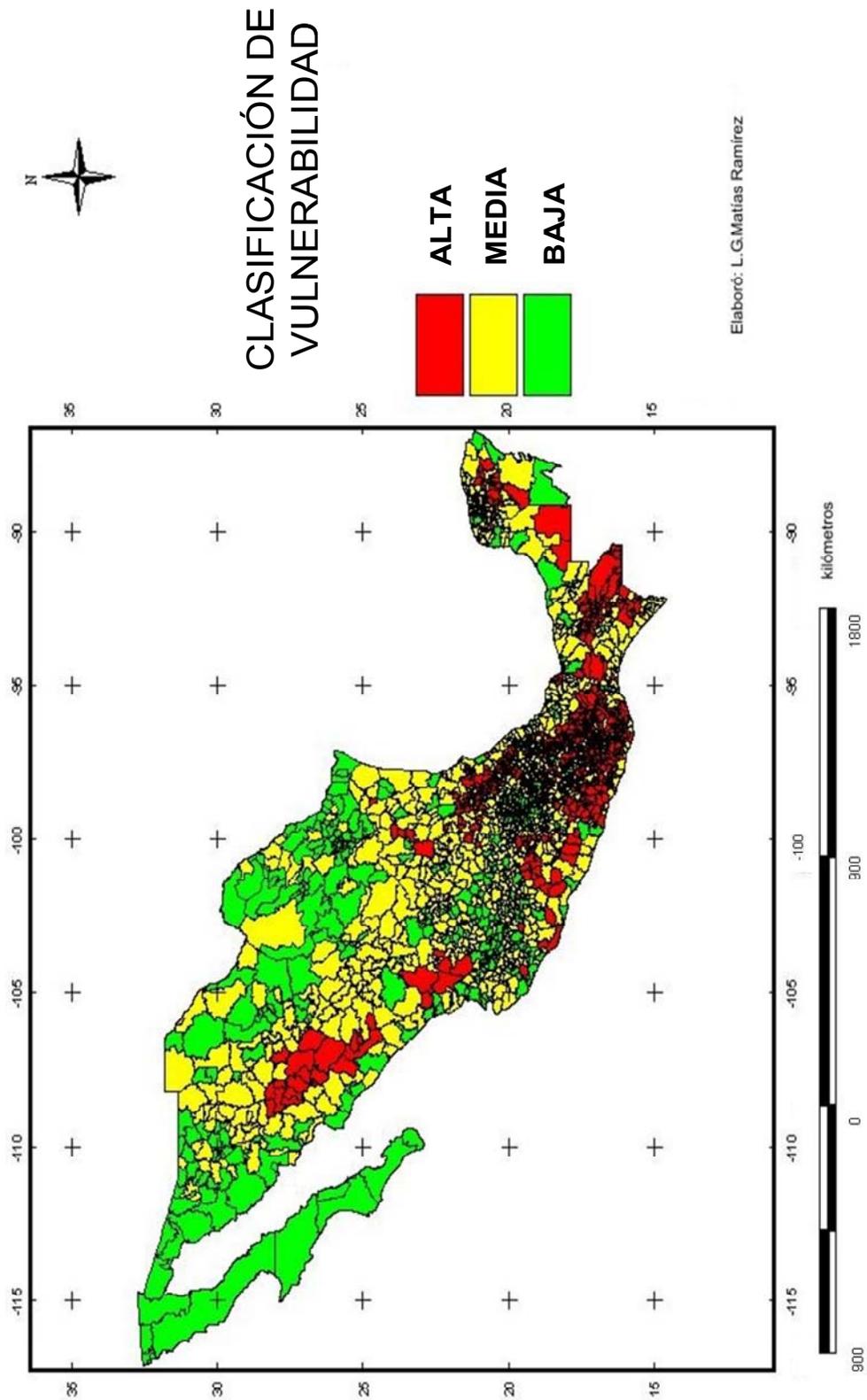


Figura 3.43 Distribución de la vulnerabilidad en México según el tipo de calidad de vida

Reseña histórica sobre nevadas en México

En la tabla 3.23 se presenta un resumen de algunos acontecimientos históricos de nevadas ocurridas en México, así como los daños ocasionados por este fenómeno. Esta información fue obtenida de medios periodísticos.

Tabla 3.23 Impacto de algunas nevadas en México

Fecha	Estados afectados	Muertos	Daños causados
Marzo de 1940	Distrito Federal, Estado de México e Hidalgo	9 (congelamiento)	El tráfico aéreo fue suspendido
Febrero de 1960	Coahuila, Durango, Sonora, Chihuahua, Distrito Federal y Tamaulipas	No hubo	Fueron cerradas las carreteras principales y los aeropuertos de Saltillo, Nogales, Monterrey y Matamoros. Hubo tres accidentes automovilísticos debido al congelamiento del pavimento.
Enero de 1967	El 50 % del territorio Mexicano fue afectado desde la ciudad de México hasta el norte del país y lugares por encima de los 200 msnm.	31 (congelamiento), la mayoría fue en la ciudad de México	200 personas quedaron atrapadas en las carreteras nevadas entre Monterrey y Saltillo. El tráfico aéreo y terrestre fue suspendido en Durango. Nevó en la ciudad de México, algo excepcional. Varios autos quedaron atrapados en las principales carreteras que unen a la ciudad de México con otras ciudades.
Marzo de 1987	Distrito Federal, Estado de México y Puebla	6 (congelamiento), en la ciudad de México	Las tuberías de agua sufrieron daños. Pérdidas económicas grandes debido a accidentes automovilísticos en las principales carreteras que unen a la ciudad de México con Puebla, Pachuca, Toluca y Cuernavaca.
Diciembre de 1989	Nuevo León	8 (congelamiento)	Fue cerrada la carretera México – Piedras Negras, además nevó en la ciudad de Monterrey por espacio de 2 horas.
Enero de 1992	Nuevo León, San Luis Potosí, Coahuila, Zacatecas, Durango, Guanajuato, Aguascalientes, Jalisco, Chihuahua, Tamaulipas y Estado de México	77 en total de los cuales 22 murieron en la sierra Tarahumara	En la sierra Santa Rosa la nieve alcanzó un espesor de 50 cm. La mayoría de las sierras de estos estados sufrieron nevadas.
Enero de 1995	Distrito Federal y sur del Estado de México (zona montañosa del nevado de Toluca y faldas del Popocatepetl)	3 desaparecidos en el Popocatepetl	La nieve alcanzó 30 cm en las faldas del nevado de Toluca y Popocatepetl.
Abril de 1995	Baja California (sierra de la Rumorosa)	15 por accidentes de tráfico	La tormenta de nieve fue causada por una tormenta proveniente del Golfo de Alaska.
Enero de 1997	Sonora (Nogales), Chihuahua (Ciudad Juárez y sierra de los Tarahumaras), Baja California (sierra de la Rumorosa), Durango	2 en Sonora y 7 en Chihuahua	La nieve alcanzó 10 cm de espesor en Nogales, las escuelas y fábricas pararon sus actividades en sonora y el tráfico aéreo y terrestre dejó de funcionar en Chihuahua.
Enero de 1998	Sonora (sierra)	No se reportaron	La nieve alcanza un espesor de 1.2 m, existen 8 poblados incomunicados.
Febrero de 1998	Hidalgo y Tlaxcala	No se reportan	En Hidalgo la nevada provocó el corte de energía eléctrica en gran parte del estado, en Tlaxcala, en el municipio de Tlaxco, la nieve alcanzó 50 cm de espesor.

Uno de los lugares donde ocurren con frecuencia las nevadas y donde se tiene mayor información sobre la ocurrencia de éstas, es en las faldas del Nevado de Toluca. En la tabla 3.24 se muestra un resumen de acontecimientos sobre nevadas en esta región.

Tabla 3.24 Eventos de nevadas en el valle de Toluca

Fecha	Municipios Afectados	Techos Caídos	Espesor de nieve (cm)	Comentarios	Temp. Registrada
11, ene, 1967	Toluca, Temascaltepec, Sultepec, Ocoyoacac		8 a 20 (14 prom)	23 casas se vieron afectadas por un derrumbe, sus techos eran de lámina de cartón. Entre las poblaciones afectadas están: Mesón Viejo, Tequisquiapan, Mina de Agua, Albarranes, San Francisco Oxtotipan, Buenavista, Casa Vieja, La Puerta, Atlapulco, Guadalupe Victoria, y Raíces.	2 y 5° C bajo cero
27, ene, 1980	Toluca, Zinacantepec		100	En las cercanías del Nevado de Toluca, las poblaciones de Zinacantepec, Raíces y 17 rancherías fueron declaradas zonas de emergencia. 5 poblados comunicados. En algunas regiones del Valle de México la nieve alcanza más de un metro de altura.	
13, mar, 1983	Toluca		10	50 personas atrapadas por la nieve a bordo de sus vehículos.	
30, ene, 1992	Zinacantepec		40	La nieve alcanzó 40 cm de espesor en las regiones medias, en tanto que en la zona alta del volcán el espesor de nieve llegó a 1 m. En la carretera Toluca-Sultepec y Naucalpan-Jiquipilco la nieve alcanzó 30 cm de altura. las poblaciones más afectadas fueron Raíces, Loma Alta, El Capulín y La Peñuela.	10°C bajo cero
19, dic, 1996	Zinacantepec		30	La nieve cubrió a la comunidad de Raíces, otras comunidades afectadas fueron Loma Alta, La Puerta, La Joya, La Siervita y Peñuela.	
02, ene, 1997	Zinacantepec		19 a 30 (25 prom)	En el nevado la nieve alcanza desde 19 a 30 cm de espesor en diversos lugares.	3°C bajo cero
13, feb, 1999	Toluca		2	Nevada de hasta 2 cm de espesor afectó la población La Loma, Buenaventura, El Capulín y Loma Alta.	
10, nov, 1999	Toluca		100		

Continúa

Tabla 3.24 Eventos de nevadas en el valle de Toluca

Fecha	Municipios Afectados	Techos Caídos	Espesor de nieve (cm)	Comentarios	Temp. Registrada
27,ene,2001	Toluca, Zinacantepec		10	Los poblados más afectados por el meteoro fueron: Raíces, La Puerta, y Peñuelas.	2°C bajo cero
03,mar,2001	Toluca		5	Se vieron afectadas las comunidades de La Ciervita y La Joya.	
04,mar,2001	Toluca		40	18 comunidades afectadas por la nevada.	
14,ene,2002	Zinacantepec	20	40	20 familias quedaron sin techo en la comunidad de Raíces, Durante la noche la nieve alcanzó los 17 cm en la parte más baja del volcán, y en la más alta rebasó los 23 cm.	
12,feb,2002	Toluca		20	Las comunidades afectadas por la nieve fueron: Raíces, Loma Alta, La Peñuela, La Guacamaya, El Capulín y La Ciervita	
13,feb,2002	Toluca		20	Las carreteras cerradas son Toluca-Tejupilco, Toluca Valle de Bravo, ante la caída de nieve en el Nevado de Toluca.	
17,ene,2004	Toluca, Zinacantepec		10	Se realizaron cortes carreteros en los municipios de Sultepec, Zinacantepec, Amecameca y La Marqueza.	
17,ene,2004	Zinacantepec		8	Se reportó un fallecimiento por hipotermia, ya que el termómetro marcó 8 grados bajo cero.	8°C bajo cero
17,ene,2004	Zinacantepec		50	El cierre de carreteras se debió a la caída de nieve.	
16,ene,2004	Zinacantepec	36	7 a 10 (prom. 8)	PC estatal distribuyó pacas de láminas de asbesto a las 36 familias afectadas para reponer los techos que destruyó la nieve.	

Para establecer una función de vulnerabilidad por nevadas es importante definir que características de la nevada se van a considerar y que ocasione daños a la población expuesta. Como se puede observar en la tabla anterior, uno de los daños que causan las nevadas a la vivienda es el colapso de los techos endebles (lámina) debido al sobrepeso de la nieve (figura 3.44). Por lo que se propone establecer una función de vulnerabilidad que relacione el espesor de nieve con la afectación a la vivienda.

**Figura 3.44 Nieve sobre un techo endeble**

Sin embargo, el Servicio Meteorológico Nacional sólo reporta en sus boletines de estaciones climatológicas normales los días con nevada por mes y año, por lo que no se tiene una cuantificación del espesor de nieve que lleve a cabo una institución especialista. Debido a esto se propondrán dos métodos para obtener funciones de vulnerabilidad por nevadas

1^{er} método: sólo se tiene reportado si cae nieve o no en cierta región

El criterio de análisis que se plantea es combinar las áreas donde han ocurrido nevadas históricamente en México (figura 3.45) con el mapa de índice de marginación que publica la CONAPO en su página de Internet: <http://www.conapo.gob.mx> (figura 3.46). Este mapa está dado hasta un nivel estatal (figura 3.47), por lo que tendrá sus limitantes cuando se quiera trabajar a nivel de localidad y, aún más, a nivel de casa por casa.

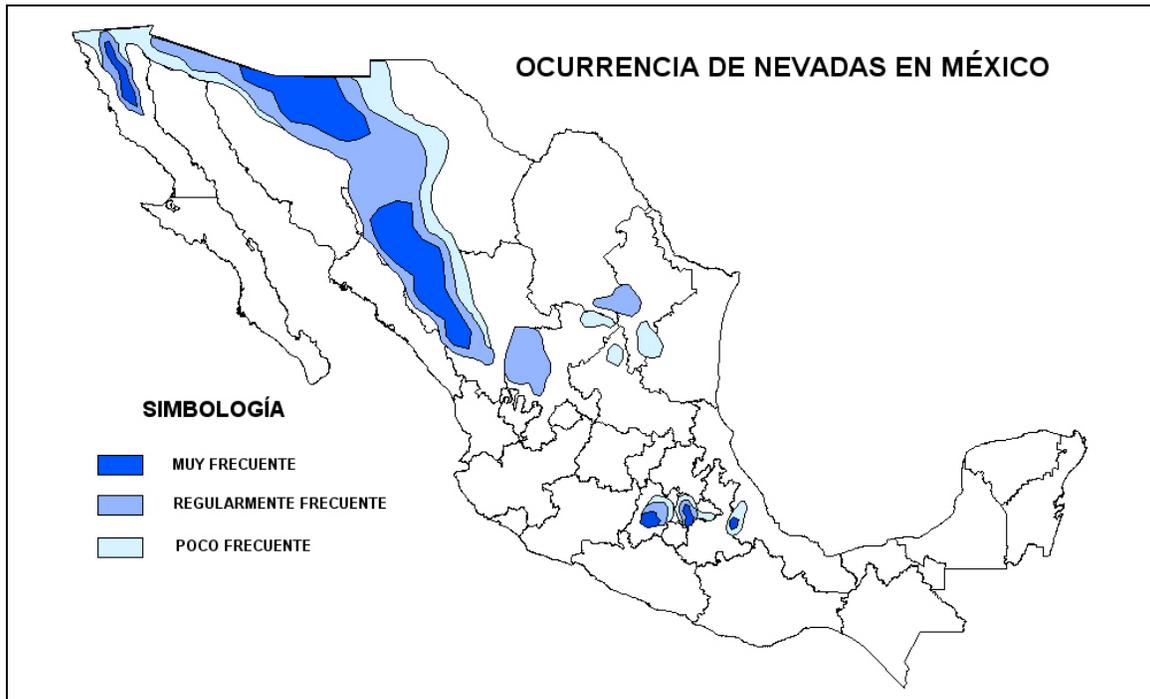


Figura 3.45 Mapa de ocurrencia de nevadas en México (elaborado en el área de Riesgos Hidrometeorológicos del CENAPRED y combina elevaciones por arriba de los 2000 msnm y noticias de periódicos)

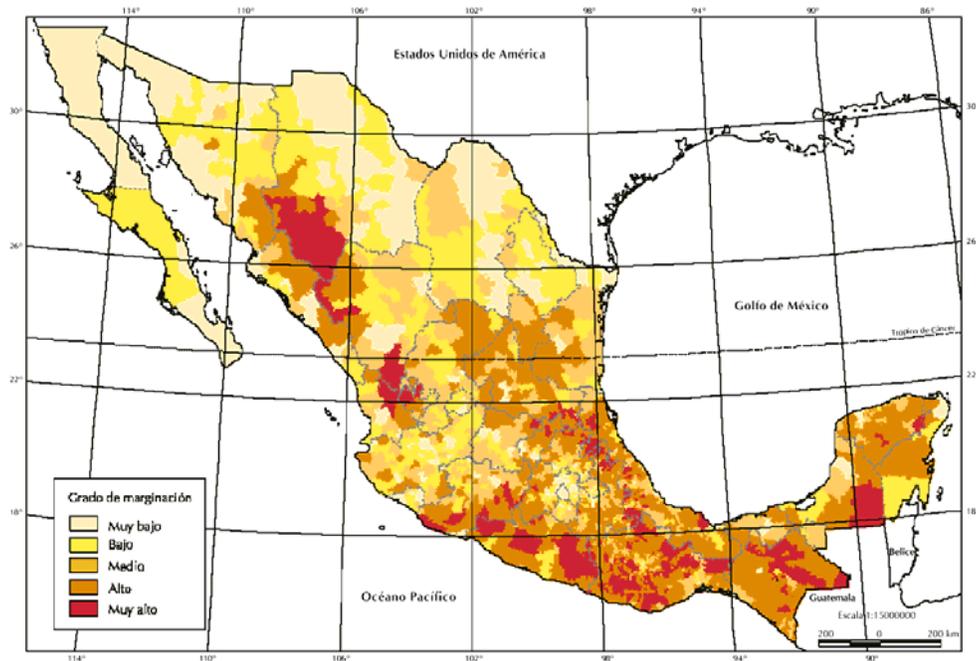


Figura 3.46 Índice de marginación en el país por municipio (Fuente: Conapo 2000)

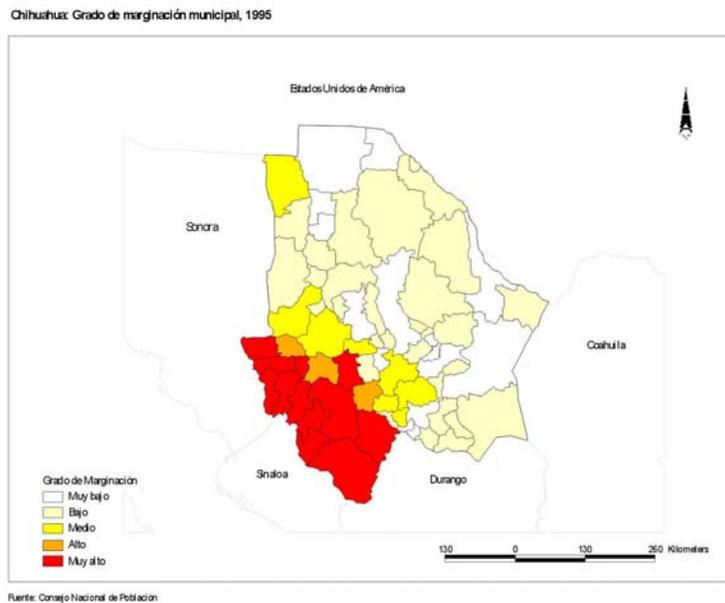


Figura 3.47 Índice de marginación de Chihuahua a nivel estatal (Fuente: Conapo 2000)

La CONAPO establece cinco índices de marginación en función de la calidad de vida de los pobladores, del nivel de estudios, tipos de bienes en su vivienda, el número de habitaciones de la casa y los acabados, y no habla del tipo de techo, entonces, para aplicar lo propuesto aquí se hará la siguiente equivalencia entre índice de marginación y tipo de techo, tabla 3.25.

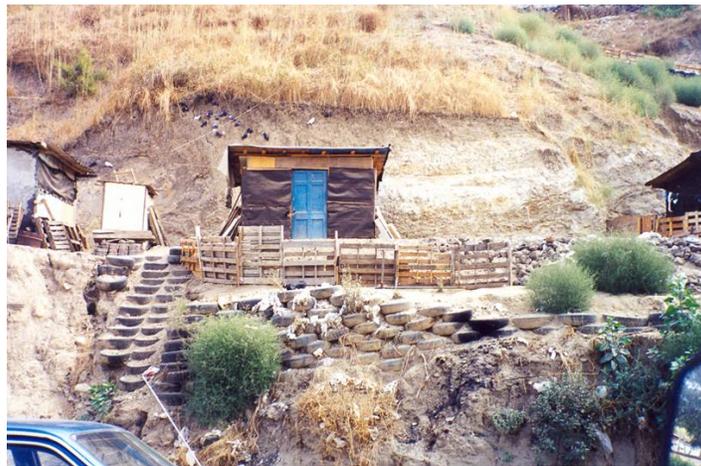
Tabla 3.25 Equivalencia entre índice de marginación y tipo de techo

Índice de marginación y color asignado	tipo de techo
Muy bajo (blanco)	De losa de concreto bien construido con buen diseño estructural
Bajo (crema)	De losa de concreto con diseño estructural regular
Medio (amarillo)	De losa de concreto ó techos resistentes
Alto (naranja)	De techo de lámina con soportes y muros de mampostería resistentes
Muy Alto (rojo)	De techo de lámina con muros endebles sin refuerzo estructural

Como se puede ver en la tabla anterior, habrá dos tipos genéricos de casas: las que no tienen problemas de caída de sus techos (índice de marginación de muy bajo a mediano (figura 3.48) y las que sí tienen problemas de caída de sus techos (índice de marginación de alto a muy alto (figura 3.49).



**Figura 3.48 Casas sin problema de colapso de sus techos
Índice de marginación de muy bajo a mediano**



**Figura 3.49 Casas con problema de colapso de sus techos
Índice de marginación de alto a muy alto**

Al sobreponer el mapa de ocurrencia de nevadas con el índice de marginación (figuras de la 3.50 a la 3.57) se obtiene una lista de los estados con sus municipios que estarán en riesgo del colapso de sus techos (tabla 3.26).

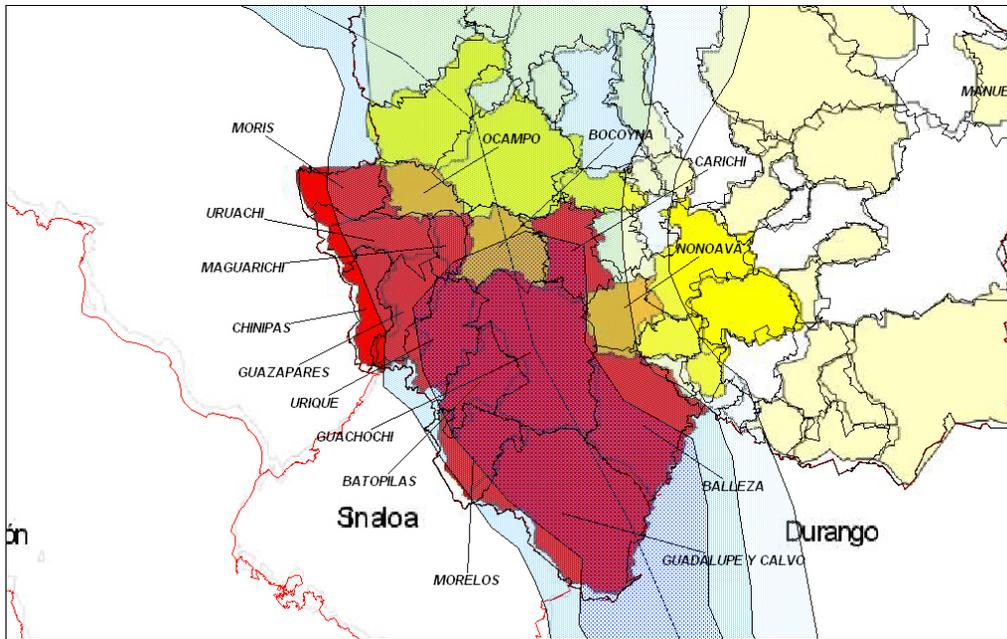


Figura 3.50 Municipios en peligro por colapso de sus techos en Chihuahua

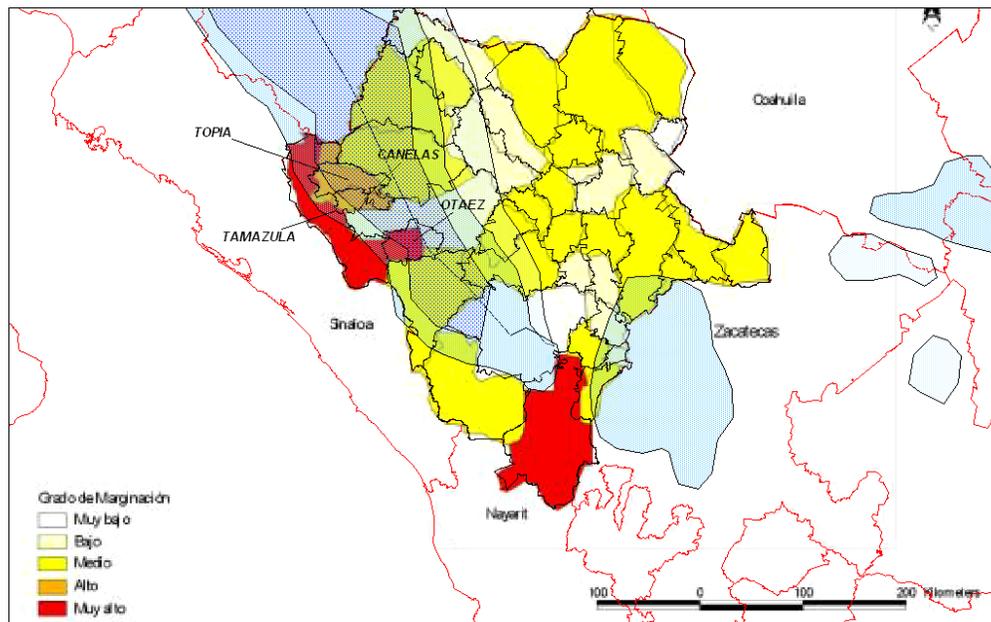


Figura 3.51 Municipios en peligro por colapso de sus techos en Durango

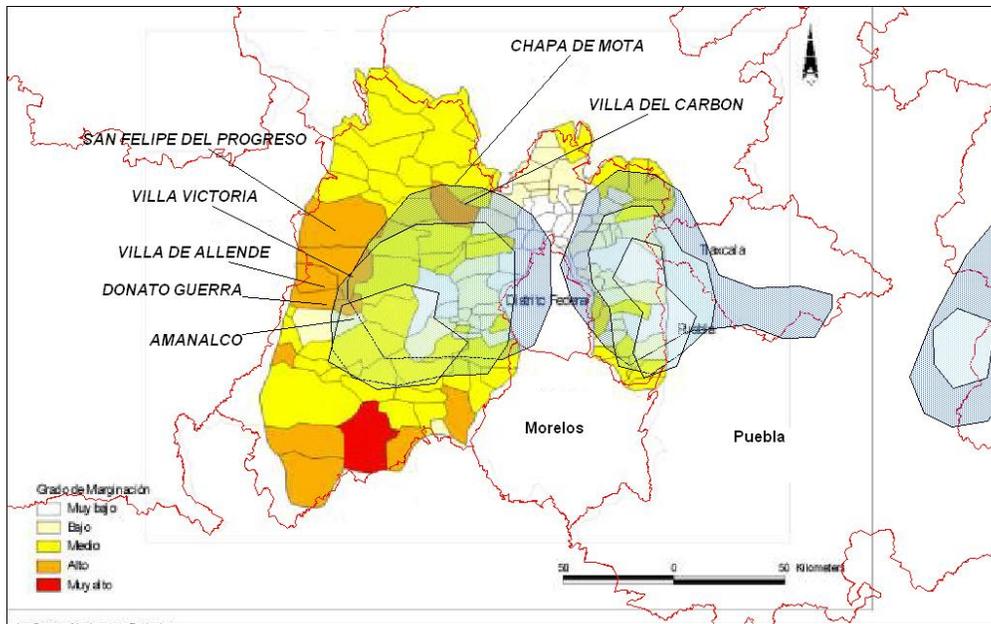


Figura 3.52 Municipios en peligro por colapso de sus techos en el Estado de México

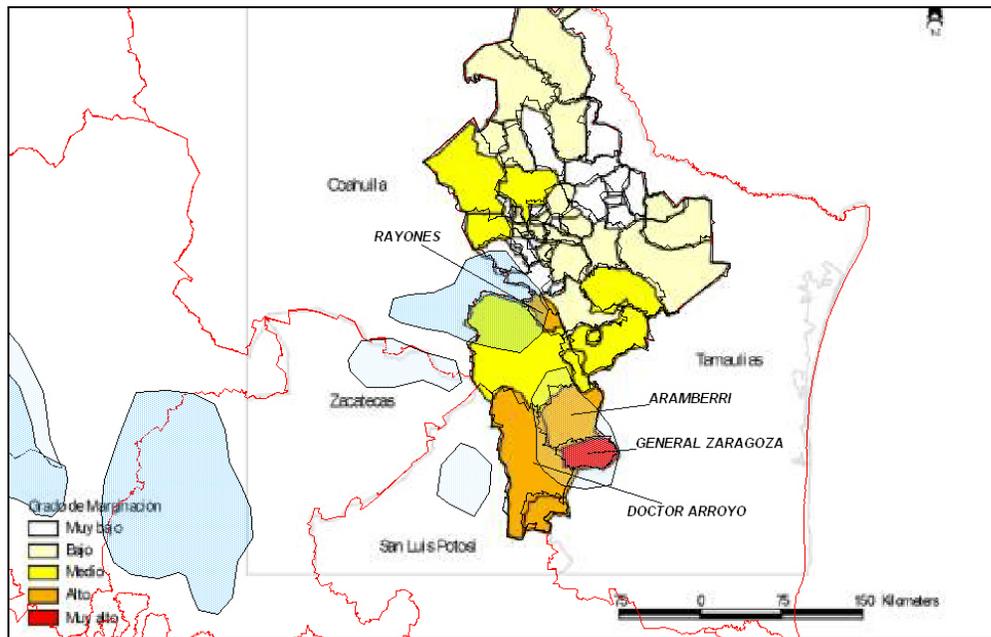


Figura 3.53 Municipios en peligro por colapso de sus techos en Nuevo León

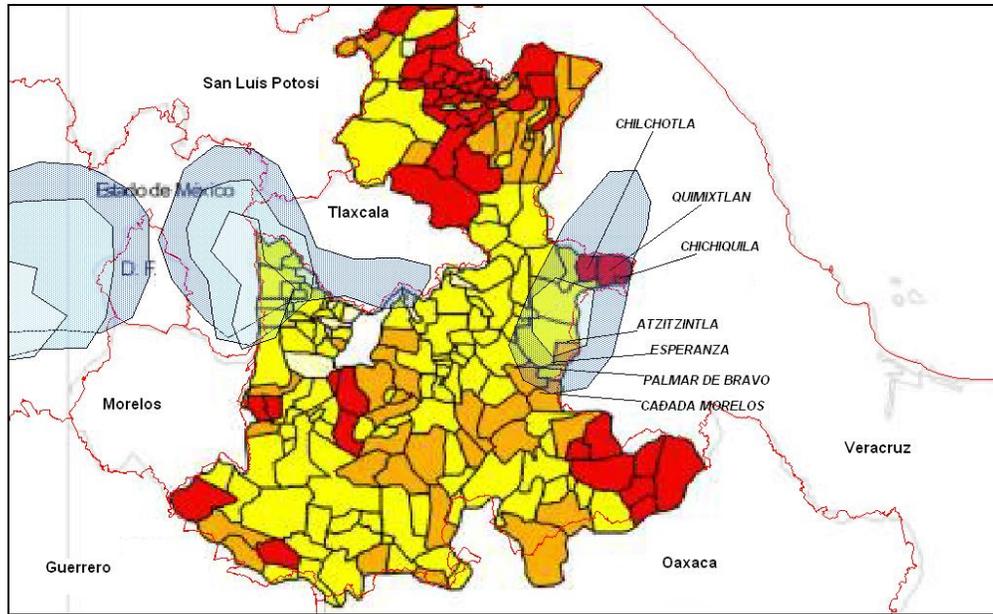


Figura 3.54 Municipios en peligro por colapso de sus techos en Puebla

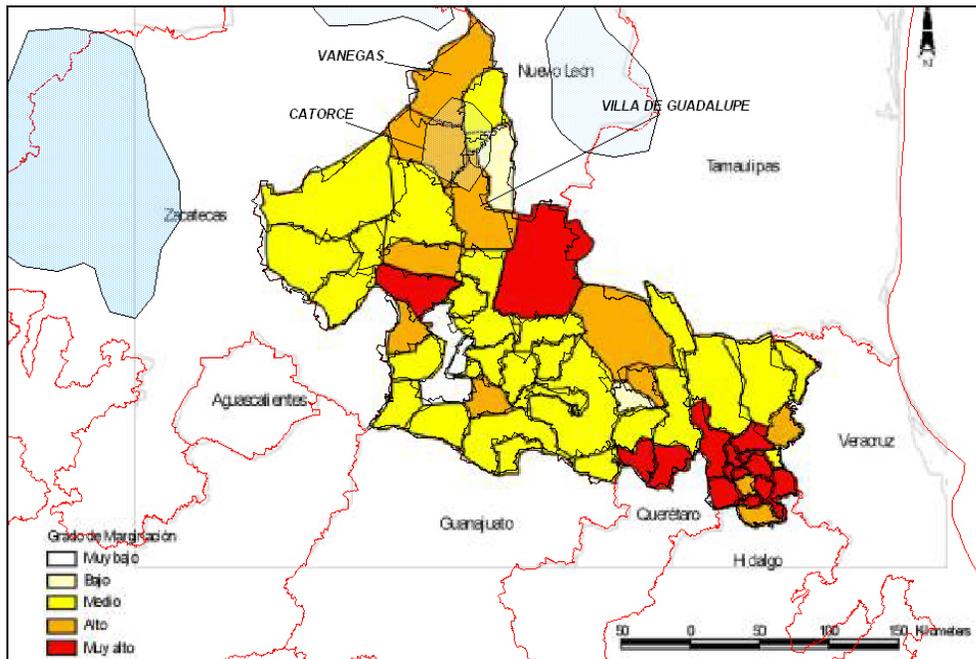


Figura 3.55 Municipios en peligro por colapso de sus techos en San Luis Potosí

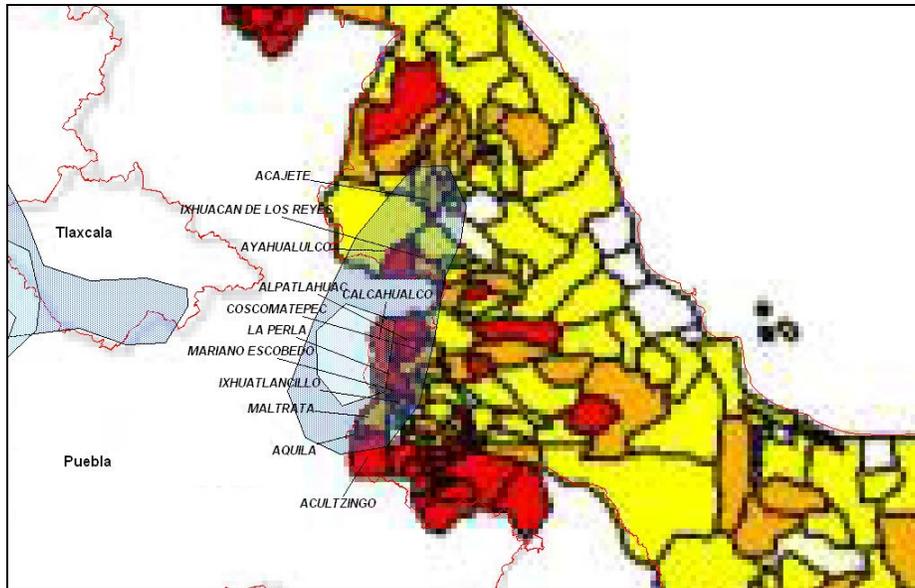


Figura 3.56 Municipios en peligro por colapso de sus techos en Veracruz

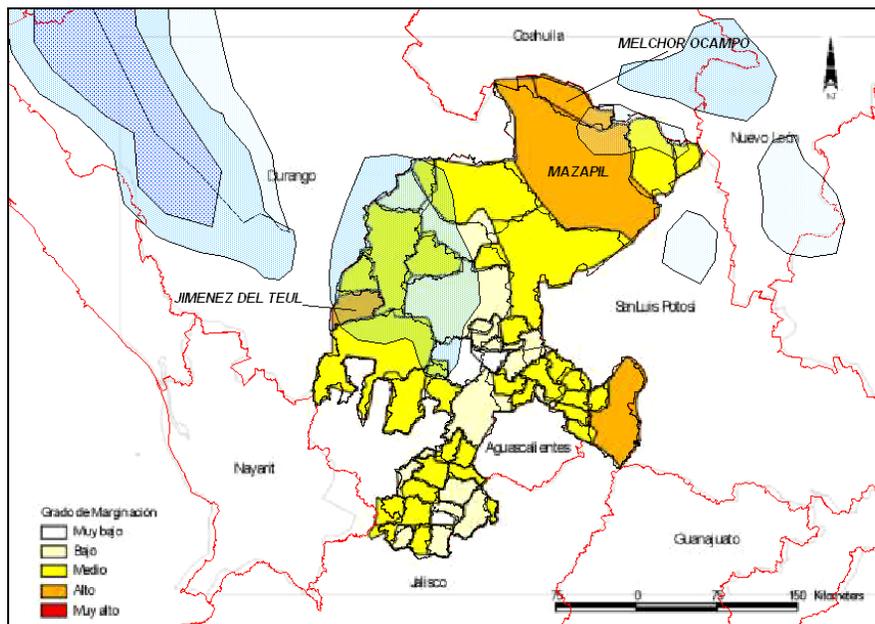


Figura 3.57 Municipios en peligro por colapso de sus techos en Zacatecas

Tabla 3.26 Lista de municipios con peligro de colapso de los techos

Baja California	Coahuila	Distrito Federal
NO HAY	NO HAY	NO HAY
Sonora	Nuevo León	Puebla
NO HAY	Aramberri Doctor Arroyo General Zaragoza Rayones	Atzitzintla Cañada Morelos Chichiquila Chilchotla Esperanza Quimixtlan Palmar del Bravo
Chihuahua	Zacatecas	Tlaxcala
Balleza Batopilas Bocoyna Carichi Chinipas Guachochi Guadalupe y Calvo Guazapares Maguarichi Morelos Moris Nonoava Ocampo Urique Uruachi	Jiménez del Teul Mazapil Melchor Ocampo	NO HAY
Durango	San Luis Potosí	Veracruz
Canelas Otaez Tamazula Topia	Catorce Villa de Guadalupe Venegas Morelos San Felipe del Progreso Villa de Allende Villa del Carbón Villa Victoria	Acajete Acultzingo Alpatlahuac Aquila Ayahualco Calchahualco Coscomatepec Ixhuacan de los Reyes Ixhuatlancillo La Perla Maltrata Mariano Escobedo
Estado de México		

Es muy importante resaltar que esta lista está elaborada a nivel municipal y que puede haber comunidades con un índice de marginación de muy alto a alto, y que no está considerado su municipio en esta lista, por lo que se recomienda llevar a cabo la encuesta casa por casa planteada en el tema de bajas temperaturas.

Obtención de la función de vulnerabilidad por nevadas

Tomando en cuenta lo anterior, la función de vulnerabilidad por nevadas que resulta tendrá dos tipos; primero si en el lugar de estudio ocurre o no ocurre una nevada y, además, si los techos de las casas están o no en peligro por colapso de sus techos, dependiendo del material con el que estén contruidos (figura 3.58).

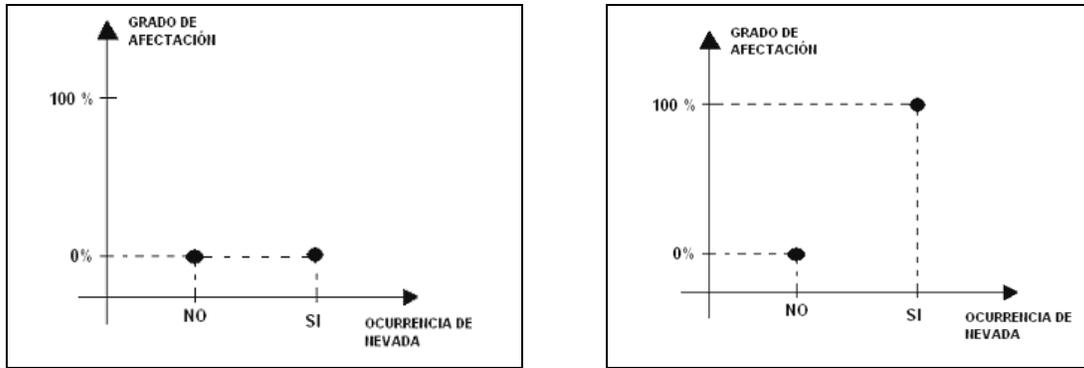


Figura 3.58 Función de vulnerabilidad para casas con índice de marginación de muy baja a mediana (techos de losa de concreto, izquierda) y casas con índice de marginación de alta a muy alta (techos de lámina, derecha)

En la literatura se menciona que el ángulo de reposo de la nieve tiene un rango de valores entre 25° a 50° , dependiendo de los cambios que vaya sufriendo la nieve en el transcurso del tiempo (metamorfosis). Si se toma el valor más desfavorable de 50° , a medida que aumente la inclinación del techo se tendrá menos riesgo de que se colapse. Si se conoce el ángulo de inclinación de las casas se tendría la siguiente función de vulnerabilidad (figura 3.59).

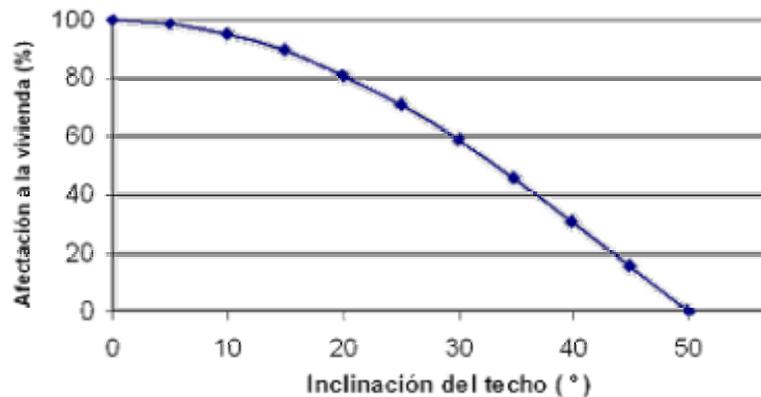


Figura 3.59 Función de vulnerabilidad por nevadas tomando en cuenta la inclinación de los techos endebles

Para los techos de losa de concreto, independientemente de la inclinación, la afectación es del 0%

2° método: se cuenta con espesores de nieve

Para este caso será necesario tomar en cuenta las características físicas de la nieve como es su densidad y peso específico, según su estado de metamorfosis (esto se presenta en el anexo B) y por otro lado hacer un análisis estructural del techo con la capa de nieve sobre él; para ello se contó con el apoyo técnico de la Subdirección de Ingeniería Estructural del CENAPRED. Así se podrá definir el espesor máximo de nieve que puede soportar un techo endeble antes de colapsarse, según su ángulo de inclinación (el desarrollo estructural está en el anexo A).

Obtención de la función de vulnerabilidad por nevadas

Como se menciona en el anexo B, se consideran las viviendas con techos endebles (lámina de cartón, asbesto o teja) para la obtención de la función de vulnerabilidad. La inclinación de estos techos puede variar, pero se ha visto que cuando menos tienen una pequeña inclinación (aproximadamente 5°) para que escurra el agua de lluvia. Si el ángulo de reposo de la nieve está entre 25° y 50° (David Mc Clung, et al., 2003), según las condiciones metamórficas de la nieve, entonces y considerando el valor más desfavorable que es el de 50° se puede decir que aquellos techos con inclinaciones mayores a este valor no tendrán problemas de colapso de techos, ya que toda la nieve que cae sobre ellos se deslizará hacia el suelo. Así, entonces, se hará un análisis estructural de la capa de nieve sobre techos endebles para un rango de valores de inclinación de los techos entre 0° y 50° (figura 3.60), considerando que 5° de inclinación prácticamente es horizontal.

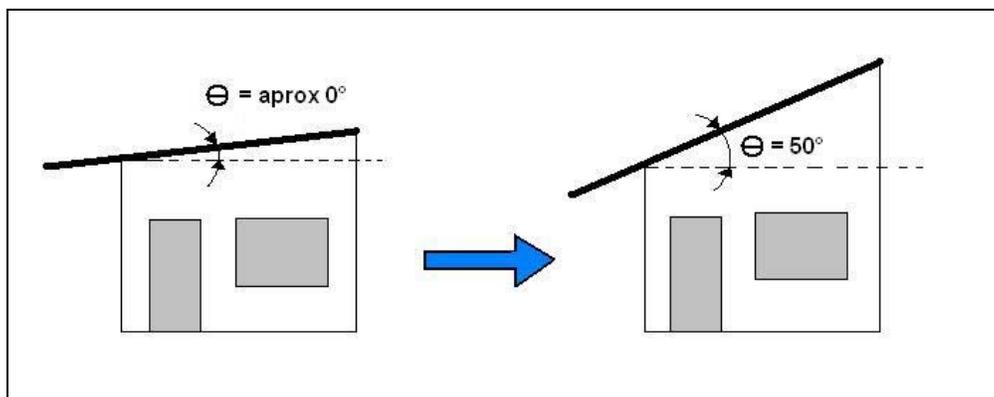


Figura 3.60 Rango de inclinaciones de los techos que se pueden colapsar

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, se podrá definir una función que relacione el ángulo de inclinación de los techos, el tipo de material con que están fabricados, el espesor de nieve y el porcentaje de afectación a la vivienda.

De la encuesta aplicada a la población, (ver el tema de función de vulnerabilidad por bajas temperaturas), se agregaron algunas preguntas que el encuestador debe llenar, como es el tipo de techo de la vivienda, que en caso de ser de lámina se debe poner el estado de deterioro que presenta, el ángulo de inclinación aproximado (se sugiere contar el número de ladrillos en hilera de la pared paralela a las vigas y el número de filas de ladrillos en el desnivel del techo) y el material de la viga que soporta las láminas.

De los cálculos realizados en el anexo B, se presenta la tabla 3.27 con los diferentes espesores de nieve que pueden soportar los techos endebles con viga de madera de sección rectangular, o circular, así como vigas de acero de sección rectangular.

Tabla 3.27 Umbral de espesores de nieve (h) para diferentes ángulos de inclinación de los techos, tipo de material de las vigas y secciones de estas

θ	w	M_{MAX}	Material de madera		Material de acero, secc. rectangular h (mm)
			Secc. rectangular h (mm)	Secc. circular h (mm)	
0°	3000 h	6000 h	43.5	28.3	211.3
10°	2954 h	5908 h	44.3	28.7	214.6
20°	2819 h	5638 h	46.3	30.1	224.8
30°	2598 h	5196 h	50.3	32.7	243.9
40°	2298 h	4596 h	55.1	36.4	276.0
50°	1928 h	3857 h	61.6	41.1	328.7

En la figura 3.61 se presenta la función de vulnerabilidad para techos de losa de concreto.



Figura 3.61 Función de vulnerabilidad para casas con techos de losa de concreto

Para la obtención de la función de vulnerabilidad en casas con techos endebles con diferentes inclinaciones se dará una explicación del proceso de cómo se llegó a esta.

Al ir depositándose la nieve en el techo se empiezan a humedecer los muros y las láminas, las cuales van perdiendo resistencia y sufren pequeños daños estructurales, hasta llegar al límite de resistencia, produciéndose su falla. Ya colapsado el techo, y al seguir cayendo nieve, los enseres se humedecen, por lo que la afectación en el techo de la vivienda y su menaje es prácticamente del 100%.

En las figuras 3.62, 3.63 y 3.64 se presentan las funciones de vulnerabilidad para techos de lámina con vigas de madera de sección rectangular y circular, así como techos de lámina con vigas de acero de sección rectangular.

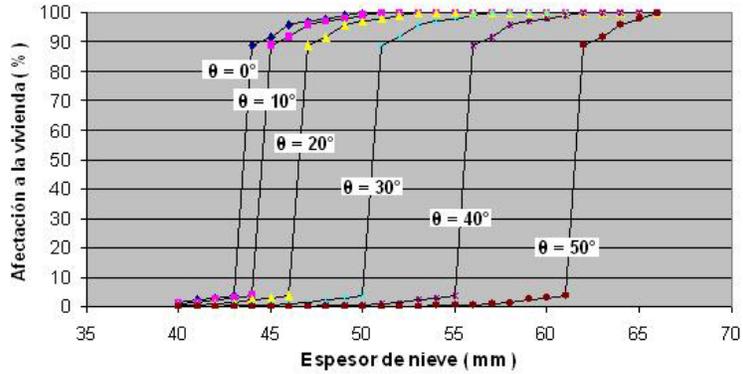


Figura 2.62 Función de vulnerabilidad para casas con techos de lámina y vigas de madera de sección rectangular para diferentes ángulos de inclinación

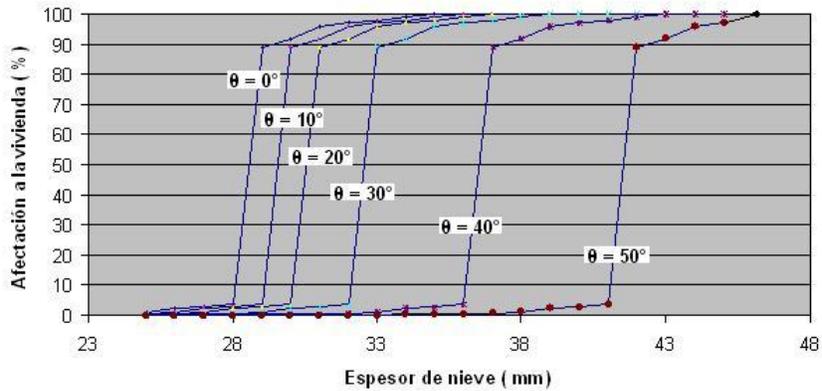


Figura 2.63 Función de vulnerabilidad para casas con techos de lámina y vigas de madera de sección circular para diferentes ángulos de inclinación

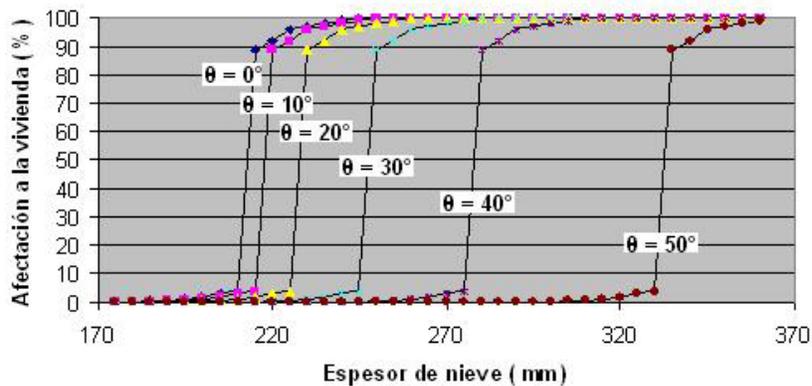


Figura 2.64 Función de vulnerabilidad para casas con techos de lámina y vigas de acero de sección rectangular para diferentes ángulos de inclinación

En el anexo B se presenta un ejemplo de aplicación de las funciones de peligro y vulnerabilidad por nevadas para una población ficticia para obtener la función de riesgo.

3.4 RIESGO POR BAJAS TEMPERATURAS: APLICACIÓN AL NEVADO DE TOLUCA

3.4.1 Peligro por bajas temperaturas

Para la evaluación del peligro por bajas temperaturas en el Nevado de Toluca se utilizaron los datos de una estación climatológica automática proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2006). Se analizaron los datos correspondientes al periodo entre las 20:00 horas del 29 de febrero de 2000 hasta las 23:00 horas del 28 de febrero de 2006, dando un total de 52,589 datos tomándose las temperaturas registradas cada hora. Además, se realizó un redondeo de los valores de temperatura para expresarlos como enteros.

Se puede observar en la tabla 3.28 que el total de horas con temperatura menor o igual a los 10° C durante el periodo analizado es 50,388, que representa el 95.8% de temperaturas horarias de las 52,589 horas totales, por lo que el peligro es bastante significativo para este umbral. De la misma forma, observamos que la duración promedio en horas de un evento en este umbral es de 256, aproximadamente 10 días.

Tabla 3.28 Resultados generales obtenidos

Umbral j	Temperatura (° C)	Número de eventos totales (dt_j)	Horas totales (h_j)	Promedio de duración en horas por evento	Días de duración promedio
0	Todas	1	52589	52589	2191
1	10°	197	50388	256	10.7
2	5°	2588	34437	13	0.55
3	0°	596	3216	5	0.23
4	-5°	11	57	5	0.22
5	-10°	1	4	4	0.17

Si a la muestra total de 52,589 lecturas horarias de temperatura se calcula su histograma, el resultado es el que se muestra en la figura 3.65, donde se puede constatar que la mayoría de las temperaturas registradas son menores o iguales a 10° C, mientras que las mayores se representan con un color más oscuro.

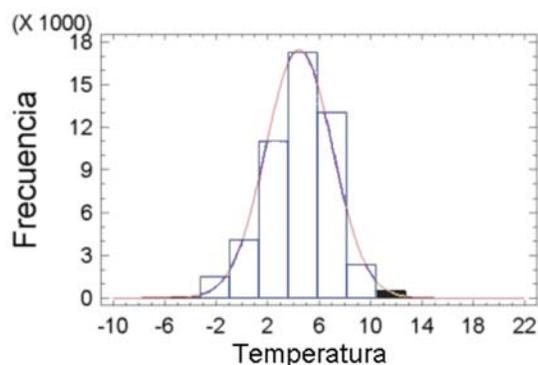


Figura 3.65 Histograma de temperaturas horarias en la estación Nevado de Toluca

En la tabla 3.29 el periodo más frío analizado se ubica en el 31 de enero de 2004, pero su duración fue de apenas 4 horas. Además, para los dos últimos umbrales no se alcanzó a cubrir un día completo.

Tabla 3.29 Ondas de frío de mayor duración por umbral

Umbral j	Temperatura (grados Celsius)	Máximas horas continuas	Fecha de inicio	Días de duración aproximada
0	Todas	52589	29/02/2000	2191
1	10°	4607	03/01/2000	192
2	5°	308	20/12/2000	13
3	0°	60	30/12/2000	2.5
3	0°	60	12/1/2002	2.5
4	-5°	19	31/1/2004	0.8
5	-10°	4	31/1/2004	0.2

3.4.2 Probabilidad de un evento de baja temperatura con una duración específica en el Nevado de Toluca

Con base en el conteo de eventos dt_i , definido en la sección 3.2.4, se obtuvo la probabilidad de que ocurra una onda de frío con duración dt_i , es decir, el evento X. Además, se seleccionó un intervalo de 2 horas para el cálculo de probabilidades, ya que de esta manera están definidas las funciones de vulnerabilidad por bajas temperaturas.

En la figuras 3.66a a la 3.66d se muestran las funciones de distribución de probabilidad acumuladas para los umbrales seleccionados. No aparece la probabilidad de un evento que se ha iniciado en temperatura de -10° C porque únicamente hubo una onda de frío en este umbral. En el caso de que un evento tenga una duración igual a un intervalo de horas en el cual no se tiene registro, la probabilidad se considera cero, ya que nunca ha excedido una duración mayor. Por ejemplo, la probabilidad de que se tenga un evento con umbral -10° y con duración de 6 horas es cero.

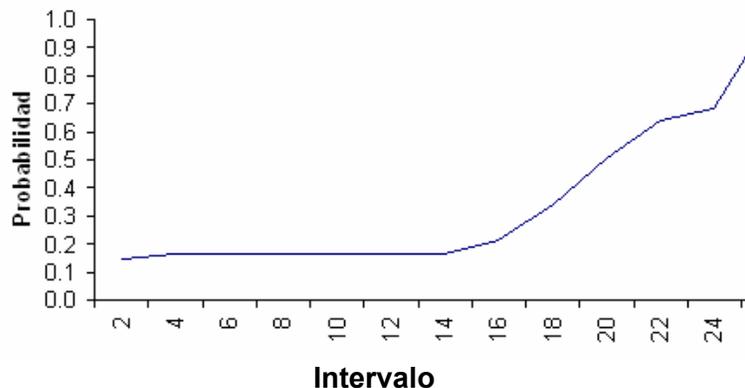


Figura 3.66^a Probabilidades acumuladas de la duración de un evento de baja temperatura con umbral de 10° C

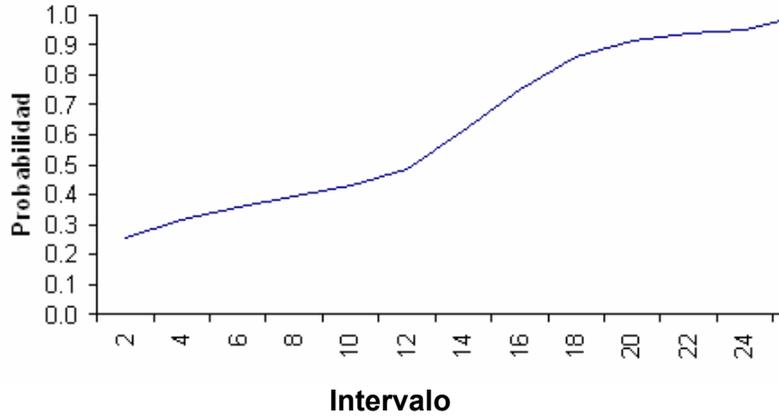


Figura 3.66b Probabilidades acumuladas de la duración de un evento de baja temperatura con umbral de 5° C

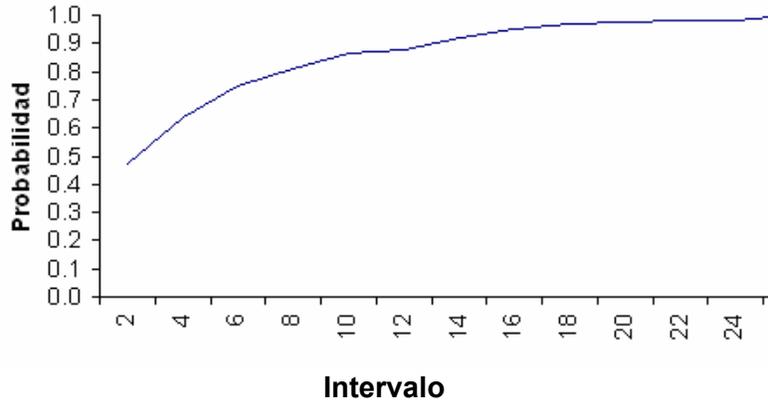


Figura 3.66c Probabilidades acumuladas de la duración de un evento de baja temperatura con umbral de 0° C

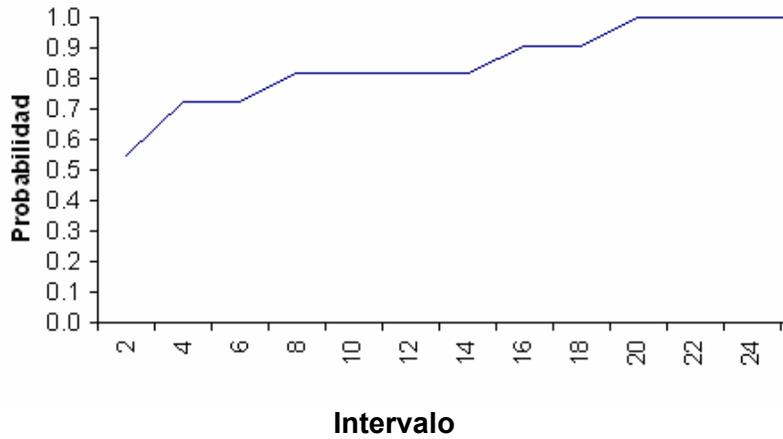


Figura 3.66d Probabilidades acumuladas de la duración de un evento de baja temperatura con umbral de -5° C

En las siguientes figuras se muestran las probabilidades de que cierto evento ocurra con cierta duración, expresada en intervalos de 2 horas y en la tabla 3.30 su representación tabular.

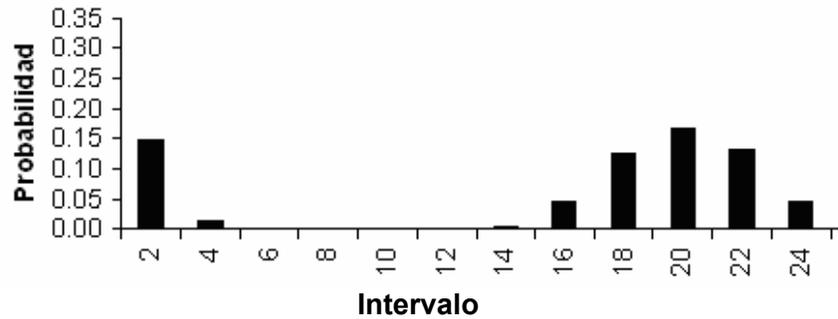


Figura 3.67a Probabilidad de la duración de un evento de baja temperatura para umbral de 10° C

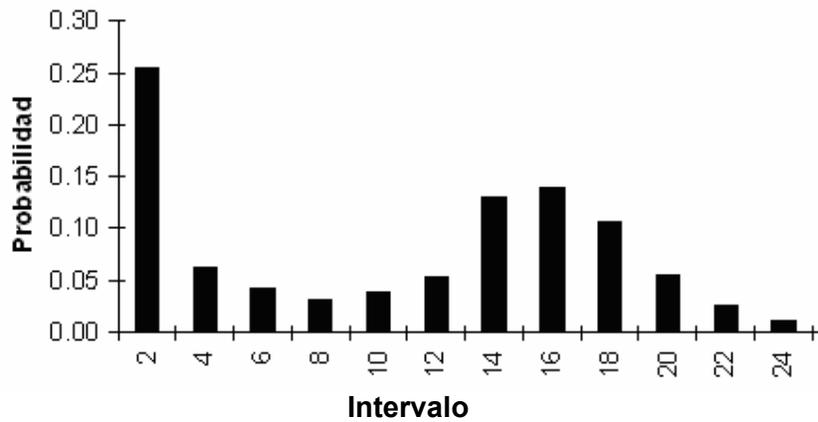


Figura 3.67b Probabilidad de la duración de un evento de baja temperatura para umbral de 5° C

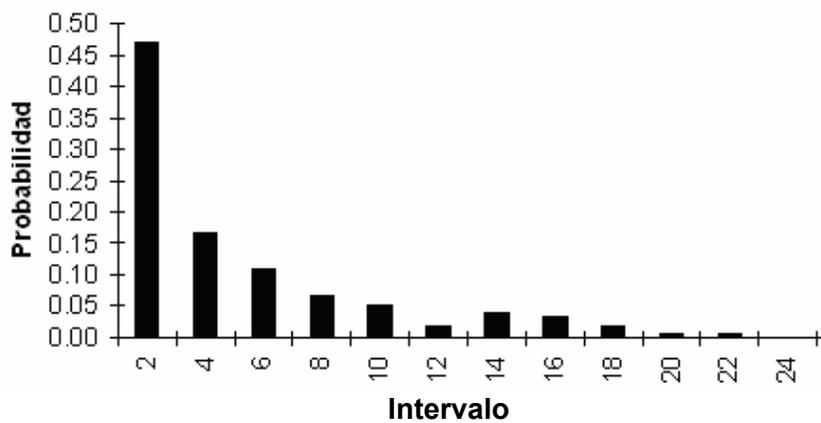


Figura 3.67c Probabilidad de la duración de un evento de baja temperatura para umbral de 0° C

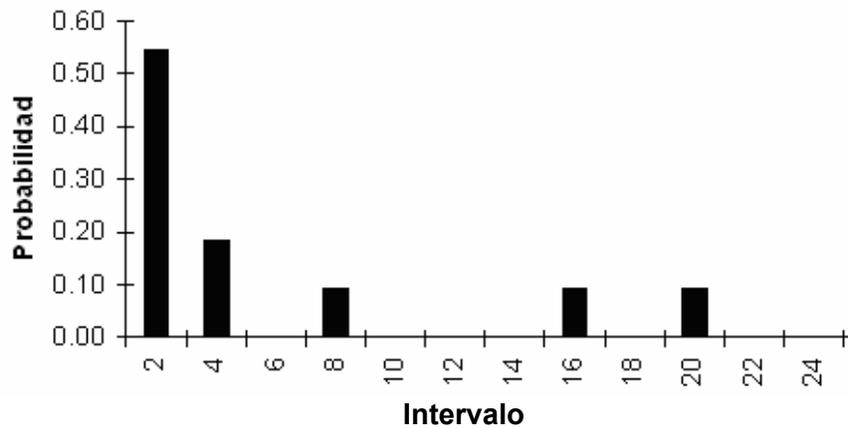


Figura 3.67d Probabilidad de la duración de un evento de baja temperatura para umbral de -5° C

Tabla 3.30 Funciones de probabilidad para cambio de umbral de una onda de frío

Clase (Hrs.)	Peligro P(X)			
	Umbral			
	10°	5°	0°	-5°
2	0.1472	0.2550	0.4698	0.5455
4	0.0152	0.0618	0.1678	0.1818
6	0	0.0429	0.1091	0
8	0	0.0309	0.0654	0.0909
10	0	0.0383	0.0503	0
12	0	0.0529	0.0168	0
14	0.0051	0.1306	0.0403	0
16	0.0457	0.1395	0.0319	0.0909
18	0.1269	0.1063	0.0185	0
20	0.1675	0.0549	0.0067	0.0909
22	0.1320	0.0255	0.0067	0
24	0.0457	0.0112	0	0
y mayor...	0.3147	0.0502	0.0168	0
Total	1	1	1	1

Las probabilidades mostradas en las figuras 3.67a a 3.67d permiten asociar eventos en un cierto intervalo. Por ejemplo, la probabilidad de que ocurra un evento con duración mayor a 2 horas, y menor a 4, con una temperatura de 10° C es 0.015.

3.4.3 Determinación del riesgo para la salud por bajas temperaturas en el Nevado de Toluca

El riesgo es la combinación de tres factores: valor de los bienes expuestos a un evento, multiplicado por su nivel de vulnerabilidad o daño ante el evento en acción, por la probabilidad de que el evento ocurra. De lo anterior podemos expresar al riesgo como:

$$R=CPV$$

donde C = Valor de los bienes expuestos, P = Peligro, y V = Vulnerabilidad.

Para el caso de bajas temperaturas, el valor C representa el nivel de salud de una persona ante el frío.

Para ejemplificar la obtención del riesgo, se analiza el caso en que la temperatura se encuentra entre 5 y 0° C, para ello se requieren los valores de peligro y vulnerabilidad correspondientes.

El peligro nos indica la probabilidad de que la duración de una onda de frío de 5° C tenga una duración específica. En la figura 3.68 se muestra la función de peligro analizado para la temperatura de 5 a 0° C, obtenida en la sección 3.2.

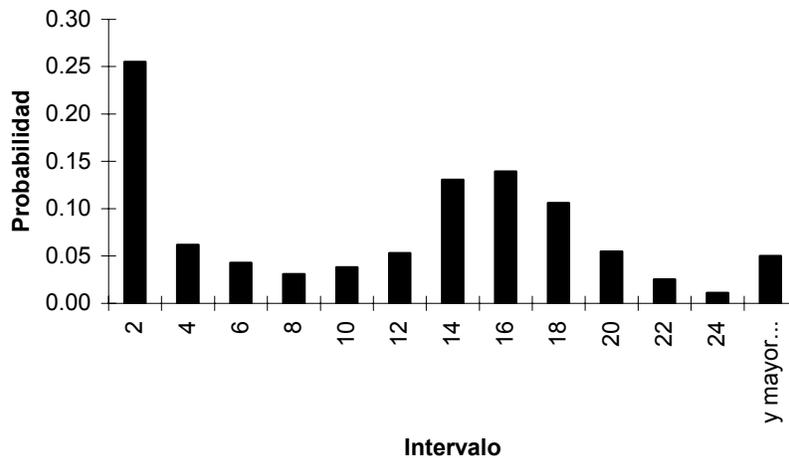


Figura 3.68 Peligro por las temperaturas entre 5 y 0° C

En la siguiente tabla se muestra la función de peligro asociada a una onda de 5° C con diferentes duraciones. En la primera columna se tiene la intensidad de duración i , a continuación se presentan las horas continuas, que son los intervalos del gráfico de peligro anterior; enseguida la frecuencia con la que se dieron los eventos por intervalo y, por último, la probabilidad. Por ejemplo, la probabilidad de que se dé un evento de intensidad 1, que corresponde a 2 horas continuas, es de 0.255.

Tabla 3.31 Función de peligro asociado a una onda de frío de 5° C

Intensidad de duración i	Horas continuas	Frecuencia	Probabilidad
1	2	660	0.2550
2	4	160	0.0618
3	6	111	0.0429
4	8	80	0.0309
5	10	99	0.0383
6	12	137	0.0529
7	14	338	0.1306
8	16	361	0.1395
9	18	275	0.1063
10	20	142	0.0549
11	22	66	0.0255
12	24	29	0.0112
13	y mayor...	130	0.0502
	Total	2588	1

A continuación se muestra la tabla con los valores de vulnerabilidad en una onda de 5° C, en el caso de una persona de la tercera edad, y que vive en una casa habitación con vulnerabilidad muy alta (ver figura 3.35).

Tabla 3.32 Vulnerabilidad muy alta y personas de la tercera edad

Horas continuas	Porcentaje de daño (%)
2	10
4	30
6	45
8	55
10	70
12	80
14	85
16	90
18	95
20	100
22	100
24	100

En la tabla 3.33 se muestra tanto la función de peligro como la de vulnerabilidad para el ejemplo que se está discutiendo. Se observa que, a partir de la intensidad 10, la vulnerabilidad es del 100%.

Tabla 3.33 Peligro y vulnerabilidad

Intensidad de duración i	Horas continuas	Vulnerabilidad, % de daño	Peligro P(i), Umbral de 5°
1	2	10	0.2550
2	4	30	0.0618
3	6	45	0.0429
4	8	55	0.0309
5	10	70	0.0383
6	12	80	0.0529
7	14	85	0.1306
8	16	90	0.1395
9	18	95	0.1063
10	20	100	0.0549
11	22	100	0.0255
12	24	100	0.0112
13	Mayor	100	0.0502

Por lo tanto, el riesgo marginal R_p , es decir, únicamente ante la próxima onda de frío menor a 5° C, será la esperanza del daño que se obtiene de sumar la multiplicación del peligro por la vulnerabilidad, para cada duración de horas continuas, suponiendo que el valor de los bienes expuestos es de \$1.

$$R_p = \sum_{i=1}^{13} P(i) \cdot V(i)$$

En la tabla 3.34 se muestra el proceso de la obtención del riesgo marginal.

Tabla 3.34 Cálculo del riesgo

Intensidad de duración i	Horas continuas	Vulnerabilidad, % de daño	Peligro, Umbral de 5°	Riesgo por hora continua P(i)*V(i)
1	2	0.1	0.2550	0.02550
2	4	0.3	0.0618	0.01855
3	6	0.45	0.0429	0.01930
4	8	0.55	0.0309	0.01700
5	10	0.7	0.0383	0.02678
6	12	0.8	0.0529	0.04235
7	14	0.85	0.1306	0.11101
8	16	0.9	0.1395	0.12554
9	18	0.95	0.1063	0.10095
10	20	1	0.0549	0.05487
11	22	1	0.0255	0.02550
12	24	1	0.0112	0.01121
13	Mayor	1	0.0502	0.05023
			Riesgo	0.62879

De donde tenemos que

$$R_p = 0.6288$$

Esto quiere decir que el promedio de daño en la salud de una persona de la tercera edad que vive en una casa habitación de vulnerabilidad muy alta, para una onda de frío de 5° C es del 62.88 %.

Ahora se calculará el riesgo ante cualquier onda de frío, para lo cual se necesitará las funciones de probabilidad de sus duraciones (tabla 3.30) y de los umbrales de temperatura (tabla 3.4). Para ello supondremos las siguientes funciones de vulnerabilidad para el mismo tipo vivienda y de persona analizada, únicamente para fines ilustrativos (figura 3.69 y tabla 3.35). Estas funciones deberán obtenerse mediante estudios más rigurosos y con la opinión de médicos.

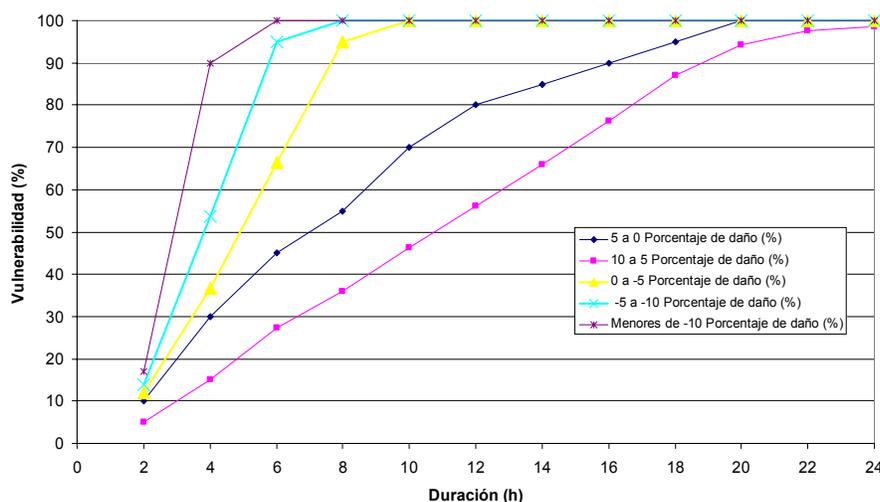


Figura 3.69 Funciones de vulnerabilidad para diferentes umbrales de temperatura, para viviendas de muy alta vulnerabilidad y para personas de la tercera edad

Tabla 3.35 Funciones de vulnerabilidad para diferentes umbrales de temperatura, para viviendas de muy alta vulnerabilidad y para personas de la tercera edad

Porcentaje de daño (%)	Umbrales de temperatura (° C)					
	Horas continuas	10 a 5	5 a 0	0 a -5	-5 a -10	Menor de -10
2		5	10	12	14	17
4		15	30	36.7	53.7	90
6		27.3	45	66.4	95	100
8		36	55	95	100	100
10		46.3	70	100	100	100
12		56	80	100	100	100
14		66	85	100	100	100
16		76.3	90	100	100	100
18		87.1	95	100	100	100
20		94.2	100	100	100	100
22		97.6	100	100	100	100
24		98.6	100	100	100	100

Se repite el paso anterior del cálculo de riesgos marginales pero para todos los umbrales. El resultado se multiplicará por la función de peligro de los umbrales de temperatura (tabla 3.36).

Tabla 3.36 Cálculo del riesgo ante cualquier onda de frío para vivienda de muy alta vulnerabilidad y para personas de la tercera edad

Umbral j	Temperatura (° C)	Función de peligro por umbral de temperatura	Riesgos marginales (R_p)	$P \times R_p$
1	10°	0.0419	0.8048	0.0337
2	5°	0.3033	0.6288	0.1907
3	0°	0.5937	0.4405	0.2615
4	-5°	0.0601	0.4467	0.0268
5	-10°	0.0010	0.9000	0.0009
		1		0.5137

Se observa que el promedio de daño en la salud de una persona de la tercera edad que vive en una casa habitación de vulnerabilidad muy alta, para cualquier onda de frío es del 51.37 %. El resultado final es el producto de este resultado por el valor de los bienes expuestos, por ejemplo, gastos médicos por distintos tipos de enfermedad.

Para obtener el riesgo R_c de una casa habitación de vulnerabilidad muy alta, entonces se debe obtener la suma de los riesgos de las personas que viven en la casa conforme a su edad.

$$R_c = \sum_{j=1}^m R p_j$$

donde m es el número total de habitantes y j es el subíndice del riesgo por persona ante una onda de frío de temperatura específica R_p de cada uno de los habitantes de la casa.

Para obtener el riesgo R_t de una población total se debe obtener la suma de los riesgos R_c de las casas que se encuentren en dicha población, conforme al tipo de casa habitación y después dividirlo entre el número total de casas.

$$R_t = \sum_{j=1}^m R c_j$$

que para este caso, m es el número total de casas y j es el subíndice de riesgo R_c de cada una de las casas de la población.

3.4.4 Peligro por nevadas: aplicación al Nevado de Toluca

El sitio que se eligió para aplicar la metodología fue la región del Nevado de Toluca, donde hay poblaciones como la de Raíces, situada a 3628 msnm, que recurrentemente presenta problemas por nevadas, como daños por la caída de techos en casas endebles por el peso de la nieve e incomunicación de vías terrestres, o como la ciudad de Toluca, donde los problemas por nevadas se relacionan más con decesos, según se muestra en el resumen de las noticias por nevadas recabadas para la zona (tabla 3.37). Se decidió que la ciudad de Toluca fuera el punto más bajo de análisis de nevadas (con una altitud de 2,667 msnm, y que el radio de influencia del volcán abarcaría hasta esta población (20 km aproximadamente, figura 3.70). La idea es tener puntos de información entre el Nevado de Toluca y Toluca para saber cómo es el comportamiento de las nevadas en la región a diferentes alturas topográficas. Esta sería una primera aproximación de la selección del área de estudio.

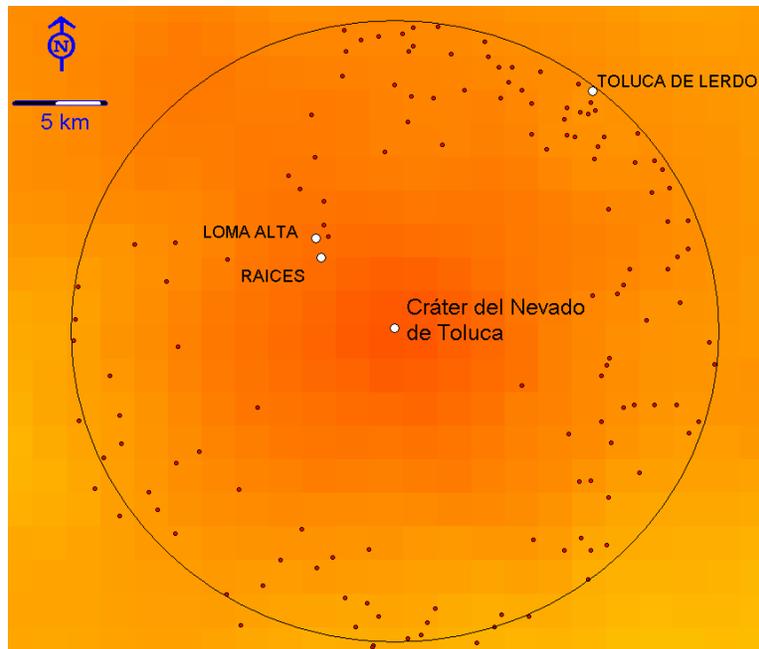


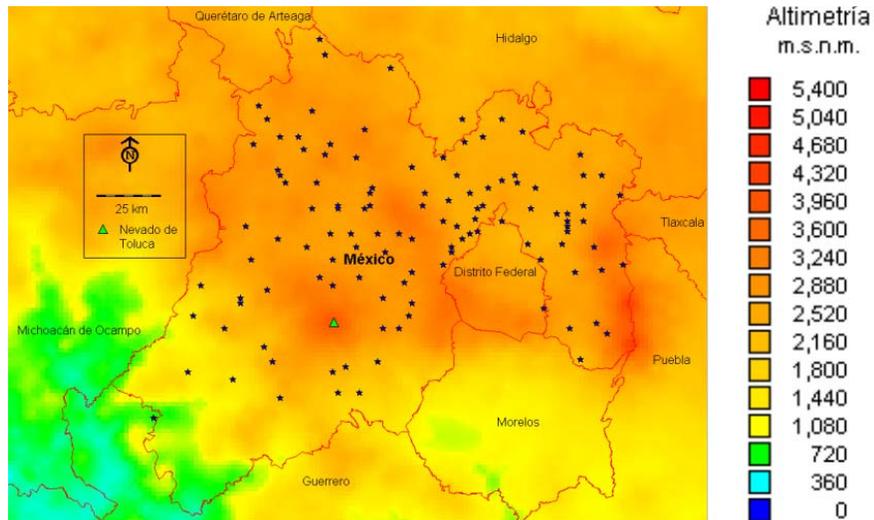
Figura 3.70 *Ubicación preliminar de la zona de interés, Nevado de Toluca, estado de México*

Tabla 3.37 Poblaciones que recurrentemente son mencionadas en las noticias periodísticas por la presencia de nevadas y número de veces en que aparecen con diversas afectaciones provocadas por dicho fenómeno

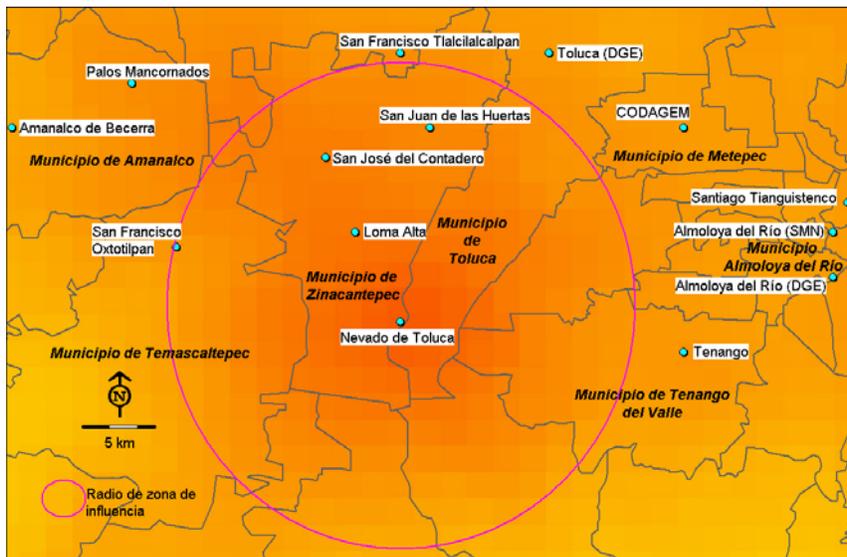
Comunidad Afectada	Municipio	Lat_Dec	Long_Dec	Techos Caídos	Incomunicado	Accidentes Automovilísticos	Decesos	Pérdida en Cultivos	Declarado en Emergencia	Espesor de Nieve (cm)
Raíces	Zinacantepec	19.1603	-99.8039	3	7	3	1	2	1	9
San Pedro Atlapulco	Ocoyoacac	19.2419	-99.3939	0	1	0	1	1	0	1
Guadalupe Victoria	Tenancingo	19.0108	-99.5014	0	1	0	1	1	0	1
Mesón Viejo	Temascaltepec	19.1683	-99.8803	0	1	0	1	1	0	1
San Antonio Albarranes	Temascaltepec	19.1169	-99.9333	0	1	0	1	1	0	1
San Francisco Oxtotilpan	Temascaltepec	19.1675	-99.9014	0	1	0	1	1	0	1
Tequesquipan	Temascaltepec	19.0564	-99.9447	0	1	0	1	1	0	1
Casas Viejas	Valle de Bravo	19.1503	-100.1070	0	1	0	1	1	0	1
Mina de Agua	San Simón de Guerrero	19.0222	-100.0300	0	1	0	1	1	0	1
Buenavista	Zinacantepec	19.2033	-99.8211	0	2	0	1	1	0	2
La Puerta	Almoloya del Río	19.1556	-99.4786	0	3	1	1	1	0	3
El Capulín	Amanalco	19.3011	-99.9567	1	3	1	0	1	0	3
Loma Alta	Zinacantepec	19.1708	-99.8064	0	4	2	0	1	0	4
La Peñuela	Zinacantepec	19.1594	-99.8528	0	3	2	0	1	0	4
La Joya	Zinacantepec	19.2781	-99.7611	0	2	1	0	0	0	2
La Ciercita	Zinacantepec	19.1778	-99.8022	0	3	1	0	0	0	3
La Loma	Toluca	19.2239	-99.6556	0	0	0	0	0	0	1
La Guacamaya	Temascaltepec	19.0375	-99.8939	0	0	0	0	0	0	1
Toluca	Toluca	19.2481	-99.6619	0	2	0	2	1	0	1
Cerro Gordo	Valle de Bravo	19.1350	-100.1440	0	0	0	0	0	0	0

Recolección de datos de nevadas

Para el caso de aplicación del Nevado de Toluca, se obtuvo la relación de las estaciones del estado de México entrando a la página de Internet del SMN en la ruta: Productos Normales Por estaciones y seleccionando México, como se explicó anteriormente. En la figura 3.71a se muestra la ubicación de las estaciones que se extrajeron de CLICOM, para el estado de México y en la figura 3.71b, la selección de las estaciones cercanas al Nevado de Toluca.



a) **Ubicación de estaciones obtenidas de CLICOM en el estado de México**



b) **Estaciones seleccionadas cercanas al Nevado de Toluca**

Figura 3.71 Estaciones extraídas del sistema CLICOM en el estado de México y selección de aquellas cercanas al Nevado de Toluca

Las estaciones cercanas al Nevado de Toluca fueron las siguientes:

Tabla 3.38 Estaciones seleccionadas con CLICOM en la región del Nevado de Toluca

N°	Estación	Municipio	Altitud msnm
1	San Francisco Tlalcalcalpan	Almoloya de Juárez	2000
2	Almoloya del Río (SMN)	Almoloya del Río	2530
3	Almoloya del Río (DGE)	Almoloya del Río	2670
4	Palos Mancornados	Amanalco	2920
5	Amanalco de Becerra	Amanalco	2511
6	San Francisco Oxtotilpan	Temascaltepec	2635
7	Tenango del Valle	Tenango	2660
8	CODAGEM, Metepec	Tenango	2240
9	Santiago Tianguistenco	Tianguistenco	2336
10	Toluca Oficinas (DGE)	Toluca	2640
11	Loma Alta	Zinacantepec	3200
12	San Juan de las Huertas	Zinacantepec	2840
13	Nevado de Toluca	Zinacantepec	4120
14	San José del Contadero	Zinacantepec	3045

Una vez seleccionadas las estaciones, se procedió a revisar los datos de cada una. El proceso de obtener la información del número de días con nevada para cada estación puede tomar mucho tiempo, dado que se extrae manualmente de los registros de la forma 212-15 proporcionada por el SMN, que corresponde a los parámetros climatológicos que cada operador llena físicamente en el papel, por día, mes y año en la estación que le corresponde. En la figura 3.72a se muestra un ejemplo de la forma 212-15 para el mes de enero de 1981 para la estación climatológica Loma Alta, también se muestra el reverso de la hoja de registro (figura 3.72b), donde aparece el significado de la simbología que indica los diferentes fenómenos y parámetros que se registran en ella; en ella se ha encerrado en un rectángulo la simbología correspondiente a nieve (de color rojo en la versión electrónica de este documento), con lo que es posible identificar en la figura 3.72a los días correspondientes a las nevadas ocurridas en dicha estación, que para este caso se registraron 7 (se encuentra encerrado en un rectángulo), las cuales se encuentran contabilizadas, junto con otros parámetros en donde dice “NUMERO DE DIAS:”, en la esquina inferior derecha de la forma.

En la tabla C.1 del anexo C, se muestra el formato llenado para las 14 estaciones seleccionadas con información de la forma 212-50.

Revisión y análisis de los datos

Se revisaron los datos de 14 estaciones climatológicas que se eligieron en el área de influencia del Nevado de Toluca, encontrando los siguientes aspectos:

Para el caso de las coordenadas y altitudes de cada estación, se contó con dos fuentes, el catálogo de estaciones climatológicas de CLICOM y la forma 212-50. Se consideró que la fuente principal fuera CLICOM, es decir, que los datos de ubicación y altitud de las estaciones corresponderían a CLICOM; sin embargo, si se compara con los datos que aparecen en la forma 212-50, pueden haber discrepancias, como en la estación de San Francisco Tlalcalcalpan donde tiene una altitud de 2000 msnm con CLICOM y 2795 msnm con la forma 212-50. Al ubicar la estación en el mapa de la zona de influencia del Nevado, resultó que ésta se encontraba a una altitud mayor a la de los 2700 msnm, por lo tanto, se dio por correcto el de la forma 212-50 y no el de

CLICOM. Este detalle es importante debido al análisis que posteriormente se realizará con todas las estaciones.

212-50

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS
SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA · DEPARTAMENTO DE HIDROMETRÍA
OBSERVACIONES CLIMATOLÓGICAS HECHAS A LAS 8 HORAS

ESTADO DEL TIEMPO: **ENERO** AÑO: **1981**
MUNICIPIO: **ZIMACÁN, PUE.** ESTACIÓN: **LOMA ALTA**

LONGITUD: **99° 49'** ALTITUD: **3 632 M.** MES: **ENERO**

LATITUD: **19° 40'** DIVISIÓN: **ELIC, HIL, LERMA**

DÍAS	TERMOMETRO AL ABRIGO		PLUVIO: LECTURAS EN MM.	MICROMETRO LECTURAS EN MM.	VIENTO VIBRIDOR	A LA HORA DE LA OBSERVACION FENOMENOS VARIOS	EN LAS 24 HS. ANTERIO- RES A LA OBSERVACION	RESUMEN MENSUAL				
	AMBIENTE	MINIMA						MAXIMA	TEMPERATURAS EN GRADOS CENTIGRADOS	LUVIA EN MM.	EVAPORACION EN MM.	NUMERO DE DIAS
1	6.0	2.0	0.0	1.1	SI	0-11	0 Frio	7.0	0	0	0	0
2	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
3	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
4	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
5	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
6	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
7	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
8	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
9	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
10	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
11	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
12	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
13	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
14	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
15	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
16	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
17	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
18	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
19	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
20	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
21	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
22	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
23	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
24	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
25	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
26	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
27	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
28	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
29	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
30	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
31	5.0	0.0	0.0	3.0	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
TOTAL MES	150.0	12.0	0.0	32.9	SI	0-11	0 Frio	8.0	0	0	0	0
MEG	2.9	2.4	0.9	1.2								
MEG	2.9	2.4	0.9	1.2								

TEMPERATURAS EN GRADOS CENTIGRADOS: Máxima en el mes: 13.0, Mínima en el mes: 0.0, Media en el mes: 5.0
 LUVIA EN MM.: Máxima en 24 hs.: 0.0, Mínima en el mes: 0.0, Total en el mes: 0.0
 EVAPORACION EN MM.: Máxima en el mes: 0.0, Mínima en el mes: 0.0, Media en el mes: 0.0, Total en el mes: 0.0
 NUMERO DE DIAS: 10 (Frio), 20 (Frio), 10 (Frio)
 Con lluvia de 0.1 mm. o equivalente: 10
 Con lluvia inapreciable: 10
 Con niebla o neblina: 10
 Con nieve: 0
 Con granizo: 0
 DESPEJADOS: 10
 NUBIADOS: 10
 (*) LA ESTACION SOLA SE ANOTAN TANTO DESPUES DE CERRAR O ABRI- R COMO AL INICIAR EL DIA.
 OFICINA DE CALCULO CLIMATOLOGICO
 REVISOR: **Nov 42 1981**
 FECHA: **Nov 42 1981**
 FECHA DE ENTREGA AL CALCULISTA: **Nov 42 1981**

T.C.R.

Ubicación del dato que se busca

Figura 3.72a Forma 212-50 con el registro de enero de 1981 de la estación Loma Alta (frente hoja)

NOTAS

ESTACION PROPIEDAD DE: _____ CONTROLADA POR: _____

INFORME AGRICOLA

En el presente mes se prepara la tierra para el proximo ciclo agricola.
No hubo plagas.

Loma Alta, Méx. A 31 DE Enero DE 19 81

REVISOR: Javier Rodríguez Hinojosa EL ENCARGADO: Juan Arias Santana

INSTRUCCIONES

Las ("") ni la palabra "dem" para indicar que una anotación es igual a la anterior, sino que se repetirá la anotación completa. Temperaturas inferiores a cero grados (0°) irá siempre precedida del signo menos (-). Los datos de humedad de agua recogida en el pluviómetro sea menor de un décimo de milímetro, así como cuando sólo chispea o calzan de que no llueva, pongase invariablemente "0.0" en el registro. No tenga evaporómetro, se dejarán en blanco las columnas correspondientes. Las anotaciones de "Estado del Tiempo" son para dibujar el signo que representa la cantidad de nubes (Despejado, Nublado, etc.). Cuando se anota "Estado del Tiempo" se anotará, al lado de los signos que se indican en el párrafo anterior, los fenómenos visibles a dicha hora, tales como Niebla; Calina; Lluvia; etc. Para la anotación del "Estado del Tiempo" en las 24 horas anteriores a la observación, se guiará el observador por la impresión que le haya dejado el tiempo en dicho periodo, calificado desde el punto de vista del frío, con los signos indicados en el párrafo 8, desde el punto de vista de la temperatura (Caluroso, templado, fresco o frío), y desde el punto de vista del viento: (Viento o calma), etc. Este último según que la mayor parte del tiempo haya soplado viento o haya habido calma. Ejemplo: Calma. Lluvia. Frio. Este informe se llenará por triplicado, remitiendo el original a la Dirección de Hidrología, Servicio Hidrométrico, una copia al C. Jefe del Servicio Meteorológico, Dirección de Geografía y Meteorología, Tacubaya, D. F., y otra copia para el Archivo de la División.

Simbología relativa a nevadas

TABLA DE SIGNOS O SIMBOLOS CONVENCIONALES PARA EL SERVICIO CLIMATOLOGICO

VISIBILIDAD	LLUVIA	CONDENSACION	FENOMENOS VARIOS
Cielo despejado	Lluvia a la hora de la observación	Rocío	Halo solar
Cielo medio nublado	Lluvia anterior a la hora de la observación	Escarcho	Corona solar
Cielo nublado	NIEVE	Calma	Halo lunar
Niebla	Nieve	Viento débil	Corona lunar
Calina	Suelo cubierto de nieve	Viento moderado	Arco iris
TEMPERATURA	BAJA TEM.	Viento algo fuerte	Luz zodiacal
Relámpago sin truenos	Granizo	Viento fuerte	Aurora boreal
Truenos lejanos	Agua de hielo	Viento violento (temporal)	
Tempestad con relámpagos y truenos	Helado	Viento tempestuoso (tempestad o huracán)	
	Helado liso	Remolino o tromba de polvo	
		Manga de agua (tromba o culabro)	

Figura 3.72b Forma 212-50 con el registro de enero de 1981 de la estación Loma Alta (reverso hoja)

Al revisar la información de nevadas de la estación climatológica Nevado de Toluca, resultó que ésta es la estación con el mayor número de nevadas registradas en todo el periodo de años; sin embargo, aparentemente hay más días con nevadas en los meses de mayo y julio que durante la temporada de invierno. La explicación que dio el SMN es que probablemente durante estos meses se hayan presentado granizadas que se contabilizaron erróneamente como nevadas. La solución a tal incertidumbre fue tomar en cuenta únicamente los meses de la temporada de invierno (de noviembre a marzo) para el análisis estadístico de todas las estaciones.

Hay estaciones climatológicas que no registraron nevadas en todo el número de años de investigación, como las estaciones San Francisco Oxtotilpan, CODAGEM (Meteppec) y San José del Contadero. Por tal motivo, se eliminaron las tres estaciones junto con la de Santiago Tianguistenco (por estar en una altitud menor a la ciudad de Toluca), para quedar 10 estaciones (tabla 3.39), las cuales se ubican como se observa en la figura 3.73 donde se resalta la cota de nivel de los 2700 msnm.

Tabla 3.39 Diez estaciones climatológicas en la zona del Nevado de Toluca

Estación	Municipio	Pertenece a	Periodo de registros con nevadas	Número de años de registro
Almoloya del río (DGE)	Almoloya del Río	CNA-DGE	1961-1990	30
Amanalco de Becerra	Amanalco de Becerra	CNA-DGE	1962-1990	29
Nevado de Toluca	Zinacantepec	CNA-DGE	1964-1990	27
San Francisco Tlalcilalcalpan	Almoloya de Juárez	CNA-SMN	1939-1990	52
Tenango	Tenango del Valle	CNA-DGE	1959-1989	31
Toluca (DGE)	Toluca	CNA-DGE	1960-1990	31
Palos Mancornados	Amanalco de Becerra	CNA-DGE	1964-1986	23
Almoloya del Río (SMN)	Almoloya del Río	CNA-SMN	1938-1969	32
Loma Alta	Zinacantepec	CNA-DGE	1981-1987	7
San Juan de las Huertas	Zinacantepec	CNA-DGE	1978-1990	13

Para llevar a cabo el análisis estadístico es necesario contar con el mayor número de años de registro y abarcar todas las estaciones posibles. En la tabla 3.39 se aprecia que San Francisco Tlalcilalcalpan tiene 52 años de registro, siendo la estación con el mayor número de años de registro de las 10 estaciones, y la del menor número de años es Loma Alta con 7 años. Entonces la pregunta es ¿cual es el periodo de años de registro que se debe seleccionar?

Suponiendo que se eligiera el periodo de 52 años (de 1939 a 1990) para cubrir el mayor número de años de registro, las estaciones que se podrían considerar serían solamente 2, San Francisco Tlalcilalcalpan y Almoloya del Río (en este último caso, uniendo los datos de las dos estaciones que llevan el mismo nombre, porque la estación DGE es la continuación de registros de SMN). En cambio, si se eligiera abarcar el mayor número de estaciones, entonces serían 9 estaciones (todas menos Almoloya del Río (SMN) y Palos Mancornados), para un periodo de 7 años (1981-1987).

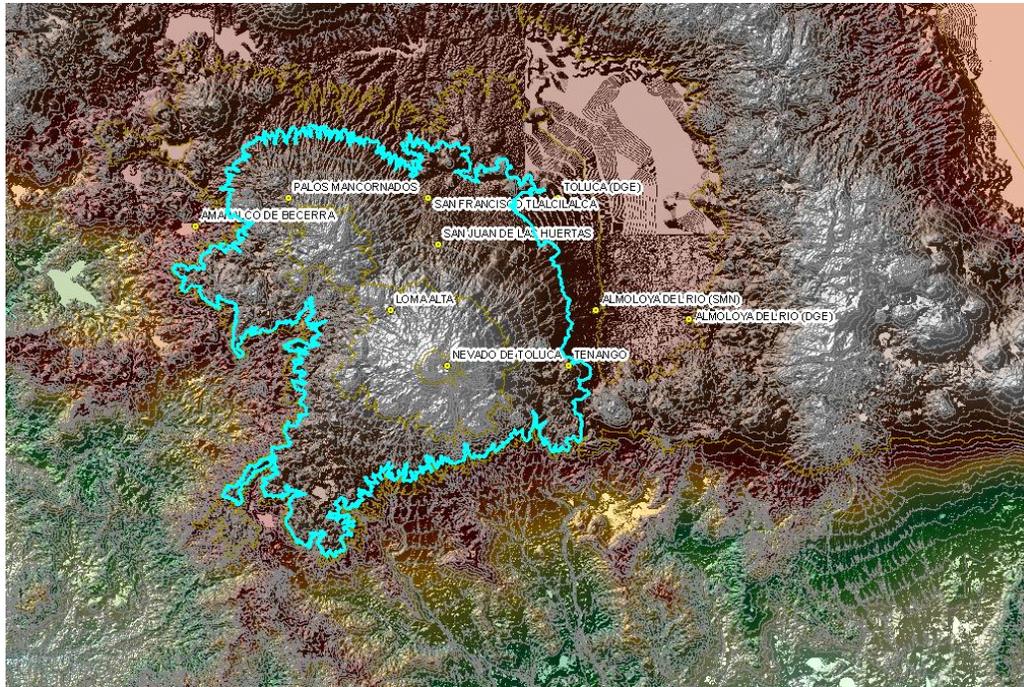


Figura 3.73 Ubicación de las 10 estaciones para su análisis por nevadas en la región del Nevado Toluca (en azul se destaca la cota 2700 msnm)

Haciendo un balance de número de estaciones y de años de registro, se decidió la opción de 7 estaciones en un periodo de 23 años (1964-1986). En la tabla 3.40 se despliegan algunas características de las estaciones climatológicas que se utilizarán para analizar estadísticamente sus datos del número de días con nevada; así mismo, en la tabla C.2 del anexo C, aparecen los archivos de cada estación para el periodo de 23 años.

Tabla 3.40 Estaciones climatológicas elegidas para el análisis estadístico de sus datos

Estación	Municipio	Cuenca	Subcuenca	Latitud (°grados)	Longitud (grados)	Altitud (msnm)	Pertenece a
Almolya del Río (DGE)	Almolya del Río	Río Lerma – Toluca	Río Lerma	19.16	-99.49	2670	CNA-DGE
Amanalco de Becerra	Amanalco de Becerra	Río Cutzamala	Río Valle de Bravo	19.26	-100.2	2511	CNA-DGE
Nevado de Toluca	Zinacantepec	Río Lerma – Toluca	P. Ignacio Ramírez	19.11	-99.75	4120	CNA-DGE
San Fco. Tlalcalcalpan	Almolya de Juárez	Río Lerma – Toluca	P. Ignacio Ramírez	19.29	-99.77	2795	CNA-DGE
Tenango	Tenango del Valle	Río Lerma – Toluca	L. de Zempoala	19.11	-99.62	2660	CNA-DGE
Toluca (DGE)	Toluca	Río Lerma – Toluca	Río Lerma	19.29	-99.63	2640	CNA-DGE
Palos Mancornados	Amanalco de Becerra	Río Cutzamala	Río Valle de Bravo	19.29	-99.92	2920	CNA-DGE

Análisis estadístico

Una vez establecidas las 7 estaciones climatológicas con las que se trabajará en la zona de influencia del volcán, se hizo el análisis estadístico. Se revisaron las altitudes de cada una de las estaciones de la tabla 3.40 para formar grupos con altitudes similares. De acuerdo con ello, se establecieron los tres grupos siguientes.

Tabla 3.41 Formación de grupos según la altitud de las estaciones climatológicas elegidas

Grupo	Estación	Altitud (msnm)
Primer grupo (altitud mayor a 3000 msnm)	1.Nevado de Toluca	4120
Segundo grupo (altitud entre 2751 y 3000 msnm)	1.San Francisco Tlalcalcalpan	2795
	2.Palos Mancornados	2920
Tercer grupo (altitud entre 2500 y 2750 msnm)	1.Amanalco de Becerra	2511
	2.Toluca Oficinas	2640
	3.Tenango del Valle	2660
	4.Almoleya del Río	2670

Los datos de cada grupo se manejaron como se muestra en la tabla 3.42, los cuales representan la suma de los valores registrados durante la temporada de invierno en cada año de registro.

El paso siguiente fue calcular el promedio de días con nevada para cada año en las estaciones que forman cada grupo. En este ejemplo, el único grupo en que no se calculó el promedio fue en el primero (tabla 3.42a), por estar formado por una sola estación. Para calcularlo en los otros dos grupos (tabla 3.42b y 3.42c, respectivamente), se hizo la suma por cada renglón (año, penúltima columna) y se dividió ésta entre el número de estaciones que conforma cada grupo (2 estaciones para el segundo grupo, y 4 estaciones para el tercer grupo), y así obtener el promedio por cada renglón (última columna con etiqueta de promedio). Después se sumaron todas las cifras de esta última columna para obtener el total del número de días con nevada, en todo el periodo de años de registro, el cual fue igual a 7 para el segundo grupo y 2.5 para el tercer grupo. Ambos valores se pueden ver en las tablas 3.42b y 3.42c, respectivamente, como el valor al final de la última columna, con etiqueta de suma total.

Tabla 3.42 Grupos de datos del número de días con nevada, en que se agruparon las 7 estaciones

a) Primer grupo de datos		c) Segundo grupo de datos					d) Tercer grupo de datos														
Primer grupo de datos		Segundo grupo de datos					Tercer grupo de datos														
Altitud mayor a los 3000 ms		Altitud de 2750-3000 msnm					Altitud de 2500-2750 msnm														
Nov.-Mar.		Nov.-Mar.					Nov.-Mar.														
Período de 23 años		Período de 23 años					Período de 23 años														
		Altitud, msnm					Altitud, msnm														
		2795		2920			2511		2670		2660		2640								
Año		Nevado de Toluca		San Francisco Tlalcalilpan		Palos Mancomados		Amanalco de Becerra		Almoloya del Río		Tenango del Valle		Toluca oficinas		Suma		Promedio			
1964		4																0.00			
1965		8																0.00			
1966		15																0.50			
1967		2						2										1.50			
1968		13																0.00			
1969		2								1						1		0.25			
1970		3																0.00			
1971		20																0.00			
1972		12																0.00			
1973		7																0.00			
1974		16																0.00			
1975		2																0.00			
1976		25		4		2		4										0.00			
1977		10																0.00			
1978		16						4										0.00			
1979		10																0.00			
1980		5								1						1		0.25			
1981		11																0.00			
1982		16																0.00			
1983		10																0.00			
1984		5																0.00			
1985		14																0.00			
1986		3																0.00			
Suma total		229		10		4		14		3		3		3		1		10		2.50	

Una vez que se obtuvo el respectivo valor de “suma total” para cada grupo, se procedió a aplicar la distribución de Poisson en cada uno de ellos.

- Primer grupo. Estación Nevado de Toluca. Altitudes mayores a los 3000 msnm

A partir del dato de la “suma total” que aparece en la tabla 3.42a, se calculó el promedio del número de días con nevada, $prom_{\frac{días}{año}}$, para cualquier año en la estación, el cual es igual a:

$$prom_{\frac{días}{año}} = \frac{suma\ total}{total\ de\ años} = \frac{229}{23} = 9.96 \frac{días}{año} \approx 10 \frac{días}{año}$$

Esto significa que en promedio nieva 10 días al año, aproximadamente, en cualquier estación ubicada dentro de la franja por arriba de los 3000 msnm, y en la temporada de invierno.

De la misma manera se calculó el promedio del número de años con nevada, $prom_{año}$, para todo el periodo de registro del primer grupo, el cual es igual a:

$$prom_{año} = \frac{total\ años\ con\ nevada}{total\ de\ años} = \frac{23}{23} = 1\ año$$

Lo anterior significa que en promedio nieva todos años dentro de los 23 años de periodo de registro, para cualquier estación ubicada dentro de la franja por arriba de los 3000 msnm, y en la temporada de invierno.

Para aplicar la distribución de Poisson en el primer grupo, se consideró (como se dijo anteriormente en el punto sobre “Análisis probabilístico”), que el valor de λ , sería igual al valor del promedio, $prom$. Por lo tanto, si se quiere conocer la probabilidad de que haya cero días con nevada al año ($x = 0$) utilizando $\lambda = 9.96$, se obtiene,

$$p(x = 0; \lambda = 10) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} = \frac{e^{-10} 9.96^0}{0!} = 0.000047$$

Dicho valor significa que existe una probabilidad de 0.000047 de que ningún día nieve en cualquier año en particular, dentro de la franja por arriba de los 3000 msnm, en la temporada de invierno, es decir, que la probabilidad es extremadamente baja.

Al calcular q se tiene:

$$q = 1 - p = 1 - 0.000047 = 0.999953$$

Lo cual quiere decir que existe un 0.999 de probabilidad que nieve en algún día en cualquier año, dentro de la misma franja de elevación, en temporada de invierno.

- Segundo grupo. Dos estaciones. Altitudes entre los 2751 a los 3000 msnm

A partir del valor 7, obtenido como la suma total de los valores que se muestran en la tabla 3.42b (cifra desplegada al final de la última columna), se obtuvo el promedio de días con nevada, $prom \frac{\text{días}}{\text{año}}$, para cualquier año y estación del segundo grupo, el cual es igual a:

$$prom \frac{\text{días}}{\text{año}} = \frac{\text{suma total}}{\text{total de años}} = \frac{7}{23} = 0.3043 \frac{\text{días}}{\text{año}}$$

Lo que significa que en promedio cae nieve 0.3043 días al año en cualquier estación ubicada dentro de la franja de los 2751 a 3000 msnm, en la temporada de invierno.

De la misma manera se puede calcular el promedio del número de años con nevada, $prom \frac{\text{años}}{\text{año}}$, para todo el periodo de registro del segundo grupo, el cual es igual a:

$$prom \frac{\text{años}}{\text{año}} = \frac{\text{total años con nevada}}{\text{total de años}} = \frac{6}{23} = 0.2609 \text{ años}$$

Lo anterior significa que en promedio nieva 0.2609 años dentro de los 23 años de periodo de registro, para cualquier estación ubicada dentro de la franja de los 2751 a 3000 msnm, y en la temporada de invierno.

Se aplicó la distribución de Poisson en el segundo grupo, considerando que:

$$\lambda = \text{prom}_{\frac{\text{días}}{\text{año}}} = 0.3043$$

Por lo tanto, la probabilidad de que haya cero días con nevada al año ($x = 0$), se obtiene como:

$$p(x = 0; \lambda = 0.3043) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} = \frac{e^{-0.3043} 0.3043^0}{0!} = 0.7376$$

Dicho valor significa que existe una probabilidad de 0.7376 de que ningún día caiga nieve en un año particular, dentro de la franja de los 2751 a 3000 msnm, en la temporada de invierno, es decir, que existe una alta probabilidad de que no caiga nieve.

Calculando q se tiene:

$$q = 1 - p = 1 - 0.7376 = 0.2624$$

Lo cual quiere decir que existe un 0.2624 de probabilidad que nieve en algún día en cualquier año, dentro de la misma franja de elevación y en temporada de invierno.

- Tercer grupo. Cuatro estaciones. Altitudes entre los 2500 a los 2750 msnm

A partir del valor 4, obtenido como la “suma total” de los valores que se muestran en la tabla 3.42c (cifra desplegada al final de la última columna), se obtuvo el promedio del número de días con nevada, $\text{prom}_{\frac{\text{días}}{\text{año}}}$, para cualquier año y estación del tercer grupo, el cual es igual a:

$$\text{prom}_{\frac{\text{días}}{\text{año}}} = \frac{\text{suma total}}{\text{total de años}} = \frac{2.5}{23} = 0.1087 \frac{\text{días}}{\text{año}}$$

Lo que significa que en promedio cae nieve 0.1087 días al año en cualquier estación ubicada dentro de la franja de los 2500 a 2750 msnm, en la temporada de invierno.

De la misma manera se puede calcular el promedio del número de años con nevada, $\text{prom}_{\text{año}}$, para todo el periodo de registro del tercer grupo, el cual es igual a:

$$\text{prom}_{\text{año}} = \frac{\text{total años con nevada}}{\text{total de años}} = \frac{4}{23} = 0.1739 \text{ años}$$

Lo anterior significa que en promedio cae nieve 0.1730 años dentro de los 23 años de periodo de registro, para cualquier estación ubicada dentro de la franja de los 2500 msnm y 2750 msnm, y en la temporada de invierno.

Al aplicar la distribución de Poisson en el tercer grupo, se consideró que:

$$\lambda = \text{prom}_{\text{días}}^{\text{del tercer grupo}} = \frac{0.4748}{\text{año}} = 0.1087$$

Entonces, la probabilidad de que haya cero días con nevada al año ($x = 0$), se obtiene como:

$$p(x = 0; \lambda = 0.1087) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} = \frac{e^{-0.1087} 0.1087^0}{0!} = 0.8970$$

Dicho valor significa que existe una probabilidad de 0.8970 de que ningún día caiga nieve en un año particular, dentro de la franja de los 2500 a 2750 msnm, en la temporada de invierno, es decir, que existe una alta probabilidad de que no nieve.

Calculando q se tiene:

$$q = 1 - p = 1 - 0.8970 = 0.1030$$

Lo cual quiere decir que existe un 0.1030 de probabilidad que caiga nieve en algún día en cualquier año, dentro de la misma franja de elevación y en temporada de invierno.

En la tabla 3.43 se despliegan los resultados de las probabilidades calculados para los dos grupos, donde se incluye el cálculo de la probabilidad de que neve un determinado número de años dentro del periodo de registro, utilizando los valores respectivos de $\text{prom}_{\text{año}}$, para el cálculo de la distribución de Poisson.

Tabla 3.43 Resultados de probabilidad de los tres grupos para un determinado número de días y un determinado número de años, respectivamente

Primer grupo (> 3000 msnm)		Segundo grupo (entre 2751 msnm y 3000 msnm)		Tercer grupo (entre 2500 msnm y 2750 msnm)	
$p_{\text{días}} =$	0.000047	$p_{\text{días}} =$	0.7376	$p_{\text{días}} =$	0.8970
$q_{\text{días}} =$	0.999953	$q_{\text{días}} =$	0.2624	$q_{\text{días}} =$	0.1030
$p_{\text{año}} =$	0.3679	$p_{\text{año}} =$	0.7704	$p_{\text{año}} =$	0.8404
$q_{\text{año}} =$	0.6321	$q_{\text{año}} =$	0.2296	$q_{\text{año}} =$	0.1596
Prob. de que no caiga nieve ($p_{\text{días}}$) y caiga nieve ($q_{\text{días}}$), respectivamente, un determinado número de días en cualquier año					
Probabilidad de que no caiga nieve ($p_{\text{año}}$) y caiga nieve ($q_{\text{año}}$), respectivamente, dentro del periodo de años de registro					

Como se puede observar, el primer grupo (el cual lo conforma una sola estación con un número importante de registros del número de días con nevada), tiene mayor probabilidad de que caiga nieve a que no caiga. En cambio, en el segundo y tercer grupos (donde hay pocas estaciones con escaso número de registros con nevadas), la situación que ocurre es a la inversa, es decir, la probabilidad de que no caiga nieve es mayor de que nieve.

En la tabla 3.44 se resume los resultados del cálculo de probabilidades de que se presenten, o no se presenten, nevadas un determinado número de días al año, en tres franjas de altitudes del Nevado de Toluca, en época de invierno. Asimismo, en las figuras 3.74, 3.75 y 3.76 se despliega la interpretación gráfica de los mismos valores de la tabla anterior.

Tabla 3.44 Probabilidad de que no caiga o caiga nieve un determinado número de días al año, en tres grupos de altitudes, en época de invierno

Grupo de altitudes	Prob. de que no caiga nieve	Prob. de que si caiga nieve
Primer (>3000 msnm)	0.000047	0.999953
Segundo (entre 2751 y 3000 msnm)	0.737604	0.262396
Tercero (entre 2500 y 2750 msnm)	0.897003	0.102997

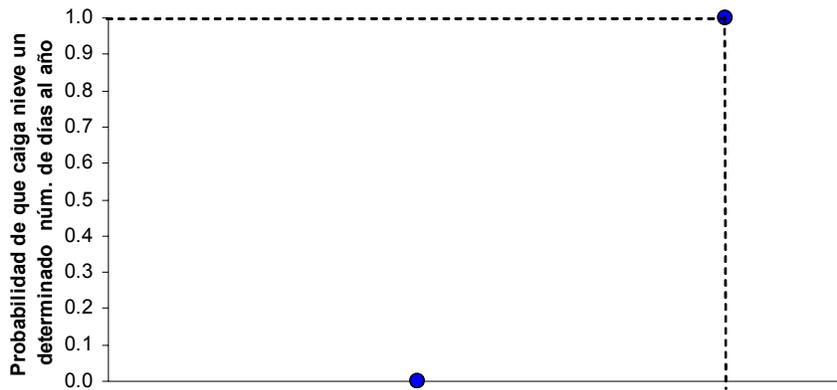


Figura 3.74 Función de peligro para el primer grupo, altitud > 3000 msnm

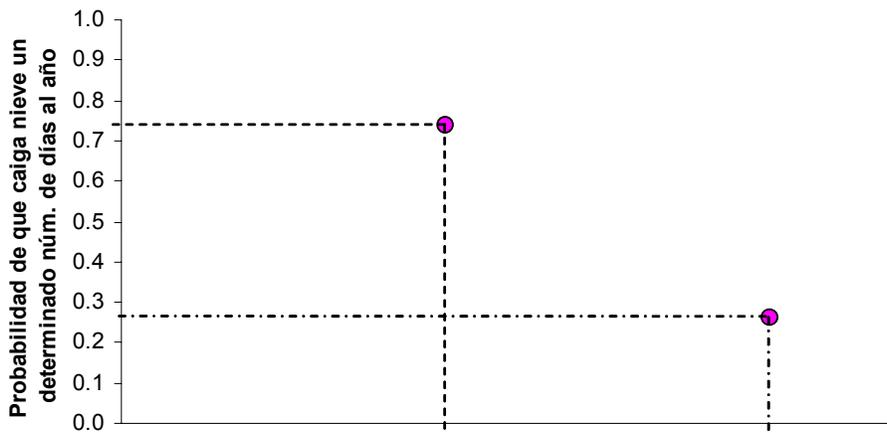


Figura 3.75 Función de peligro para el segundo grupo, altitud entre 2751 y 3000 msnm

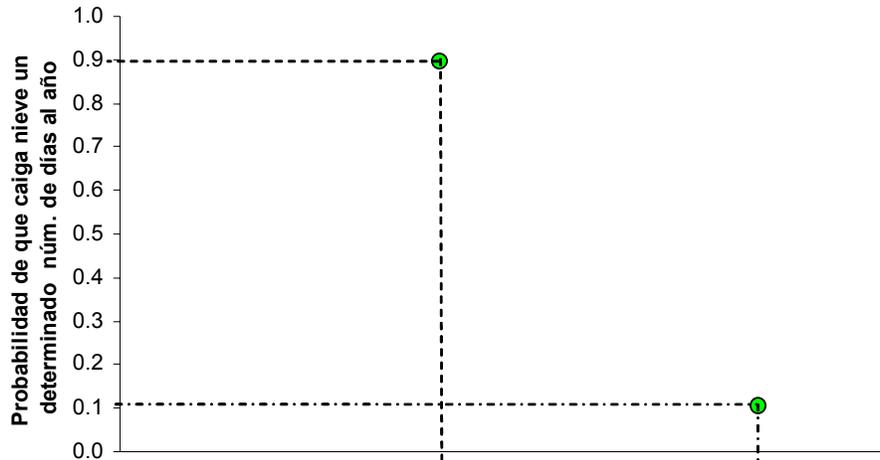


Figura 3.76 Función de peligro para el tercer grupo, altitud entre 2500 y 2750 msnm

Esta información representa la función de peligro por nevadas, que es una de las variables necesarias para el cálculo del riesgo por este fenómeno. Al utilizar la tabla 3.44, o bien, una de las tres figuras anteriores (partiendo de la altitud de la población que se esté analizando para saber a que grupo de altitudes pertenece), es posible conocer la probabilidad de que nieve, correspondiente a dicha población.

3.5 MEDIDAS DE MITIGACIÓN POR BAJAS TEMPERATURAS

3.5.1 Caso Alemania

Alemania es un país situado en una zona templada, se encuentra entre los 47° y 55° de latitud norte. La zona sur del país es la más elevada al estar cerca de las montañas de los Alpes. En el norte, la zona más baja limita con el mar Báltico y el mar del Norte. El clima en Alemania está sujeto a la cercanía al mar, en el norte, y a la altura de los Alpes, en el sur. Por eso los inviernos son más fríos en el sureste del país y menos fríos en el norte y el oeste.

El mes más frío en Alemania es enero. Las temperaturas mínimas diarias en promedio, durante este mes son de, aproximadamente, un grado centígrado en el norte, y en el sur de seis grados centígrados bajo cero, aunque en algunas ocasiones se han presentado temperaturas de hasta 30 grados bajo cero.

Debido a que Alemania es un país que padece mucho de bajas temperaturas y nevadas se han establecido diferentes medidas de mitigación contra este fenómeno. A continuación se mencionan algunas de éstas.

Ayuda económica

El frío representa un riesgo para la vida y la salud de la población. Por eso el gobierno de Alemania ayuda a las personas más pobres dándoles una cantidad de dinero, regularmente todo el año, con el que también se pueden comprar ropa de abrigo, material para calentar, comida caliente y nutritiva. Además, las personas que no tienen hogar reciben una cantidad mínima de dinero por parte del gobierno regional.

Existen varias organizaciones privadas o de la iglesia que ayudan a las personas indigentes dándoles comida caliente por día y un lugar techado para dormir durante el invierno. Los trabajadores que hacen sus labores a la intemperie, durante el invierno, interrumpen su trabajo y siguen recibiendo parte de su sueldo, y aquellos que no pueden ser interrumpidos, se continúan, pero en etapas cortas, con descansos pausados en lugares calientes con comida y bebidas calientes.

Tipo de construcción

Los muros de los edificios en Alemania son más gruesos que en otros países de climas más cálidos. Las ventanas tienen doble vidrio y, tanto las puertas como las ventanas, deben estar bien selladas para evitar que por pequeñas ranuras se filtre el frío. Todas las casas tienen calefacción y su instalación debe regirse por varios reglamentos para evitar que sea peligrosa para sus habitantes. También existe una ley sobre los tipos de aislamiento que se deben usar en las paredes (nueva ley desde el año 2002) con el objetivo de ahorrar energía, ya que un mejor aislamiento requiere calentar menos. La calefacción central de las casas funciona con gas natural, gasolina o electricidad y consiste en una red de tuberías de agua caliente que recorre todas las habitaciones de la casa; el agua proviene de una caldera que normalmente está en el sótano.

El funcionamiento de la calefacción consiste, en primer lugar, en almacenar combustible en un tanque, después, por medio de una tubería, se conduce hacia el quemador. El quemador calienta el agua en la caldera y por medio de tuberías (las cuales deben estar aisladas) se conduce el agua caliente hacia el radiador, el cual está construido de una manera tal, que debe tener la mayor superficie posible para que el calor del agua se pueda transmitir al aire en el cuarto. Después, el agua enfriada se conduce por medio de una tubería hacia la caldera, para ser calentada de nuevo. El termostato regula la temperatura del cuarto automáticamente. Con el termómetro y los indicadores de nivel de agua y combustible se puede observar el estado de la calefacción.

Mantenerse informados

Algo muy importante para combatir al frío es mantener informada a la población. En los medios de comunicación, como la radio, periódicos y televisión, se informa sobre temporadas frías y las temperaturas mínimas esperadas. En las escuelas los niños aprenden cómo protegerse contra el frío, por ejemplo, como vestirse con ropa abrigada, tomar comida y bebidas calientes, no pasar demasiado tiempo fuera de las casas y siempre mantenerse seco.

Vías de comunicación y tránsito

El problema más grave relacionado con el frío y las heladas es el estado resbaladizo de los caminos. Cada año hay accidentes mortales por causa del hielo o nieve sobre los caminos al perder el conductor el control sobre su vehículo. Para disminuir los riesgos existen varias leyes que regulan el tráfico en Alemania durante el invierno. La velocidad máxima en carreteras, en estado

resbaladizo, se reduce considerablemente. La policía incorpora señales adicionales y aquellos que no las obedezcan tienen que pagar una multa o, incluso, pueden perder su licencia de conducir. Para reducir el estado resbaladizo de las calles y carreteras el gobierno tiene un sistema de servicio invernal que consiste en echar arena o sal en la carpeta asfáltica para derretir el hielo. Últimamente el uso de la sal para derretir la nieve se ha convertido en un tema de discusión ya que, aunque funciona mejor que la arena, puede perjudicar al medio ambiente.

Además, existen grandes vehículos llamados quitanieve (figura 3.77) que las autoridades usan para remover la nieve de los caminos, así como una ley que obliga a toda la gente a quitar la nieve frente a sus casas y mantener las vías peatonales libre de hielo y nieve todo el día.



Figura 3.77 Vehículo quitanieve

Equipamiento de automóviles

Los autos deben estar bien equipados para que sean seguros en invierno. Existen neumáticos invernales o, incluso, les ponen cadenas antideslizantes a las llantas (figura 3.78). En calles o carreteras muy escarpadas, sobre todo en las montañas, se cierran al tránsito cuando hay nieve o hielo. Los neumáticos invernales tienen ranuras profundas para que sean más estables en curvas y con nieve.



Figura 3.78 Neumáticos especiales para la temporada invernal

Riesgos por el peso de la nieve

En Alemania, la mayoría de las casas tiene techados inclinados y muy estables, por lo que no pueden acumular tanta nieve. También existen estrictos reglamentos de construcción. El peso de la nieve también puede causar que se caigan ramas de los árboles o el hielo que cuelga (carámbano) al congelarse el agua debajo de los balcones o techados de los edificios (figura 3.79). Cuando las autoridades se dan cuenta de un lugar donde existe un gran riesgo se ponen barreras para evitar que se acerque la gente.



Figura 3.79 Peligro por carámbanos que pueden caer de un tejado

Alimentación

En invierno el organismo humano necesita más energía para mantener el cuerpo caliente, por eso se tiene que comer más y, de ser posible, comida caliente. Como el organismo necesita muchas vitaminas para poder luchar contra las enfermedades, los médicos recomiendan comer por lo menos una fruta cada día durante el invierno, así como tomar bebidas calientes, lo que ayuda a mantenerse sin frío. Para asegurar una provisión suficiente de agua y alimento es necesario almacenar comida por parte de las familias, o bien, por parte de los mercados para que todos puedan comprar lo que necesiten. En Alemania las tuberías de agua están a una profundidad de aproximadamente un metro para asegurarse que nunca se congelen en invierno y esté disponible el líquido para su consumo.

Ropa

Se recomienda vestirse con varias capas de ropa, de preferencia de lana o de algodón, para conducir el sudor del cuerpo hacia afuera y ayudarse a mantenerse seco. Para los abrigos de invierno se usan materiales calientes como es la lana o el algodón. Otros accesorios que se recomienda usar son los guantes, bufanda y un gorro de lana, de tal manera que quede bien cubierto el cuello y las orejas. La humedad con el frío es muy dañina para la salud, por eso se recomienda mantener el cuerpo seco y se aconseja llevar consigo otro juego de calcetines u otra puesta de ropa cuando se está fuera de casa. En la noche se usan edredones nórdicos y si es necesario se colocan más cobijas en la cama y también se puede utilizar la calefacción.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En este documento se ha propuesto una metodología para estimar el peligro y la vulnerabilidad por bajas temperaturas y nevadas, con base en la información disponible y en la que se genera con tecnología reciente, como las estaciones meteorológicas automáticas. Se reconoce que el problema no se ha estudiado a profundidad para su aplicación en análisis de riesgo, por lo que la metodología es susceptible de ser mejorada en el futuro.

Asimismo, es posible que al llevar a cabo esta metodología se presenten dificultades para el manejo y tratamiento de la información, por que en ocasiones, como es el caso de las bajas temperaturas, la cantidad de datos es grande y requiere de una manipulación especializada a través de programas de cómputo que, a su vez, demandará de personal con capacidades técnicas adecuadas, como es el manejo de hojas de cálculo, de paquetes estadísticos o de programación de algún lenguaje. Por supuesto que se puede contar con la asesoría del Cenapred para este fin.

De igual manera se subraya el hecho de que, algunas veces, la información disponible no ayuda a sustentar el análisis de riesgo, como es el caso de las nevadas, en donde una variable importante, el espesor de nieve, no se reporta en absoluto, por lo que se recurre a información hemerográfica. Sería importante que en el futuro se deba medir o estimar sistemáticamente los espesores de nieve que ocurren en nuestro país y que afecten a la población o a sus bienes.

Este trabajo contribuye al conocimiento del peligro por nevadas en el país, al proponer una metodología para obtener la probabilidad del número de días con nevada en cualquier año para una zona en particular, así como establecer el área de influencia de la zona donde se calculará dicha probabilidad.

La confiabilidad de los resultados obtenidos en la metodología dependerá, principalmente, de la calidad y cantidad de los datos que se analicen. Por lo general, se tendrán pocos datos, dado que son escasas las zonas en el país donde ocurren nevadas severas. Además, existe cierto grado de incertidumbre en el registro de datos; sin embargo, la probabilidad obtenida es una estimación de la frecuencia de nevadas en un lugar determinado. La escasez de datos en el país sobre el fenómeno de nevadas dificulta su análisis porque éstos no se encuentran en formato digital y su recolección es ardua.

También en el caso de las nevadas, se recomienda validar la información recabada del sistema CLICOM, ya que en ocasiones existen discrepancias entre los datos de ubicación y altitud.

En México se tiene escasa cultura sobre acciones preventivas ante la ocurrencia de las nevadas, y es justificable ya que, geográficamente, es un país donde ocurren nevadas en una área menor y, principalmente, en época invernal, como es el caso de la sierra Tarahumara, el norte de Sonora y el valle de Toluca, donde además viven comunidades indígenas. Las medidas de protección contra las bajas temperaturas y nevadas en estas zonas se han transmitido de generación en generación (como tener anafres en las habitaciones), que año tras año ocasionan fallecimientos.

En México existe una vulnerabilidad social generada por diversos factores, entre ellos, el desconocimiento de la población sobre los fenómenos naturales y sus medidas preventivas, además de una insuficiente educación y capacitación que se traducen en escasa organización, por lo que se hace necesario insistir en el tema de la difusión de estos fenómenos, para lo cual el Cenapred está preparando la elaboración de un fascículo sobre fenómenos extremos, entre ellos las nevadas, que puedan utilizar las Unidades Estatales y Municipales de Protección Civil para la divulgación de estos temas entre la población.

Recomendaciones

A continuación se describen algunas recomendaciones para la aplicación de la metodología propuesta y para la mitigación del riesgo por bajas temperaturas y nevadas.

- Construir una bitácora de los fenómenos de bajas temperaturas y nevadas que ocurran en las comunidades, así como de su impacto, con la finalidad de documentar todos los fenómenos; esta información será de utilidad en el momento de realizar una actualización o mejora a la metodología.
- Con la metodología propuesta sería posible analizar la ubicación de centros de salud para que la población pueda acceder a los servicios médicos durante las épocas invernales.
- Para disminuir la vulnerabilidad social se deberá implementar campañas educativas y de concientización sobre el uso correcto de calentadores, así como sus posibles repercusiones en la salud de la gente.
- Contar con una norma de medición de espesores de nieve. Esto ayudaría a que en el futuro se cuente con información confiable para desarrollar trabajos de investigación referentes al tema de las nevadas.
- Aprovechar recursos humanos disponibles en escuelas técnicas o universidades para llevar a cabo la metodología propuesta.
- Contar con cartografía de la zona de estudio y facilidades para llevar a cabo los levantamientos de asentamientos y la aplicación de encuestas.
- Establecer técnicas de diseños estructurales para la construcción de techos con un bajo costo y que tengan la capacidad de soportar capas de nieve mayor a los umbrales propuestos.
- De igual manera se recomienda evitar el consumo excesivo de bebidas alcohólicas durante el invierno, porque éstas pueden provocar daños e, incluso, la muerte, al no estar conscientes las personas.
- Evitar exponerse al frío intenso durante largo tiempo.
- Mantener seco al cuerpo humano y a una temperatura agradable, por ello deberá protegerse en la época invernal con suficiente ropa de abrigo.
- Verificar el acceso a las zonas donde se presenten descensos bruscos de temperatura, ya que se puede formar nevadas y éstas pueden provocar bloqueos en las carreteras, y con ello la gente puede quedar aislada e incluso generar accidentes por que el pavimento puede estar resbaladizo o cubierto de hielo, si es que ocurre una helada.

- Evitar caminar sobre el piso congelado, ya que es cuando se presenta un gran número de caídas que llegan a ser peligrosas.
- Atender de inmediato cualquier enfermedad, porque éstas pueden llegar a complicarse y causar la muerte.
- Tener hábitos de higiene como lavarse las manos siempre, porque en la temporada invernal se incrementan las enfermedades gastrointestinales, debido a que el agua se encuentra muy fría.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al M. I. Marco Antonio Salas Salinas la elaboración de figuras mediante modelos digitales de elevación y al Dr. Óscar López Bátiz (investigador del área de Estructuras del CENAPRED) por su valiosa asesoría para el análisis estructural del peso de la nieve sobre los techos de las casas endebles.

Asimismo, se agradece a los Ing. Othón Cervantes, Ing. Jesús Landeros e Ing. Javier Espinosa del SMN por la ayuda en la obtención de los datos de nevadas y bajas temperaturas, así como el apoyo en la extracción de los datos y las noticias periodísticas, su recopilación y análisis, por parte de las pasantes en Geografía Rosa Paredes y Hayde Bustamante.

REFERENCIAS

- CONAPO (2000). Índices de marginación municipal, disponible en www.conapo.gob.mx.
- INEGI (2004). Información Geoespacial Referencia de México, IRIS.
- Mc Clung, D. y Schaerer, P. (2003). “Avalanchas”, Editorial Desnivel, España.
- OMM.1993: Atlas internacional de nubes, Vol. 1. Manual de observación de nubes y otros meteoros.
- SMN, (2006): DVD con información de estaciones automáticas en la República Mexicana editado por el Servicio Meteorológico Nacional.
- Trujillo, Ma, M. Betancourt y J. Cruz (2004). Salud y bajas temperaturas. En Epidemiología, Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, Vol. 21, Semana 21, Enero, del 23 al 29 de mayo, pp. 1-3.

BIBLIOGRAFÍA

- Barry, Roger G., Chorley, Richard J., “Atmósfera, tiempo y clima”, editorial Robinson, 1999.
- Beer and Johnson, “Mecánica de Materiales”, editorial Limusa, México 2000.
- Bermudez, M. (1994). Vulnerabilidad social y organización ante los desastres naturales en Costa Rica, en *Viviendo en Riesgo*, pp. 6-18.
- Canavos, George C., (1994), “Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y métodos”, McGraw Hill, México, mayo.
- Cardona, O. (2001). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. *Internacional Work-Conference on Vulnerability in Disaster, Theory and Practice*, 29 y 30 de junio. Disasters Studies of Wageningen, University and Research Center, Wageningen, Holanda.
- CENAVE (2005). Situación actual y acciones para la temporada invernal 2004-2005. Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud. Centro Nacional de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades.
- Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, “Los pueblos indígenas en México”, México 2004.
- CRED (2004) The OFDA/CRED International Disaster Database- www.em-dat.net- Université Catholique de Louvain-Brussels-Belgium.
- Fuentes-Aguilar, L., (1990). Climatología médica. La Ecología y su Salud. EDAMEX, México, pp.189.
- García-Acosta, V. (2005): El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos. *DESACATOS*, Vulnerabilidad social, riesgo y desastres, pp. 11-24.
- García-Arróliga, N., R. Marín y K. Méndez, (2004) Identificación de la vulnerabilidad social, en *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos*, CENAPRED, diciembre, pp.339-383.
- Gobierno del Distrito Federal, “Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto”, México 2004.
- Kilbourne. E. 2000. Ambientes fríos, en *Impacto de los desastres en la salud pública*. Organización Panamericana de la Salud. Bogota, Colombia. pp. 270-285.
- La RED (2005), Base de datos DesInventar-México (en construcción) www.desenredando.org.
- Lavell, A., (2002). Desastres y desarrollo: hacia un entendimiento de las formas de construcción social de un desastre:
- Macías, J.M., (1992). El significado de la vulnerabilidad social frente a los desastres, en *Revista Mexicana de Sociología*, UNAM, México, No. 4.

Matías, L., O. Fuentes y F. García (2001). Fascículo de Heladas. Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres, pp.35.

Morbidity and Mortality Weekly Reports (MMWR). 2005. Hypothermia-Related Deaths-United States 2003-2004, Centers of Disease Control and Prevention, February 25, 54(7); pp.173-175.

National Research Council (2001). Under the weather, climate, ecosystems and infections. Disease. National Academy Press, USA, PP. 146.

Ochoa, H., H. Sánchez y L. Martínez (1996). Uso de un índice de bienestar social para la planificación de la salud a nivel municipal. Salud Pública México, No. 38, pp, 257-267.

PEMEX, (2000) Sistema Municipal de Protección Civil para la población de Toluca en donde se asienta la Terminal de Almacenamiento y Distribución de PEMEX refinera. Estado de México, 350 pp.

Ruiz-Guadalajara, Juan Carlos (2005). De la construcción social del riesgo a la manifestación del desastre. Reflexiones en torno al imperio de la vulnerabilidad. DESACATOS, Vulnerabilidad social, riesgo y desastres, pp. 99-110.

Sánchez, D. (s/a). Hipotermia, Oficina de Recursos Educativos- FEPAFEM, {citado el 7-abril-2005}, disponible en www.aibarra.org.

Serie Schaum, “Mecánica de Materiales”, editorial Mc Graw – Hill, 1998.

UAM (1999). Boletín de información periodística de salud, No. 165, enero, pp.5.

UAM (2005). Boletín de información periodística de salud, Vol. 20, No. 1, enero, pp.3.

Vera, G. (2005). Vulnerabilidad social y expresiones del desastre en el distrito de Pochutla, Oaxaca, en La construcción social de riesgos y el huracán Paulina, pp. 35-144.

Viers, Georges, “Climatología”, Editorial Robinson, 1987.

Wetterhal, S. and E. Novi (1995). Vigilancia y epidemiología, en Impacto de los desastres en la salud pública. Organización Panamericana de la Salud. Bogota, Colombia. pp.38-51.

Wilches-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global, en los Desastres no son naturales, La Red, pp. 27-34.

Wilks, D. (1995). Statistical Methods in the Atmospheric Science. Academia Press, New York, USA, pp. 64-113.

Wind Chill Hazards (2002). Wind Chill Program, citado {21 de abril, 2005}, disponible en www.msc.ec.gc.ca/education/windchill/.

ANEXOS

ANEXO A

VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN

Tabla A.1 Niveles de vulnerabilidad en los municipios de México según su calidad de vida

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Aguascalientes	AGS	Baja	Ramos Arizpe	COAH	Baja
Asientos	AGS	Media	Sabinas	COAH	Baja
Calvillo	AGS	Media	Sacramento	COAH	Baja
Cosío	AGS	Baja	Saltillo	COAH	Baja
Jesús María	AGS	Baja	San Bajaventura	COAH	Baja
Pabellón de Arteaga	AGS	Baja	San Juan de Sabinas	COAH	Baja
Rincón de Romos	AGS	Baja	San Pedro	COAH	Baja
San José de Gracia	AGS	Media	Sierra Mojada	COAH	Baja
Tepezala	AGS	Media	Torreón	COAH	Baja
El Llano	AGS	Media	Viesca	COAH	Media
San Francisco de los Romos	AGS	Baja	Villa Unión	COAH	Media
Ensenada	BC	Baja	Zaragoza	COAH	Baja
Mexicali	BC	Baja	Armería	COL	Media
Tecate	BC	Baja	Colima	COL	Baja
Tijuana	BC	Baja	Comalita	COL	Media
Playas de Rosarito	BC	Baja	Coquimatlán	COL	Baja
Comondu	BCS	Baja	Cuauhtemoc	COL	Baja
Mulege	BCS	Baja	Ixtlahuacán	COL	Media
La Paz	BCS	Baja	Manzanillo	COL	Baja
Los Cabos	BCS	Baja	Minatitlán	COL	Media
Loreto	BCS	Baja	Tecomán	COL	Baja
Calkini	CAMP	Baja	Villa de Álvarez	COL	Baja
Campeche	CAMP	Baja	Acacoyagua	CHIS	Alta
Carmen	CAMP	Baja	Acala	CHIS	Media
Champotón	CAMP	Media	Acapetahua	CHIS	Media
Hecelchakan	CAMP	Media	Altamirano	CHIS	Alta
Hopelchen	CAMP	Media	Amatan	CHIS	Alta
Palizada	CAMP	Media	Amatenango de la Frontera	CHIS	Alta
Tenabo	CAMP	Media	Amatenango del Valle	CHIS	Alta
Escarcega	CAMP	Media	Ángel Albino Corzo	CHIS	Alta
Calakmul	CAMP	Alta	Arriaga	CHIS	Media
Candelaria	CAMP	Alta	Bejucal de Ocampo	CHIS	Alta
Abasolo	COAH	Baja	Bella Vista	CHIS	Alta
Acuña	COAH	Baja	Berriozabal	CHIS	Media
Allende	COAH	Baja	Bochil	CHIS	Alta
Arteaga	COAH	Media	El Bosque	CHIS	Alta
Candela	COAH	Media	Cacahoatán	CHIS	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Castaños	COAH	Baja	Catazaja	CHIS	Media
Cuatrociénegas	COAH	Baja	Cintalapa	CHIS	Media
Escobedo	COAH	Media	Coapilla	CHIS	Alta
Francisco I. Madero	COAH	Baja	Comitán de Domínguez	CHIS	Media
Frontera	COAH	Baja	La Concordia	CHIS	Alta
General Cepeda	COAH	Media	Copainala	CHIS	Alta
Guerrero	COAH	Media	Chalchihuitan	CHIS	Alta
Hidalgo	COAH	Media	Chamula	CHIS	Alta
Jiménez	COAH	Media	Chanal	CHIS	Alta
Juárez	COAH	Media	Chapultenango	CHIS	Alta
Lamadrid	COAH	Baja	Chenalhó	CHIS	Alta
Matamoros	COAH	Media	Chiapa de Corzo	CHIS	Media
Monclova	COAH	Baja	Chiapilla	CHIS	Alta
Morelos	COAH	Baja	Chicoasen	CHIS	Media
Muzquiz	COAH	Baja	Chicomuselo	CHIS	Alta
Nadadores	COAH	Baja	Chilon	CHIS	Alta
Nava	COAH	Baja	Escuintla	CHIS	Media
Ocampo	COAH	Media	Francisco León	CHIS	Alta
Parras	COAH	Baja	Frontera Coahuila	CHIS	Media
Piedras negras	COAH	Baja	Frontera Hidalgo	CHIS	Media
Progreso	COAH	Media	La Grandeza	CHIS	Media
Huehuetan	CHIS	Media	Tonalá	CHIS	Media
Huixtan	CHIS	Alta	Totolapa	CHIS	Alta
Huitiupan	CHIS	Alta	La Trinitaria	CHIS	Alta
Huixtla	CHIS	Media	Tumbalá	CHIS	Alta
La Independencia	CHIS	Alta	Tuxtla Gutiérrez	CHIS	Baja
Ixhuatan	CHIS	Alta	Tuxtla Chico	CHIS	Media
Ixtacomitan	CHIS	Media	Tuzantán	CHIS	Media
Ixtapa	CHIS	Alta	Tzimol	CHIS	Alta
Ixtapangajoya	CHIS	Alta	Unión Juárez	CHIS	Media
Jiquipilas	CHIS	Media	Venustiano Carranza	CHIS	Media
Jitotol	CHIS	Alta	Villa Corzo	CHIS	Media
Juárez	CHIS	Media	Villaflores	CHIS	Media
Larrainzar	CHIS	Alta	Yajalón	CHIS	Media
La Libertad	CHIS	Media	San Lucas	CHIS	Alta
Mapastepec	CHIS	Media	Zinacantán	CHIS	Alta
Las Margaritas	CHIS	Alta	San Juan Cancuc	CHIS	Alta
Mazapa de Madero	CHIS	Alta	Aldama	CHIS	Alta
Mazatan	CHIS	Media	Benemérito de las Américas	CHIS	Alta
Metapa	CHIS	Media	Maravilla Tenejapa	CHIS	Alta
Mitontic	CHIS	Alta	Márques de Comillas	CHIS	Alta
Motzintla	CHIS	Media	Montecristo de Guerrero	CHIS	Alta

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Nicolás Ruíz	CHIS	SC	San Andrés Duraznal	CHIS	Alta
Ocosingo	CHIS	Alta	Santiago el Pinar	CHIS	Alta
Ocotepec	CHIS	Alta	Ahumada	CHIH	Baja
Ocozocoautla de Espinosa	CHIS	Media	Aldama	CHIH	Baja
Ostuacan	CHIS	Alta	Allende	CHIH	Baja
Osumacinta	CHIS	Media	Aquiles Serdan	CHIH	Baja
Oxchuc	CHIS	Alta	Ascensión	CHIH	Media
Palenque	CHIS	Media	Bachíniva	CHIH	Media
Pantelhó	CHIS	Alta	Balleza	CHIH	Alta
Pantepec	CHIS	Alta	Batopilas	CHIH	Alta
Pichucalco	CHIS	Media	Bocoyna	CHIH	Media
Pijijiapan	CHIS	Media	Bajaventura	CHIH	Media
El Porvenir	CHIS	Alta	Camargo	CHIH	Baja
Villa Comaltitlán	CHIS	Media	Carichi	CHIH	Alta
Pueblo Nuevo Solistahuacán	CHIS	Alta	Casas Grandes	CHIH	Media
Rayón	CHIS	Alta	Coronado	CHIH	Media
Reforma	CHIS	Media	Coyame del Sotol	CHIH	Media
Las Rosas	CHIS	Alta	La Cruz	CHIH	Media
Sabanilla	CHIS	Alta	Cuauhtemoc	CHIH	Baja
Salto de agua	CHIS	Alta	Cusihuiriacchi	CHIH	Media
San Cristóbal de las Casas	CHIS	Media	Chihuahua	CHIH	Baja
San Fernando	CHIS	Media	Chinipas	CHIH	Alta
Siltepec	CHIS	Alta	Delicias	CHIH	Baja
Simojovel	CHIS	Alta	Dr. Belisario Domínguez	CHIH	Media
Sitala	CHIS	Alta	Galeana	CHIH	Baja
Socoltenango	CHIS	Alta	Santa Isabel	CHIH	Media
Solosuchiapa	CHIS	Alta	Gómez Farias	CHIH	Baja
Soyalo	CHIS	Alta	Gran Morelos	CHIH	Media
Suchiapa	CHIS	Media	Guachochi	CHIH	Alta
Suchiate	CHIS	Media	Guadalupe	CHIH	Media
Sunuapa	CHIS	Alta	Guadalupe y Calvo	CHIH	Alta
Tapachula	CHIS	Media	Guazapares	CHIH	Alta
Tapalapa	CHIS	Alta	Guerrero	CHIH	Media
Tapilula	CHIS	Media	Hidalgo del Parral	CHIH	Baja
Tecpatan	CHIS	Alta	Huejotitan	CHIH	Media
Tenejapa	CHIS	Alta	Ignacio Zaragoza	CHIH	Media
Teopisca	CHIS	Alta	Janos	CHIH	Media
Tila	CHIS	Alta	Jiménez	CHIH	Baja
Juárez	CHIH	Baja	Mapimí	DGO	Media
Julimes	CHIH	Media	Mezquital	DGO	Alta
López	CHIH	Media	Nazas	DGO	Media
Madera	CHIH	Media	Nombre de Dios	DGO	Media
Maguarichi	CHIH	Alta	Ocampo	DGO	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Manuel Benavides	CHIH	Media	El Oro	DGO	Media
Matachi	CHIH	Media	Otaez	DGO	Alta
Matamoros	CHIH	Media	Pánuco Coronado de	DGO	Media
Meoqui	CHIH	Baja	Peñón Blanco	DGO	Media
Morelos	CHIH	Alta	Poanas	DGO	Media
Moris	CHIH	Alta	Pueblo Nuevo	DGO	Media
Namiquipa	CHIH	Media	Rodeo	DGO	Media
Nonoava	CHIH	Media	San Bernardo	DGO	Media
Nuevo Casas Grandes	CHIH	Baja	San Dimas	DGO	Media
Ocampo	CHIH	Alta	San Juan de Guadalupe	DGO	Media
Ojinaga	CHIH	Baja	San Juan del Río	DGO	Media
Praxedis G. Guerrero	CHIH	Media	San Luis del Cordero	DGO	Media
Riva Palacio	CHIH	Media	San Pedro del Gallo	DGO	Media
Rosales	CHIH	Baja	Santa Clara	DGO	Media
Rosario	CHIH	Media	Santiago Papasquiario	DGO	Media
San Francisco de Borja	CHIH	Media	Suchil	DGO	Media
San Francisco de Conchos	CHIH	Media	Tamazula	DGO	Alta
San Francisco del Oro	CHIH	Baja	Tepehuanes	DGO	Media
Santa Bárbara	CHIH	Baja	Tlahualilo	DGO	Media
Satevo	CHIH	Media	Topia	DGO	Alta
Saucillo	CHIH	Baja	Vicente Guerrero	DGO	Baja
Temósachi	CHIH	Media	Nuevo Ideal	DGO	Media
El Tule	CHIH	Media	Abasolo	GTO	Media
Urique	CHIH	Alta	Acámbaro	GTO	Baja
Uruachi	CHIH	Alta	Allende	GTO	Media
Valle de Zaragoza	CHIH	Media	Apaseo el Alto	GTO	Media
Azcapotzalco	DF	Baja	Apaseo el Grande	GTO	Media
Coyoacán	DF	Baja	Atarjea	GTO	Alta
Cuajimalpa de Morelos	DF	Baja	Celaya	GTO	Baja
Gustavo A. Madero	DF	Baja	Manuel Doblado	GTO	Media
Iztacalco	DF	Baja	Comonfort	GTO	Media
Iztapalapa	DF	Baja	Coroneo	GTO	Media
Magdalena Contreras	DF	Baja	Cortazar	GTO	Baja
Milpa Alta	DF	Baja	Cuerámara	GTO	Media
Alvaro Obregón	DF	Baja	Doctor Mora	GTO	Media
Tlahuac	DF	Baja	Dolores Hidalgo	GTO	Media
Tlalpan	DF	Baja	Guanajuato	GTO	Baja
Xochimilco	DF	Baja	Huanímaro	GTO	Media
Benito Juárez	DF	Baja	Irapuato	GTO	Baja
Cuauhtémoc	DF	Baja	Jaral del Progreso	GTO	Media
Miguel Hidalgo	DF	Baja	Jerecuaro	GTO	Media
Venustiano Carranza	DF	Baja	León	GTO	Baja

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Canatlán	DGO	Media	Moroleón	GTO	Baja
Canelas	DGO	Alta	Ocampo	GTO	Media
Coneto de Comonfort	DGO	Media	Pénjamo	GTO	Media
Cuéncame	DGO	Media	Pueblo Nuevo	GTO	Media
Durango	DGO	Baja	Purísima del Rincón	GTO	Baja
General Simón Bolívar	DGO	Media	Romita	GTO	Media
Gómez Palacio	DGO	Baja	Salamanca	GTO	Baja
Guadalupe Victoria	DGO	Media	Salvatierra	GTO	Media
Guanaceví	DGO	Media	San Diego de la Unión	GTO	Media
Hidalgo	DGO	Media	San Felipe	GTO	Media
Inde	DGO	Media	San Francisco del Rincón	GTO	Baja
Lerdo	DGO	Baja	San Jose Iturbide	GTO	Media
San Luis de la Paz	GTO	Media	Marquelia	GRO	Alta
Santa Catarina	GTO	Media	Mártir de Cuilapa	GRO	Alta
Santa Cruz de Juventino Rosas	GTO	Media	Metlatonoc	GRO	Alta
Santiago Maravatio	GTO	Media	Mochitlán	GRO	Alta
Silao	GTO	Media	Olinala	GRO	Alta
Tarandacua	GTO	Media	Ometepec	GRO	Alta
Tarímoro	GTO	Media	Pedro Ascencio Alquisiras	GRO	Alta
Tierra Blanca	GTO	Alta	Petatlán	GRO	Media
Uriangato	GTO	Baja	Pilcaya	GRO	Media
Valle de Santiago	GTO	Media	Pungarabato	GRO	Media
Victoria	GTO	Media	Quechultenango	GRO	Alta
Villagrán	GTO	Baja	San Luis Acatlán	GRO	Alta
Xichu	GTO	Alta	San Marcos	GRO	Alta
Yuriria	GTO	Media	San Miguel Totola	GRO	Alta
Acapulco de Juárez	GRO	Baja	Taxco de Alarcón	GRO	Media
Ahuacuotzingo	GRO	Alta	Tecoanapa	GRO	Alta
Ajuchitlan del Progreso	GRO	Alta	Tecpan de Galeana	GRO	Media
Alcozauca de Guerrero	GRO	Alta	Teloloapan	GRO	Media
Alpoyeca	GRO	Media	Tepecoacuilco de Trujano	GRO	Media
Apaxtla	GRO	Media	Tetipac	GRO	Alta
Arcelia	GRO	Media	Tixtla de Guerrero	GRO	Media
Atenango del Río	GRO	Media	Tlacoachistlahuac	GRO	Alta
Atlamajalcingo del Monte	GRO	Alta	Tlacoapa	GRO	Alta
Atlixac	GRO	Alta	Tlalchapa	GRO	Media
Atoyac de Alvarez	GRO	Media	Tlalixtaquilla de Maldonado	GRO	Alta
Ayutla de los Libres	GRO	Alta	Tlapa de Comonfort	GRO	Media
Azoyu	GRO	Alta	Tlapehuala	GRO	Media
Benito Juárez	GRO	Media	La Unión de Isidoro Montes de Oca	GRO	Media
Bajavista de Cuellar	GRO	Media	Xalpatlahuac	GRO	Alta

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Coahuayutla de José María Izazaga	GRO	Alta	Xochihuehuetlán	GRO	Media
Cochoapa el Grande	GRO	Alta	Xochistlahuaca	GRO	Alta
Cocula	GRO	Media	Zapotitlán Tablas	GRO	Alta
Copala	GRO	Media	Zirandaro	GRO	Alta
Copalillo	GRO	Alta	Zitlala	GRO	Alta
Copanotoyac	GRO	Alta	Eduardo Neri	GRO	Media
Coyuca de Benitez	GRO	Media	Acatepec	GRO	Alta
Coyuca de Catalán	GRO	Media	Acatlán	HGO	Media
Cuajinicuilapa	GRO	Media	Acaxochitlán	HGO	Alta
Cualac	GRO	Alta	Actopan	HGO	Baja
Cuautepec	GRO	Alta	Agua Blanca de Iturbide	HGO	Media
Cuetzala del Progreso	GRO	Alta	Ajacuba	HGO	Media
CutzaAlta de Pinzón	GRO	Media	Alfajayucan	HGO	Media
Chilapa de Alvarez	GRO	Alta	Almoloya	HGO	Media
Chilpancingo de los Bravos	GRO	Baja	Apan	HGO	Baja
Florencio Villarreal	GRO	Media	El Arenal	HGO	Media
General Canuto A. Neri	GRO	Alta	Atitalaquia	HGO	Baja
General Heliodoro Castillo	GRO	Alta	Atlapexco	HGO	Alta
Huamuxtítán	GRO	Media	Atotonilco el Grande	HGO	Media
Huitzuc de los Figueroa	GRO	Media	Atotonilco de Tula	HGO	Baja
Iguala de la Independencia	GRO	Baja	Calnali	HGO	Alta
Igualapa	GRO	Alta	Cardonal	HGO	Media
Iliatenco	GRO	Alta	Cuautepec de Hinojosa	HGO	Media
Ixcateopan de Cuahitémoc	GRO	Media	Chapantongo	HGO	Media
José Azueta	GRO	Baja	Chapulhuacan	HGO	Media
José Joaquín Herrera	GRO	Alta	Chilcuautla	HGO	Media
Juan R. Escudero	GRO	Media	Eloxochitlan	HGO	Media
Juchitán	GRO	Alta	Emiliano Zapata	HGO	Baja
Leonardo Bravo	GRO	Alta	Epazoyucan	HGO	Media
Malinaltepec	GRO	Alta	Francisco I. Madero	HGO	Baja
Huasca de Ocampo	HGO	Media	Zempoala	HGO	Baja
Huautla	HGO	Alta	Zimapán	HGO	Media
Huazalingo	HGO	Alta	Acatic	JAL	Baja
Huehuetla	HGO	Alta	Acatlan de Juárez	JAL	Baja
Huejutla de Reyes	HGO	Media	Ahualulco de Mercado	JAL	Baja
Huichapan	HGO	Media	Amacueca	JAL	Media
Ixmiquilpan	HGO	Media	Amatitán	JAL	Baja
Jacala de Ledezma	HGO	Media	Ameca	JAL	Baja
Jaltocan	HGO	Alta	San Juanito de Escobedo	JAL	Baja
Juárez Hidalgo	HGO	Media	Arandas	JAL	Baja
Lolotla	HGO	Alta	Arenal	JAL	Baja
Metepec	HGO	Media	Atemajac de	JAL	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
			Brizuela		
San Agustín Metzquititlán	HGO	Media	Atengo	JAL	Media
Metztitlán	HGO	Media	Atenguillo	JAL	Media
Mineral del Chico	HGO	Media	Atotonilco el Alto	JAL	Baja
Mineral del Monte	HGO	Baja	Atoyac	JAL	Media
La Misión	HGO	Alta	Autlán de Navarro	JAL	Baja
Mixquiahuala de Juárez	HGO	Baja	Ayotlán	JAL	Media
Molango de Escamilla	HGO	Media	Ayutla	JAL	Media
Nicolás Flores	HGO	Alta	La Barca	JAL	Baja
Nopala de Villagrán	HGO	Media	Bolaños	JAL	Media
Omitlán de Juárez	HGO	Media	Cabo Corrientes	JAL	Media
San Felipe Orizatlán	HGO	Alta	Casimiro Castillo	JAL	Baja
Pacula	HGO	Alta	Cihuatlán	JAL	Baja
Pachuca de Soto	HGO	Baja	Zapotlán el Grande	JAL	Baja
Pisaflores	HGO	Alta	Cocula	JAL	Baja
Progreso de Obregón	HGO	Baja	Colotlán	JAL	Baja
Mineral de la Reforma	HGO	Baja	Concepción de Buenos Aires	JAL	Media
San Agustín Tlaxiaca	HGO	Media	Cuautitlán de García Barragán	JAL	Alta
San Bartolo Tututepec	HGO	Alta	Cuautla	JAL	Media
San Salvador	HGO	Media	Cuquio	JAL	Media
Santiago de Anaya	HGO	Media	Chapala	JAL	Baja
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero	HGO	Baja	Chimaltitán	JAL	Media
Singuilucan	HGO	Media	Chiquilistlán	JAL	Media
Tasquillo	HGO	Media	Degollado	JAL	Media
Tecoautla	HGO	Media	Ejutla	JAL	Media
Tenango de Doria	HGO	Media	Encarnación de Díaz	JAL	Media
Tepeapulco	HGO	Baja	Ezatlán	JAL	Baja
Tepehuacan de Guerrero	HGO	Alta	El Grullo	JAL	Baja
Tepeji del Rio de Ocampo	HGO	Baja	Guachinango	JAL	Media
Tepetitlan	HGO	Media	Guadalajara	JAL	Baja
Tetepango	HGO	Baja	Hostotipaquillo	JAL	Media
Villa de Tezontepec	HGO	Media	Huejucar	JAL	Media
Tezontepec de Aldama	HGO	Media	Huejuquilla el Alto	JAL	Media
Tiangüstengo	HGO	Alta	La Huerta	JAL	Baja
Tizayuca	HGO	Baja	Ixtlahuacán de los Membrillos	JAL	Baja
Tlahuelilpan	HGO	Baja	Ixtlahuacán del Río	JAL	Media
Tlahuiltepa	HGO	Alta	Jalostotitlán	JAL	Baja
Tlanalapa	HGO	Baja	Jamay	JAL	Baja
Tlanchinol	HGO	Alta	Jesús María	JAL	Media
Tlaxcoapan	HGO	Baja	Jilotlán de los Dolores	JAL	Media
Tolcayuca	HGO	Baja	Jocotepec	JAL	Baja

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Tula de Allende	HGO	Baja	Juanacatlán	JAL	Baja
Tulancingo de Bravo	HGO	Baja	Juchitlán	JAL	Media
Xochiatipan	HGO	Baja	Lagos de Moreno	JAL	Baja
Xochicoatlán	HGO	Media	El Limón	JAL	Baja
Yahualica	HGO	Alta	Magdalena	JAL	Baja
Zacualtipán de Angeles	HGO	Media	Santa María del Oro	JAL	Alta
Zapotlán de Juárez	HGO	Baja	La Manzanilla de la Paz	JAL	Media
Mascota	JAL	Media	Cañadas Obregón de	JAL	Media
Mazamitla	JAL	Media	Yahualica de González Gallo	JAL	Media
Mexicacán	JAL	Media	Zacoalco de Torres	JAL	Baja
Mezquitic	JAL	Alta	Zapopan	JAL	Baja
Mixtlán	JAL	Media	Zapotiltic	JAL	Baja
Ocotlán	JAL	Baja	Zapotitlán de Vadillo	JAL	Media
Ojuelos de Jalisco	JAL	Media	Zapotlán del Rey	JAL	Media
Pihuamo	JAL	Media	Zapotlanejo	JAL	Baja
Poncitlán	JAL	Baja	Acambay	MEX	Media
Puerto Vallarta	JAL	Baja	Acolmán	MEX	Baja
Villa Purificación	JAL	Media	Aculco	MEX	Media
Quitupan	JAL	Media	Almoleya de Alquisiras	MEX	Media
El Salto	JAL	Baja	Almoleya de Juárez	MEX	Media
San Cristóbal de la Barranca	JAL	Media	Almoleya del Río	MEX	Baja
San Diego de Alejandría	JAL	Media	Amanalco	MEX	Alta
San Juan de los Lagos	JAL	Baja	Amatepec	MEX	Media
San Julián	JAL	Baja	Amecameca	MEX	Baja
San Marcos	JAL	Baja	Apaxco	MEX	Baja
San Martín de Bolaños	JAL	Media	Atenco	MEX	Baja
San Martín Hidalgo	JAL	Baja	Atizapán	MEX	Baja
San Miguel el Alto	JAL	Baja	Atizapán de Zaragoza	MEX	Baja
Gómez Farías	JAL	Media	Atzacmulco	MEX	Media
San Sebastián del Oeste	JAL	Media	Atlautla	MEX	Media
Santa María de los Ángeles	JAL	Media	Axapusco	MEX	Media
Sayula	JAL	Baja	Ayapango	MEX	Media
Tala	JAL	Baja	Calimaya	MEX	Baja
Talpa de Allende	JAL	Media	Capulhuac	MEX	Baja
Tamazula de Gordiano	JAL	Baja	Coacalco de Berriozabal	MEX	Baja
Tapalpa	JAL	Media	Coatepec Harinas	MEX	Media
Tecalitlán	JAL	Media	Cocotitlán	MEX	Baja
Tecolotlán	JAL	Media	Coyotepec	MEX	Baja
Techaluta de Montenegro	JAL	Media	Cuautitlán	MEX	Baja
Tenamaxtlán	JAL	Media	Chalco	MEX	Baja
Teocaltiche	JAL	Media	Chapa de Mota	MEX	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Teocuitatlán de Coronado	JAL	Media	Chapultepec	MEX	Baja
Tepatitlán de Morelos	JAL	Baja	Chiautla	MEX	Baja
Tequila	JAL	Baja	Chicoloapan	MEX	Baja
Teuchitlán	JAL	Baja	Chiconcuac	MEX	Baja
Tizapan el Alto	JAL	Media	Chimalhuacán	MEX	Baja
Tlajomulco de Zuñiga	JAL	Baja	Donato Guerra	MEX	Alta
Tlaquepaque	JAL	Baja	Ecatepec de Morelos	MEX	Baja
Tolimán	JAL	Media	Ecatzingo	MEX	Media
Tomatlán	JAL	Media	Huehuetoca	MEX	Baja
Tonalá	JAL	Baja	Hueyoxtla	MEX	Media
Tonaya	JAL	Media	Huixquilucán	MEX	Baja
Tonila	JAL	Baja	Isidro Fabela	MEX	Media
Totatiche	JAL	Media	Ixtapaluca	MEX	Baja
Tototlán	JAL	Media	Ixtapan de la Sal	MEX	Media
Tuxcacuesco	JAL	Media	Ixtapan del Oro	MEX	Alta
Tuxcueca	JAL	Media	Ixtlahuaca	MEX	Media
Tuxpan	JAL	Baja	Jalatlaco	MEX	Media
Unión de San Antonio	JAL	Media	Jaltenco	MEX	Baja
Unión de Tula	JAL	Baja	Jilotepec	MEX	Media
Valle de Guadalupe	JAL	Baja	Jilotzingo	MEX	Media
Valle de Juárez	JAL	Media	Jiquipilco	MEX	Media
San Gabriel	JAL	Media	Jocotitlán	MEX	Media
Villa Corona	JAL	Baja	Joquicingo	MEX	Media
Villa Guerrero	JAL	Media	Juchitepec	MEX	Media
Villa Hidalgo	JAL	Media	Lerma	MEX	Baja
Luvianos	MEX	Media	Tultepec	MEX	Baja
Malinalco	MEX	Media	Tultitlán	MEX	Baja
Melchor Ocampo	MEX	Baja	Valle de Bravo	MEX	Media
Metepec	MEX	Baja	Villa de Allende	MEX	Alta
Mexicalcingo	MEX	Baja	Villa del Carbón	MEX	Media
Morelos	MEX	Media	Villa Guerrero	MEX	Media
Naucalpan de Juárez	MEX	Baja	Villa Victoria	MEX	Alta
Nezahualcóyotl	MEX	Baja	Xonacatlán	MEX	Media
Nextlalpan	MEX	Baja	Zacazonapan	MEX	Media
Nicolás Romero	MEX	Baja	Zacualpan	MEX	Media
Nopaltepec	MEX	Media	Zinacantepec	MEX	Media
Ocoyoacac	MEX	Baja	Zumpahuacán	MEX	Media
Ocuilán	MEX	Media	Zumpango	MEX	Baja
El Oro	MEX	Media	Cuautitlán Izcalli	MEX	Baja
Otumba	MEX	Media	Valle de Chalco Solidaridad	MEX	Baja
Otzoloapan	MEX	Alta	Acuitzio	MICH	Media
Otzolotepec	MEX	Media	Aguililla	MICH	Media
Ozumba	MEX	Media	Álvaro Obregón	MICH	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Papalotla	MEX	Baja	Angamacutiro	MICH	Media
La Paz	MEX	Baja	Angangueo	MICH	Media
Polotitlán	MEX	Baja	Apatzingán	MICH	Baja
Rayón	MEX	Baja	Aporo	MICH	Media
San Antonio la Isla	MEX	Baja	Aquila	MICH	Alta
San Felipe del Progreso	MEX	Alta	Ario	MICH	Media
San José del Rincón	MEX	Alta	Arteaga	MICH	Media
San Martín de las Pirámides	MEX	Baja	Briseñas	MICH	Media
San Mateo Atenco	MEX	Baja	Bajavista	MICH	Media
San Simón de Guerrero	MEX	Media	Carácuaro	MICH	Alta
Santo Tomás	MEX	Media	Coahuayana	MICH	Media
Soyaniquilpan de Juárez	MEX	Media	Coalcomán de Vázquez Pallares	MICH	Media
Sultepec	MEX	Alta	Coeneo	MICH	Media
Tecámac	MEX	Baja	Contepec	MICH	Media
Tejupilco	MEX	Media	Copándaro	MICH	Media
Temamatla	MEX	Baja	Cotija	MICH	Media
Temascalapa	MEX	Media	Cuitzeo	MICH	Media
Temascalcingo	MEX	Media	Charapán	MICH	Alta
Temascaltepec	MEX	Alta	Charo	MICH	Media
Temoaya	MEX	Media	Chavinda	MICH	Media
Tenancingo	MEX	Media	Cherán	MICH	Media
Tenango del Aire	MEX	Baja	Chilchota	MICH	Media
Tenango del Valle	MEX	Media	Chinicuilá	MICH	Alta
Teoloyucan	MEX	Baja	Chucándiro	MICH	Media
Teotihuacan	MEX	Baja	Churintzio	MICH	Media
Tepetlaoxtoc	MEX	Baja	Churumuco	MICH	Alta
Tepetlixpa	MEX	Media	Ecuandureo	MICH	Media
Tepotzotlán	MEX	Baja	Epitacio Huerta	MICH	Media
Tequixquiac	MEX	Baja	Erongarícuaro	MICH	Media
Texcaltitlán	MEX	Media	Gabriel Zamora	MICH	Media
Texcalyacac	MEX	Baja	Hidalgo	MICH	Media
Texcoco	MEX	Baja	La Huacana	MICH	Media
Tezoyuca	MEX	Baja	Huandacareo	MICH	Media
Tianguistenco	MEX	Media	Huaniqueo	MICH	Media
Timilpan	MEX	Media	Huetamo	MICH	Media
Tlalmanalco	MEX	Baja	Huiramba	MICH	Media
Tlalnepantla de Baz	MEX	Baja	Indaparapeo	MICH	Media
Tlatlaya	MEX	Media	Irimbo	MICH	Media
Toluca	MEX	Baja	Ixtlán	MICH	Media
Tonanitla	MEX	Baja	Jacona	MICH	Baja
Tonatico	MEX	Media	Jiménez	MICH	Media
Jiquilpán	MICH	Baja	Villamar	MICH	Media
Juárez	MICH	Media	Vista Hermosa	MICH	Media
Jungapeo	MICH	Media	Yurécuaro	MICH	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Lagunillas	MICH	Media	Zacapu	MICH	Baja
Madero	MICH	Alta	Zamora	MICH	Baja
Maravatio	MICH	Media	Zinaparo	MICH	Media
Marcos Castellanos	MICH	Baja	Zinapécuaro	MICH	Media
Lázaro Cárdenas	MICH	Baja	Ziracuaretiro	MICH	Media
Morelia	MICH	Baja	Zitácuaro	MICH	Media
Morelos	MICH	Media	José Sixto Verduzco	MICH	Media
Múgica	MICH	Media	Amacuzac	MOR	Media
Nahuatzen	MICH	Alta	Atlatlahucan	MOR	Baja
Nocupetaro	MICH	Alta	Axochiapan	MOR	Media
Nuevo Parangaricutiro	MICH	Media	Ayala	MOR	Media
Nuevo Urecho	MICH	Media	Coatlán del Rio	MOR	Media
Numarán	MICH	Media	Cuautla	MOR	Baja
Ocampo	MICH	Alta	Cuernavaca	MOR	Baja
Pajacuarán	MICH	Media	Emiliano Zapata	MOR	Baja
Panindícuaro	MICH	Media	Huitzilac	MOR	Media
Parácuaro	MICH	Media	Jantetelco	MOR	Media
Paracho	MICH	Media	Jiutepec	MOR	Baja
Pátzcuaro	MICH	Media	Jojutla	MOR	Baja
Penjamillo	MICH	Media	Joncatepec	MOR	Media
Peribán	MICH	Baja	Mazatepec	MOR	Media
La Piedad	MICH	Baja	Miacatlán	MOR	Media
Purépero	MICH	Media	Ocuituco	MOR	Media
Puruándiro	MICH	Media	Puente de Ixtla	MOR	Media
Queréndaro	MICH	Media	Temixco	MOR	Baja
Quiroga	MICH	Media	Tepalcingo	MOR	Media
Cojumatlán de Regules	MICH	Media	Tepoztlán	MOR	Baja
Los Reyes	MICH	Baja	Tetecala	MOR	Media
Azuayo	MICH	Baja	Tetela del Volcán	MOR	Media
San Lucas	MICH	Media	Tlalnepantla	MOR	Media
Santa Ana Maya	MICH	Media	Tlaltizapan	MOR	Baja
Salvador Escalante	MICH	Media	Tlaquitenango	MOR	Media
Senguio	MICH	Media	Tlayacapan	MOR	Media
Susupuato	MICH	Alta	Totolapan	MOR	Media
Tacámbaro	MICH	Media	Xochitepec	MOR	Media
Tancítaro	MICH	Media	Yautepec	MOR	Baja
Tangamandapio	MICH	Media	Yecapixtla	MOR	Media
Tangancícuaro	MICH	Media	Zacatepec de Hidalgo	MOR	Baja
Tanhuato	MICH	Media	Zacualpan de Amilpas	MOR	Media
Taretan	MICH	Media	Temoac	MOR	Media
Tarímbaro	MICH	Media	Acaponeta	NAY	Baja
Tepalcatepec	MICH	Media	Ahuacatlán	NAY	Baja
Tingambato	MICH	Media	Amatlan de Cañas	NAY	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Tingüindín	MICH	Media	Compostela	NAY	Baja
Tiquicheo de Nicolás Romero	MICH	Alta	Huajicorí	NAY	Alta
Tlalpujahua	MICH	Media	Ixtlán del Río	NAY	Baja
Tlazazalca	MICH	Media	Jala	NAY	Media
Tocumbo	MICH	Baja	Jalisco	NAY	Baja
Tumbiscatio	MICH	Alta	Del Nayar	NAY	Alta
Turicato	MICH	Alta	Rosamorada	NAY	Media
Tuxpan	MICH	Media	Ruíz	NAY	Media
Tuzantla	MICH	Alta	San Blas	NAY	Media
Tzintzuntzan	MICH	Media	San Pedro Lagunillas	NAY	Media
Tzitzio	MICH	Alta	Santa María del Oro	NAY	Media
Uruapán	MICH	Baja	Santiago Ixcuintla	NAY	Media
Venustiano Carranza	MICH	Media	Tecuala	NAY	Baja
Tepic	NAY	Baja	Asunción Italtepec	OAX	Media
Tuxpan	NAY	Baja	Asunción Nochixtlán	OAX	Media
La Yesca	NAY	Alta	Asunción Ocotlán	OAX	Alta
Bahía de Banderas	NAY	Baja	Asunción Tlacolulita	OAX	Alta
Abasolo	NL	Baja	Ayotzintepec	OAX	Alta
Agualeguas	NL	Baja	El Barrio de la Soledad	OAX	Baja
Los Aldamas	NL	Media	Calihuala	OAX	Alta
Allende	NL	Baja	Candelaria Loxicha	OAX	Alta
Anáhuac	NL	Baja	Ciénega de Zimatlán	OAX	Media
Apodaca	NL	Baja	Ciudad Ixtepec	OAX	Baja
Aramberri	NL	Media	Coatecas Altas	OAX	Alta
Bustamante	NL	Baja	Coicoyan de las Flores	OAX	Alta
Cadereyta Jiménez	NL	Baja	La Compañía	OAX	Alta
Carmen	NL	Baja	Concepción Bajavista	OAX	Alta
Cerralvo	NL	Baja	Concepción Papalo	OAX	Alta
Ciénega de Flores	NL	Baja	Constancia del Rosario	OAX	Alta
China	NL	Baja	Cosolapa	OAX	Media
Doctor Arroyo	NL	Media	Cosoltepec	OAX	Media
Doctor Coss	NL	Media	Cuilapam de Guerrero	OAX	Media
Doctor González	NL	Baja	Cuyamecalco Villa de Zaragoza	OAX	Alta
Galeana	NL	Media	Acuites	OAX	Media
García	NL	Baja	Chalcatongo de Hidalgo	OAX	Alta
San Pedro Garza García	NL	Baja	Chiquihuitlán de Benito Juárez	OAX	Alta
General Bravo	NL	Baja	Heróica ciudad de Ejutla de Crespo	OAX	Alta
General Escobedo	NL	Baja	Eloxochitlán de Flores Magón	OAX	Alta

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
General Terán	NL	Baja	El Espinal	OAX	Baja
General Trevino	NL	Baja	Tamazulapam del Espíritu Santo	OAX	Alta
General Zaragoza	NL	Alta	Fresnillo de Trujano	OAX	Alta
General Zuazua	NL	Baja	Guadalupe Etla	OAX	Baja
Guadalupe	NL	Baja	Guadalupe Ramírez	OAX	Media
Los Herreras	NL	Baja	Guelatao de Juárez	OAX	Baja
Higueras	NL	Baja	Guevea de Humboldt	OAX	Alta
Hualahuises	NL	Baja	Mesones Hidalgo	OAX	Alta
Iturbide	NL	Media	Villa Hidalgo	OAX	Alta
Juárez	NL	Baja	Heróica Ciudad de Huajuapán de León	OAX	Baja
Lampazos de Naranjo	NL	Baja	Huauteppec	OAX	Alta
Linares	NL	Baja	Huautla de Jiménez	OAX	Alta
Marín	NL	Baja	Ixtlán de Juárez	OAX	Alta
Melchor Ocampo	NL	Baja	Juchitán de Zaragoza	OAX	Media
Mier y Noriega	NL	Baja	Loma Bonita	OAX	Media
Mina	NL	Media	Magdalena Apasco	OAX	Media
Montemorelos	NL	Baja	Magdalena Jaltepec	OAX	Alta
Monterrey	NL	Baja	Santa Magdalena Jicotlán	OAX	Media
Parás	NL	Baja	Magdalena Mixtepec	OAX	Alta
Pesquería	NL	Baja	Magdalena Ocotlán	OAX	Alta
Los Ramones	NL	Media	Magdalena Peñasco	OAX	Alta
Rayones	NL	Media	Magdalena Teitipac	OAX	Alta
Sabinas Hidalgo	NL	Baja	Magdalena Tequisistlán	OAX	Media
Salinas Victoria	NL	Baja	Magdalena Tlacotepec	OAX	Media
San Nicolás de los Garza	NL	Baja	Magdalena Zahuatlán	OAX	Alta
Hidalgo	NL	Baja	Mariscala de Juárez	OAX	Media
Santa Catarina	NL	Baja	Martirés de Tacubaya	OAX	Alta
Santiago	NL	Baja	Matias Romero	OAX	Media
Vallecillo	NL	Media	Mazatlán Villa de Flores	OAX	Alta
Villaldama	NL	Baja	Miahuatlán de Porfirio Díaz	OAX	Media
Abejones	OAX	Alta	Mixistlán de la Reforma	OAX	Alta
Acatlán de Pérez Figueroa	OAX	Media	Monjas	OAX	Alta
Asunción Cacalotepec	OAX	Alta	Natividad	OAX	Media
Asunción Cuyotepeji	OAX	Media	Nazareno Etla	OAX	Baja
Nejapa de Madero	OAX	Alta	San Bartolo Yautepec	OAX	Media
Nejapa de Madero	OAX	Alta	San Bernardo Mixtepec	OAX	Alta

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Ixpantepec Nieves	OAX	Media	San Blas Atempa	OAX	Media
Santiago Niltepec	OAX	Media	San Carlos Yautepec	OAX	Alta
Oaxaca de Juárez	OAX	Baja	San Cristóbal Amatlán	OAX	Alta
Ocotlán de Morelos	OAX	Media	San Cristóbal Amoltepec	OAX	Alta
La Pe	OAX	Alta	San Cristóbal Lachirioag	OAX	Alta
Pinotepa de Don Luis	OAX	Alta	San Cristóbal Suchixtlahuaca	OAX	Media
Pluma Hidalgo	OAX	Alta	San Dionisio del Mar	OAX	Alta
San Jose del Progreso	OAX	Alta	San Dionisio Ocoatepec	OAX	Alta
Putla Villa de Guerrero	OAX	Media	San Dionisio Ocotlán	OAX	Media
Santa Catarina Quioquitani	OAX	Alta	San Esteban Atatlahuca	OAX	Alta
Reforma de Pineda	OAX	Media	San Felipe Jalapa de Díaz	OAX	Alta
La Reforma	OAX	Media	San Felipe Tejalapam	OAX	Alta
Reyes Etna	OAX	Media	San Felipe Usila	OAX	Alta
Rojas de Cuauhtémoc	OAX	Media	San Francisco Cahuacua	OAX	Alta
Salina Cruz	OAX	Baja	San Francisco Cajonos	OAX	Alta
San Agustín Amatenango	OAX	Alta	San Francisco Chapulapa	OAX	Alta
San Agustín Atenango	OAX	Media	San Francisco Chindua	OAX	Alta
San Agustín Chayuco	OAX	Alta	San Francisco del Mar	OAX	Media
San Agustín de las Juntas	OAX	Media	San Francisco Huehuetlán	OAX	Alta
San Agustín Etna	OAX	Baja	San Francisco Ixhuatán	OAX	Media
San Agustín Loxicha	OAX	Alta	San Francisco Jaltepetongo	OAX	Alta
San Agustín Tlacotepec	OAX	Alta	San Francisco Lachigolo	OAX	Media
San Agustín Yatareni	OAX	Media	San Francisco Logueche	OAX	Alta
San Andrés Cabecera Nueva	OAX	Alta	San Francisco Nuxaño	OAX	Alta
San Andrés Dinicuiti	OAX	Media	San Francisco Ozolotepec	OAX	Alta
San Andrés Huaxpaltepec	OAX	Alta	San Francisco Sola	OAX	Alta
San Andrés Huayapam	OAX	Baja	San Francisco Telixtlahuaca	OAX	Media
San Andrés Ixtlahuaca	OAX	Media	San Francisco Teopan	OAX	Alta
San Andrés Laguna	OAX	Media	San Francisco Tlapancingo	OAX	Alta
San Andrés Nuxiño	OAX	Alta	San Gabriel Mixtepec	OAX	Alta
San Andrés Paxtlán	OAX	Alta	San Ildefonso	OAX	Alta

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
			Amatlán		
San Andrés Sinaxtla	OAX	Media	San Ildefonso Sola	OAX	Alta
San Andrés Solaga	OAX	Alta	San Ildefonso Villa Alta	OAX	Media
San Andrés Teotilalpam	OAX	Alta	San Jacinto Amilpas	OAX	Baja
San Andrés Tepetlapa	OAX	Alta	San Jacinto Tlacotepec	OAX	Alta
San Andrés Yaa	OAX	Alta	San Jerónimo Coatlán	OAX	Alta
San Andrés Zabache	OAX	Alta	San Jerónimo Silacayoapilla	OAX	Media
San Andrés Zautla	OAX	Media	San Jerónimo Sosola	OAX	Alta
San Antonino Castillo Velasco	OAX	Media	San Jerónimo Taviche	OAX	Alta
San Antonino el Alto	OAX	Alta	San Jerónimo Tecuati	OAX	Alta
San Antonino Monte Verde	OAX	Alta	San Jorge Nuchita	OAX	Alta
San Antonio Acutla	OAX	Alta	San José Ayuquila	OAX	Media
San Antonio de la Cal	OAX	Media	San José Chiltepec	OAX	Media
San Antonio Huitepec	OAX	Alta	San José del Penasco	OAX	Alta
San Antonio Nanahuatipam	OAX	Media	San José Estancia Grande	OAX	Alta
San Antonio Sinicahua	OAX	Alta	San José Independencia	OAX	Alta
San Antonio Tepetlapa	OAX	Alta	San José Lachiguiri	OAX	Alta
San Baltazar Chichicapam	OAX	Alta	San José Tenango	OAX	Alta
San Baltazar Loxicha	OAX	Alta	San Juan Achiutla	OAX	Media
San Baltazar Yatzachi el Bajo	OAX	Alta	San Juan Atepec	OAX	Alta
San Bartolo Coyotepec	OAX	Media	Animas Trujano	OAX	Baja
San Bartolomé Ayautla	OAX	Alta	San Juan Bautista Atlatluca	OAX	Alta
San Bartolomé Loxicha	OAX	Alta	San Juan Bautista Coixtlahuaca	OAX	Alta
San Bartolomé Quialana	OAX	Alta	San Juan Bautista Cuicatlan	OAX	Media
San Bartolomé Yucuañe	OAX	Alta	San Juan Bautista Guelache	OAX	Media
San Bartolomé Zoogocho	OAX	Media	San Juan Bautista Jayacatlan	OAX	Alta
San Bartolo Soyaltepec	OAX	Alta	San Juan Bautista lo de Soto	OAX	Alta
San Juan Bautista Suchitepec	OAX	Alta	San Martín Huamelúlpam	OAX	Media
San Juan Bautista Tlacoatzintepec	OAX	Alta	San Martín Itunyoso	OAX	Alta
San Juan Bautista Tlachichilco	OAX	Alta	San Martín Lachilá	OAX	Alta
San Juan Bautista Tuxtepec	OAX	Media	San Martín Peras	OAX	Alta
San Juan Cacahuatpec	OAX	Media	San Martín Tilcajete	OAX	Media
San Juan Cieneguilla	OAX	Media	San Martín Toxpalan	OAX	Alta
San Juan Coatzóspam	OAX	Alta	San Martín	OAX	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
			Zacatepec		
San Juan Colorado	OAX	Alta	San Mateo Cajonos	OAX	Alta
San Juan Comaltepec	OAX	Alta	Capulalpam de Méndez	OAX	Media
San Juan Cotzocon	OAX	Alta	San Mateo del Mar	OAX	Alta
San Juan Chicomezúchil	OAX	Alta	San Mateo Yolochochitlán	OAX	Alta
San Juan Chilateca	OAX	Media	San Mateo Etlatongo	OAX	Alta
San Juan del Estado	OAX	Media	San Mateo Nejápam	OAX	Alta
San Juan del Río	OAX	Media	San Mateo Peñasco	OAX	Alta
San Juan Diuxi	OAX	Alta	San Mateo Piñas	OAX	Alta
San Juan Evangelista Analco	OAX	Media	San Mateo Río Hondo	OAX	Alta
San Juan Guelavia	OAX	Media	San Mateo Sindihui	OAX	Alta
San Juan Guichicovi	OAX	Alta	San Mateo Tlapiltepec	OAX	Alta
San Juan Ihualtepec	OAX	Alta	San Melchor Betaza	OAX	Alta
San Juan Juquila Mixes	OAX	Alta	San Miguel Achiutla	OAX	Alta
San Juan Juquila Vijanos	OAX	Alta	San Miguel Ahuehuetitlán	OAX	Alta
San Juan Lachao	OAX	Alta	San Miguel Aloapam	OAX	Alta
San Juan Lachigalla	OAX	Alta	San Miguel Amatitlán	OAX	Alta
San Juan Lajarcia	OAX	Alta	San Miguel Amatlán	OAX	Media
San Juan Lalana	OAX	Alta	San Miguel Coatlán	OAX	Alta
San Juan de los Cués	OAX	Alta	San Miguel Chicahua	OAX	Alta
San Juan Mazatlán	OAX	Alta	San Miguel ChiAltapa	OAX	Alta
San Juan Mixtepec - distr. 08 -	OAX	Alta	San Miguel del Puerto	OAX	Alta
San Juan Mixtepec - distr. 26 -	OAX	Alta	San Miguel del Río	OAX	Media
San Juan Ñumí	OAX	Alta	San Miguel Ejutla	OAX	Alta
San Juan Ozolotepec	OAX	Alta	San Miguel el Grande	OAX	Alta
San Juan Petlapa	OAX	Alta	San Miguel Huautla	OAX	Alta
San Juan Quiahije	OAX	Alta	San Miguel Mixtepec	OAX	Alta
San Juan Quiotepec	OAX	Alta	San Miguel Panixtlahuaca	OAX	Alta
San Juan Sayultepec	OAX	Media	San Miguel Peras	OAX	Alta
San Juan Tabaá	OAX	Alta	San Miguel Piedras	OAX	Alta
San Juan Tamazola	OAX	Alta	San Miguel Quetzaltepec	OAX	Alta
San Juan Teita	OAX	Alta	San Miguel Santa Flor	OAX	Alta
San Juan Teitipac	OAX	Alta	Villa Sola de Vega	OAX	Alta
San Juan Tepeuxila	OAX	Alta	San Miguel Soyaltepec	OAX	Alta
San Juan Teposcolula	OAX	Alta	San Miguel	OAX	Alta

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
			Suchixtepec		
San Juan Yaeé	OAX	Alta	Villa Talea de Castro	OAX	Media
San Juan Yatzona	OAX	Alta	San Miguel Tecomatlán	OAX	Media
San Juan Yucuita	OAX	Media	San Miguel Tenango	OAX	Alta
San Lorenzo	OAX	Alta	San Miguel Tequixtepec	OAX	Alta
San Lorenzo Albarradas	OAX	Alta	San Miguel Tilquiapam	OAX	Alta
San Lorenzo Cacaoatepec	OAX	Media	San Miguel Tlacamama	OAX	Alta
San Lorenzo Cuaunecuiltitla	OAX	Alta	San Miguel Tlacotepec	OAX	Alta
San Lorenzo Texmelucan	OAX	Alta	San Miguel Tulancingo	OAX	Alta
San Lorenzo Victoria	OAX	Alta	San Miguel Yotao	OAX	Alta
San Lucas Camotlán	OAX	Alta	San Nicolás	OAX	Alta
San Lucas Ojitlán	OAX	Alta	San Nicolás Hidalgo	OAX	Media
San Lucas Quiaviní	OAX	Alta	San Pablo Coatlán	OAX	Alta
San Lucas Zoquiapam	OAX	Alta	San Pablo Cuatro Venados	OAX	Alta
San Luis Amatlán	OAX	Alta	San Pablo Etlá	OAX	Baja
San Marcial Ozolotepec	OAX	Alta	San Pablo Huitzo	OAX	Media
San Marcos Arteaga	OAX	Media	San Pablo Huixtepec	OAX	Media
San Martín de los Cansecos	OAX	Alta	San Pablo Macuiltianguis	OAX	Alta
San Pablo Villa de Mitla	OAX	Media	San Pablo Tijaltepec	OAX	Alta
San Pablo Yaganiza	OAX	Alta	Santa Ana Tavela	OAX	Alta
San Pedro Amuzgos	OAX	Alta	Santa Ana Tlapacoyan	OAX	Alta
San Pedro Apóstol	OAX	Media	Santa Ana Yareni	OAX	Media
San Pedro Atoyac	OAX	Alta	Santa Ana Zegache	OAX	Alta
San Pedro Cajonos	OAX	Alta	Santa Catalina Quierí	OAX	Alta
San Pedro Coxcaltepec Cántaros	OAX	Alta	Santa Catarina Cuixtla	OAX	Alta
San Pedro Comitancillo	OAX	Baja	Santa Catarina Ixtepeji	OAX	Alta
San Pedro el Alto	OAX	Alta	Santa Catarina Juquila	OAX	Alta
San Pedro Huamelula	OAX	Alta	Santa Catarina Lachatao	OAX	Media
San Pedro Huilotepec	OAX	Media	Santa Catarina Loxicha	OAX	Alta
San Pedro Ixcatlán	OAX	Alta	Santa Catarina Mechoacán	OAX	Alta
San Pedro Ixtlahuaca	OAX	Media	Santa Catarina Minas	OAX	Alta
San Pedro Jaltepetongo	OAX	Alta	Santa Catarina Quiané	OAX	Media
San Pedro Jicayan	OAX	Alta	Santa Catarina Tayata	OAX	Alta

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
San Pedro Jocotipac	OAX	Alta	Santa Catarina Ticuá	OAX	Alta
San Pedro Juchatengo	OAX	Alta	Santa Catarina Yosonotú	OAX	Alta
San Pedro Mártir	OAX	Alta	Santa Catarina Zapoquila	OAX	Alta
San Pedro Mártir Quiachapa	OAX	Alta	Santa Cruz Acatepec	OAX	Alta
San Pedro Mártir Yucuxaco	OAX	Alta	Santa Cruz Amilpas	OAX	Baja
San Pedro Mixtepec - distr. 22	OAX	Media	Santa Cruz de Bravo	OAX	Media
San Pedro Mixtepec - distr. 26	OAX	Alta	Santa Cruz Itundujia	OAX	Alta
San Pedro Molinos	OAX	Alta	Santa Cruz Mixtepec	OAX	Alta
San Pedro Nopala	OAX	Alta	Santa Cruz Nundaco	OAX	Alta
San Pedro Ocopetatillo	OAX	Alta	Santa Cruz Papalutla	OAX	Alta
San Pedro Ocotepc	OAX	Alta	Santa Cruz Tacache de Mina	OAX	Media
San Pedro Pochutla	OAX	Media	Santa Cruz Tacahu	OAX	Alta
San Pedro Quiatoni	OAX	Alta	Santa Cruz Tayata	OAX	Alta
San Pedro Sochiapam	OAX	Alta	Santa Cruz Xitla	OAX	Alta
San Pedro Tapanatepec	OAX		Santa Cruz Xoxocotlán	OAX	Baja
San Pedro Taviche	OAX	Media	Santa Cruz Zenzontepec	OAX	Alta
San Pedro Teozacoalco	OAX	Alta	Santa Gertrudis	OAX	Media
San Pedro Teutila	OAX	Alta	Santa Inés del Monte	OAX	Alta
San Pedro Tidaá	OAX	Alta	Santa Inés Yatzeche	OAX	Alta
San Pedro Topiltepec	OAX	Alta	Santa Lucía del Camino	OAX	Baja
San Pedro Totolapa	OAX	Alta	Santa Lucía Miahuatlán	OAX	Alta
Villa de Tututepec de Melchor Ocampo	OAX	Media	Santa Lucía Monteverde	OAX	Alta
San Pedro Yaneri	OAX	Media	Santa Lucía Ocotlán	OAX	Alta
San Pedro Yolox	OAX	Alta	Santa María Alotepec	OAX	Alta
San Pedro y San Pablo Ayutla	OAX	Alta	Santa María Apazco	OAX	Alta
Villa de Etla	OAX	Alta	Santa María la Asunción	OAX	Alta
San Pedro y San Pablo Teposcolula	OAX	Baja	Heróica Ciudad de Tlaxiaco	OAX	Media
San Pedro y San Pablo Tequixtepec	OAX	Media	Ayoquezco de Aldama	OAX	Media
San Pedro Yucunama	OAX	Media	Santa María Atzompa	OAX	Media
San Raymundo Jalpan	OAX	Media	Santa María Camotlán	OAX	Media
San Sebastián Abasolo	OAX	Media	Santa María Colotepec	OAX	Media
San Sebastián Coatlán	OAX	Media	Santa María Cortijo	OAX	Alta

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
San Sebastián Ixcapa	OAX	Alta	Santa María Coyotepec	OAX	Media
San Sebastián Nicananduta	OAX	Alta	Santa María Chachoápam	OAX	Media
San Sebastián Río Hondo	OAX	Alta	Villa de Chilapa de Díaz	OAX	Media
San Sebastián Tecomaxtlahuaca	OAX	Alta	Santa María Chilchotla	OAX	Alta
San Sebastián Teitipac	OAX	Alta	Santa María ChiAltapa	OAX	Alta
San Sebastián Tutla	OAX	Alta	Santa María del Rosario	OAX	Alta
San Simón Almolongas	OAX	Baja	Santa María del Tule	OAX	Baja
San Simón Zahuatlán	OAX	Alta	Santa María Ecatepec	OAX	Alta
Santa Ana	OAX	Alta	Santa María Guelacé	OAX	Media
Santa Ana Ateixtlahuaca	OAX	Alta	Santa María Guienagati	OAX	Alta
Santa Ana Cuauhtémoc	OAX	Alta	Santa María Huatulco	OAX	Media
Santa Ana del Valle	OAX	Alta	Santa María Huazolotitlán	OAX	Alta
Santa María Ixcatlán	OAX	Media	Santa María Ipalapa	OAX	Alta
Santa María Jacatepec	OAX	Alta	Santiago Matatlán	OAX	Alta
Santa María Jalapa del Marqués	OAX	Alta	Santiago Miltepec	OAX	Alta
Santa María Jaltianguis	OAX	Media	Santiago Minas	OAX	Alta
Santa María Lachixio	OAX	Media	Santiago Nacaltepec	OAX	Alta
Santa María Mixtequilla	OAX	Alta	Santiago Nejapilla	OAX	Alta
Santa María Nativitas	OAX	Media	Santiago Nundiche	OAX	Alta
Santa María Nduayaco	OAX	Alta	Santiago Nuyoó	OAX	Alta
Santa María Ozolotepec	OAX	Alta	Santiago Pinotepa Nacional	OAX	Media
Santa María Papalo	OAX	Alta	Santiago Suchilquitongo	OAX	Media
Santa María Peñoles	OAX	Alta	Santiago Tamazola	OAX	Media
Santa María Petapa	OAX	Alta	Santiago Tapextla	OAX	Alta
Santa María Quiegotlani	OAX	Media	Villa Tejúpam de la Unión	OAX	Media
Santa María Sola	OAX	Alta	Santiago Tenango	OAX	Alta
Santa María Tataltepec	OAX	Alta	Santiago Tepetlapa	OAX	Alta
Santa María Tecomavaca	OAX	Alta	Santiago Tetepec	OAX	Alta
Santa María Temascalapa	OAX	Media	Santiago Texcalcingo	OAX	Alta
Santa María Temascaltepec	OAX	Alta	Santiago Textitlán	OAX	Alta
Santa María Teopoxco	OAX	Alta	Santiago Tilantongo	OAX	Alta
Santa María Tepantlali	OAX	Alta	Santiago Tillo	OAX	Media
Santa María Texcatitlán	OAX	Alta	Santiago Tlazolaltepec	OAX	Alta
Santa María Tlahuitoltepec	OAX	Alta	Santiago Xanica	OAX	Alta
Santa María Tlaxiactac	OAX	Alta	Santiago Xiacuí	OAX	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Santa María Tonameca	OAX	Alta	Santiago Yaitepec	OAX	Alta
Santa María Totolapilla	OAX	Alta	Santiago Yaveo	OAX	Alta
Santa María Xadani	OAX	Media	Santiago Yolomécatl	OAX	Media
Santa María Yalina	OAX	Media	Santiago Yosondúa	OAX	Alta
Santa María Yavesía	OAX	Media	Santiago Yucuyachi	OAX	Media
Santa María Yolotepec	OAX	Alta	Santiago Zacatepec	OAX	Alta
Santa María Yosoyua	OAX	Alta	Santiago Zochila	OAX	Alta
Santa María Yucuhiti	OAX	Alta	Nuevo Zoquiapam	OAX	Alta
Santa María Zacatepec	OAX	Alta	Santo Domingo Ingenio	OAX	Media
Santa María Zaniza	OAX	Alta	Santo Domingo Albarradas	OAX	Alta
Santa María Zoquitlán	OAX	Alta	Santo Domingo Armenta	OAX	Alta
Santiago Amoltepec	OAX	Alta	Santo Domingo Chihuitan	OAX	Media
Santiago Apoala	OAX	Alta	Santo Domingo de Morelos	OAX	Alta
Santiago Apóstol	OAX	Alta	Santo Domingo Ixcatlán	OAX	Alta
Santiago Astata	OAX	Alta	Santo Domingo Nuxaa	OAX	Alta
Santiago Atitlan	OAX	Alta	Santo Domingo Ozolotepec	OAX	Alta
Santiago Ayuquillilla	OAX	Alta	Santo Domingo Petapa	OAX	Alta
Santiago Cacaloxtotec	OAX	Alta	Santo Domingo Roayaga	OAX	Alta
Santiago Camotlán	OAX	Alta	Santo Domingo Tehuantepec	OAX	Media
Santiago Comaltepec	OAX	Alta	Santo Domingo Teojomulco	OAX	Alta
Santiago Chazumba	OAX	Media	Santo Domingo Tepuxtepec	OAX	Alta
Santiago Choapam	OAX	Alta	Santo Domingo Tlatayápam	OAX	Media
Santiago del Río	OAX	Alta	Santo Domingo Tomaltepec	OAX	Media
Santiago Huajolotitlán	OAX	Media	Santo Domingo Tonalá	OAX	Media
Santiago Huaucilla	OAX	Alta	Santo Domingo Tonaltepec	OAX	Alta
Santiago Ihuatlán Plumas	OAX	Alta	Santo Domingo Xagacia	OAX	Alta
Santiago Ixcuintepec	OAX	Alta	Santo Domingo Yanhuatlán	OAX	Media
Santiago Ixtayutla	OAX	Alta	Santo Domingo Yodohino	OAX	Media
Santiago Jamiltepec	OAX	Media	Santo Domingo Zanatepec	OAX	Media
Santiago Jocotepec	OAX	Alta	Santos Reyes Nopala	OAX	Alta
Santiago Juxtlahuaca	OAX	Media	Santos Reyes Pápalo	OAX	Alta
Santiago Lachiguiri	OAX	Alta	Santos Reyes Tepejillo	OAX	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Santiago Lalopa	OAX	Alta	Santos Reyes Yucuná	OAX	Alta
Santiago Laollaga	OAX	Media	Santo Tomás Jalieza	OAX	Alta
Santiago Laxopa	OAX	Alta	Santo Tomás Mazaltepec	OAX	Media
Santiago Llano Grande	OAX	Alta	Santo Tomás Ocatepec	OAX	Alta
San Vicente Coatlán	OAX	Alta	Santo Tomás Tamazulapam	OAX	Media
San Vicente Lachixio	OAX	Alta	Atzitzintla	PUE	Alta
San Vicente Nuñú	OAX	Alta	Axutla	PUE	Media
Silacayoápam	OAX	Media	Ayotoxco de Guerrero	PUE	Alta
Sitio de Xitlapehua	OAX	Alta	Calpan	PUE	Media
Soledad Etla	OAX	Media	Caltepec	PUE	Alta
Villa de Tamazulapam del Progreso	OAX	Media	Camocuaula	PUE	Alta
Tanetze de Zaragoza	OAX	Alta	Caxhuacan	PUE	Alta
Taniche	OAX	Alta	Coatepec	PUE	Alta
Tataltepec de Valdes	OAX	Alta	Coatzingo	PUE	Media
Teococuilco de Marcos Pérez	OAX	Alta	Cohetzala	PUE	Media
Teotitlán de Flores Magón	OAX	Media	Cohuecan	PUE	Alta
Teotitlán del Valle	OAX	Media	Coronango	PUE	Media
Teotongo	OAX	Media	Coxcatlan	PUE	Media
Tepelmeme Villa de Morelos	OAX	Alta	Coyomeapan	PUE	Alta
Tezoatlán de Segura y Luna	OAX	Alta	Coyotepec	PUE	Media
San Jerónimo Tlacochahuaya	OAX	Media	Cuapixtla de Madero	PUE	Media
Tlacolula de Mata	OAX	Media	Cuautempan	PUE	Alta
Tlacotepec Plumas	OAX	Alta	Cuautinchan	PUE	Media
Tlalixtac de Cabrera	OAX	Media	Cuautlancingo	PUE	Baja
Totontepec Villa de Morelos	OAX	Alta	Cuayuca de Andrade	PUE	Alta
Trinidad Zaachila	OAX	Alta	Cuétzalan del Progreso	PUE	Alta
La Trinidad Vista Hermosa	OAX	Media	Cuyoaco	PUE	Media
Unión Hidalgo	OAX	Baja	Chalchicomula de Sesma	PUE	Media
Valerio Trujano	OAX	Alta	Chapulco	PUE	Media
San Juan Bautista Valle Nacional	OAX	Alta	Chiautla	PUE	Media
Villa Díaz Ordaz	OAX	Alta	Chiautzingo	PUE	Media
Yaxe	OAX	Alta	Chiconcuautla	PUE	Alta
Magdalena Yodocono de Porfirio Díaz	OAX	Alta	Chichiquila	PUE	Alta
Yogana	OAX	Alta	Chietla	PUE	Media
Yutanduchi de Guerrero	OAX	Alta	Chigmecatitlán	PUE	Media
Villa de Zaachila	OAX	Media	Chignahuapan	PUE	Media
Zapotitlán del Río	OAX	Alta	Chignautla	PUE	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Zapotitlán Lagunas	OAX	Alta	Chila	PUE	Media
Zapotitlán Palmas	OAX	Media	Chila de la Sal	PUE	Media
Santa Inés de Zaragoza	OAX	Alta	Honey	PUE	Alta
Zimatlán de Alvarez	OAX	Media	Chilchotla	PUE	Alta
Acajete	PUE	Media	Chinantla	PUE	Media
Acateno	PUE	Alta	Domingo Arenas	PUE	Media
Acatlán	PUE	Media	Eloxochitlán	PUE	Alta
Acatzingo	PUE	Media	Epatlán	PUE	Media
Acteopan	PUE	Alta	Esperanza	PUE	Media
Ahuacatlán	PUE	Alta	Francisco Z. Mena	PUE	Alta
Ahuatlán	PUE	Alta	General Felipe Angeles	PUE	Media
Ahuazotepec	PUE	Media	Guadalupe	PUE	Media
Ahuehuetitla	PUE	Media	Guadalupe Victoria	PUE	Media
Ajalpan	PUE	Alta	Hermenegildo Galeana	PUE	Alta
Albino Zertuche	PUE	Media	Huaquechula	PUE	Media
Aljojuca	PUE	Media	Huatlatlauca	PUE	Media
Altepeixi	PUE	Media	Huachinango	PUE	Media
Amixtlán	PUE	Alta	Huehuetla	PUE	Alta
Amozoc	PUE	Media	Huehuetlan el Chico	PUE	Media
Aquixtla	PUE	Alta	Huejotzingo	PUE	Media
Atempan	PUE	Alta	Hueyapan	PUE	Alta
Atexcal	PUE	Alta	Hueytamalco	PUE	Alta
Atlixco	PUE	Baja	Hueytlalpan	PUE	Alta
Atoyatempan	PUE	Media	Huitzilán de Serdán	PUE	Alta
Atzala	PUE	Media	Huitziltepec	PUE	Media
Atzitzihuacan	PUE	Alta	Atlequizayan	PUE	Alta
Ixcaquixtla	PUE	Media	Ixcamilpa de guerrero	PUE	Alta
Ixtacamaxtitlán	PUE	Alta	San Pedro Yeloixtlahuaca	PUE	Media
Ixtepec	PUE	Alta	San Salvador el Seco	PUE	Media
Izúcar de Matamoros	PUE	Media	San Salvador el Verde	PUE	Media
Jalpan	PUE	Alta	San Salvador Huixcolotla	PUE	Media
Jolalpan	PUE	Alta	San Sebastián Tlacotepec	PUE	Alta
Jonotla	PUE	Alta	Santa Catarina Tlaltempan	PUE	Media
Jopala	PUE	Alta	Santa Inés Ahuatempan	PUE	Alta
Juan C. Bonilla	PUE	Media	Santa Isabel Cholula	PUE	Media
Juan Galindo	PUE	Baja	Santiago Miahuatlán	PUE	Media
Juan N. Méndez	PUE	Alta	Huehuetlán el Grande	PUE	Alta
Lafragua	PUE	Media	Santo Tomás	PUE	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
			Hueyotlipán		
Libres	PUE	Media	Soltepec	PUE	Media
La Magdalena Tlatlauquitepec	PUE	Media	Tecali de Herrera	PUE	Media
Mazapiltepec de Juárez	PUE	Media	Tecamachalco	PUE	Media
Mixtla	PUE	Media	Tecomatlán	PUE	Media
Molcaxac	PUE	Media	Tehuacán	PUE	Baja
Cañada Morelos	PUE	Media	Tehuizingo	PUE	Media
Naupan	PUE	Alta	Tenampulco	PUE	Alta
Nauzontla	PUE	Alta	Teopantlán	PUE	Alta
Nealtican	PUE	Media	Teotlalco	PUE	Media
Nicolás Bravo	PUE	Media	Tepanco de López	PUE	Media
Nopalucan	PUE	Media	Tepango de Rodríguez	PUE	Alta
Ocoatepec	PUE	Media	Tepatlaxco de Hidalgo	PUE	Media
Ocoyucan	PUE	Media	Tepeaca	PUE	Media
Olintla	PUE	Alta	Tepemaxalco	PUE	Alta
Oriental	PUE	Media	Tepeojuma	PUE	Media
Pahuatlán	PUE	Alta	Tepetzintla	PUE	Alta
Palmar de Bravo	PUE	Media	Tepexco	PUE	Alta
Pantepec	PUE	Alta	Tepexi de Rodríguez	PUE	Media
Petlalcingo	PUE	Media	Tepeyahualco	PUE	Media
Pixtla	PUE	Media	Tepeyahualco de Cuauhtémoc	PUE	Media
Puebla	PUE	Baja	Tetela de Ocampo	PUE	Alta
Quecholac	PUE	Media	Teteles de Ávila Castillo	PUE	Media
Quimixtlán	PUE	Alta	Teziutlán	PUE	Baja
Rafael Lara Grajales	PUE	Media	Tianguismanalco	PUE	Media
Los Reyes de Juárez	PUE	Media	Tilaza	PUE	Media
San Andrés Cholula	PUE	Baja	Tlacotepec de Benito Juárez	PUE	Media
San Antonio Cañada	PUE	Alta	Tlacuilotepec	PUE	Alta
San Diego la Mesa Tochimiltzingo	PUE	Alta	Tlachichuca	PUE	Media
San Felipe Teotlalcingo	PUE	Media	Tlahuapan	PUE	Media
San Felipe Tepatlán	PUE	Alta	Tlaltenango	PUE	Media
San Gabriel Chilac	PUE	Media	Tlanepantla	PUE	Media
San Gregorio Atzompa	PUE	Baja	Tlaola	PUE	Alta
San Jerónimo Tecuanipan	PUE	Media	Tlapacoya	PUE	Alta
San Jerónimo Xayacatlán	PUE	Alta	Tlapanala	PUE	Media
San José Chiapa	PUE	Media	Tlatlauquitepec	PUE	Media
San José Miahuatlán	PUE	Media	Tlaxco	PUE	Alta
San Juan Atenco	PUE	Media	Tochimilco	PUE	Alta
San Juan Atzompa	PUE	Media	Tochtepec	PUE	Media
San Martín Texmelucan	PUE	Baja	Totoltepec de Guerrero	PUE	Alta

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
San Martín Totoltepec	PUE	Media	Tulcingo	PUE	Media
San Matías Tlalancaleca	PUE	Media	Tuzamapan de Galeana	PUE	Alta
San Miguel Ixitlán	PUE	Alta	Tzicatlacoyan	PUE	Alta
San Miguel Xoxtla	PUE	Baja	Venustiano Carranza	PUE	Media
San Nicolás Buenos Aires	PUE	Media	Vicente Guerrero	PUE	Alta
San Nicolás de los Ranchos	PUE	Media	Xayacatlán de Bravo	PUE	Media
San Pablo Anicano	PUE	Media	Xicotepec	PUE	Media
San Pedro Cholula	PUE	Baja	Xicotlán	PUE	Media
Xochiapulco	PUE	Alta	Xiutetelco	PUE	Media
Xochiltepec	PUE	Media	Ebano	SLP	Media
Xochitlán de Vicente Suárez	PUE	Alta	Guadalcázar	SLP	Alta
Xochitlán Todos Santos	PUE	Alta	Huehuetlán	SLP	Alta
Yaonahuac	PUE	Media	Lagunillas	SLP	Alta
Yehualtepec	PUE	Media	Matehuala	SLP	Baja
Zacapala	PUE	Media	Mexquitic de Carmona	SLP	Media
Zacapoaxtla	PUE	Media	Moctezuma	SLP	Media
Zacatlán	PUE	Media	Rayón	SLP	Media
Zapotitlán	PUE	Media	Rioverde	SLP	Media
Zapotitlán de Méndez	PUE	Alta	Salinas	SLP	Media
Zaragoza	PUE	Media	San Antonio	SLP	Alta
Zautla	PUE	Alta	San Ciro de Acosta	SLP	Media
Zihuateutla	PUE	Alta	San Luis Potosí	SLP	Baja
Zinacatepec	PUE	Media	San Martín Chalchicuautla	SLP	Alta
Zongozotla	PUE	Media	San Nicolás Tolentino	SLP	Media
Zoquiapan	PUE	Alta	Santa Catarina	SLP	Alta
Zoquitlán	PUE	Alta	Santa María del Río	SLP	Media
Amealco de Bonfil	QRO	Media	Santo Domingo	SLP	Media
Pinal de Amoles	QRO	Alta	San Vicente Tancuayalab	SLP	Alta
Arroyo Seco	QRO	Media	Soledad de Graciano Sánchez	SLP	Baja
Cadereyta de Montes	QRO	Media	Tamasopo	SLP	Media
Colón	QRO	Media	Tamazunchale	SLP	Media
Corregidora	QRO	Baja	Tampacan	SLP	Alta
Ezequiel Montes	QRO	Media	Tampamolón Corona	SLP	Alta
Huimilpan	QRO	Media	Tamuín	SLP	Media
Jalpan de Serra	QRO	Media	Tanlajás	SLP	Alta
Landa de Matamoros	QRO	Media	Tanquián de Escobedo	SLP	Media
El Marqués	QRO	Media	Tierranueva	SLP	Media
Pedro Escobedo	QRO	Media	Vanegas	SLP	Media
Peñamiller	QRO	Media	Venado	SLP	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Querétaro	QRO	Baja	Villa de Arriaga	SLP	Media
San Joaquín	QRO	Media	Villa de Guadalupe	SLP	Media
San Juan del Río	QRO	Baja	Villa de la Paz	SLP	Baja
Tequisquiapan	QRO	Baja	Villa de Ramos	SLP	Media
Tolimán	QRO	Media	Villa de Reyes	SLP	Media
Cozumel	QROO	Baja	Villa Hidalgo	SLP	Media
Felipe Carrillo	QROO	Media	Villa Juárez	SLP	Media
Isla Mujeres	QROO	Baja	Axtla de Terrazas	SLP	Alta
Othon P. Blanco	QROO	Baja	Xilitla	SLP	Alta
Benito Juárez	QROO	Baja	Zaragoza	SLP	Media
Jose María Morelos	QROO	Alta	Villa de Arista	SLP	Media
Lázaro Cárdenas	QROO	Media	Matlapa	SLP	Alta
Solidaridad	QROO	Baja	El Naranjo	SLP	Media
Ahualulco	SLP	Media	Ahome	SIN	Baja
Alaquines	SLP	Alta	Angostura	SIN	Baja
Aquismon	SLP	Alta	Badiraguato	SIN	Alta
Armadillo de los Infante	SLP	Media	Concordia	SIN	Media
Cárdenas	SLP	Media	Cosala	SIN	Media
Catorce	SLP	Media	Culiacán	SIN	Baja
Cedral	SLP	Media	Choix	SIN	Media
Cerritos	SLP	Media	Elota	SIN	Media
Cerro de San Pedro	SLP	Media	Escuinapa	SIN	Baja
Ciudad del Maíz	SLP	Media	El Fuerte	SIN	Media
Ciudad Fernández	SLP	Media	Guasave	SIN	Baja
Tancanhuitz de Santos	SLP	Alta	Mazatlán	SIN	Baja
Ciudad Valles	SLP	Baja	Mocorito	SIN	Media
Coxcatlán	SLP	Alta	Rosario	SIN	Media
Charcas	SLP	Media	Salvador Alvarado	SIN	Baja
Sinaloa	SIN	Media	San Ignacio	SIN	Media
Navolato	SIN	Media	Santa Ana	SON	Baja
Aconchi	SON	Baja	Santa Cruz	SON	Media
Agua Prieta	SON	Baja	Sáric	SON	Baja
Alamos	SON	Media	Soyopa	SON	Media
Altar	SON	Baja	Suaqui Grande	SON	Media
Arivechi	SON	Media	Tepache	SON	Media
Arizpe	SON	Media	Trincheras	SON	Baja
Atil	SON	Baja	Tubutama	SON	Media
Bacadéhuachi	SON	Media	Ures	SON	Baja
Bacanora	SON	Media	Villa Hidalgo	SON	Media
Bacerac	SON	Media	Villa Pesqueira	SON	Media
Bacoachi	SON	Media	Yécora	SON	Media
Bácum	SON	Media	General Plutarco Elías Calles	SON	Baja
Banámichi	SON	Baja	Benito Juárez	SON	Baja
Baviácora	SON	Baja	San Ignacio Río	SON	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
			Muerto		
Bavispe	SON	Media	Balancán	TAB	Media
Benjamín hill	SON	Baja	Cárdenas	TAB	Media
Caborca	SON	Baja	Centra	TAB	Media
Cajeme	SON	Baja	Centro	TAB	Baja
Cananea	SON	Baja	Comalcalco	TAB	Media
Carbó	SON	Baja	Cunduacán	TAB	Media
La Colorada	SON	Media	Emiliano Zapata	TAB	Baja
Cucurpe	SON	Media	Huimanguillo	TAB	Media
Cumpas	SON	Baja	Jalapa	TAB	Media
Divisaderos	SON	Media	Jalpa de Méndez	TAB	Media
Empalme	SON	Baja	Jonuta	TAB	Media
Etchojoa	SON	Media	Macuspana	TAB	Media
Fronteras	SON	Baja	Nacajuca	TAB	Media
Granados	SON	Baja	Paraíso	TAB	Media
Guaymas	SON	Baja	Tacotalpa	TAB	Media
Hermosillo	SON	Baja	Teapa	TAB	Media
Huachinera	SON	Media	Tenosique	TAB	Media
Huasabas	SON	Baja	Abasolo	TAMPS	Baja
Huatabampo	SON	Media	Aldama	TAMPS	Media
Huépac	SON	Baja	Altamira	TAMPS	Baja
Imuris	SON	Baja	Antiguo Morelos	TAMPS	Media
Magdalena	SON	Baja	Burgos	TAMPS	Media
Mazatán	SON	Baja	Bustamante	TAMPS	Alta
Moctezuma	SON	Baja	Camargo	TAMPS	Baja
Naco	SON	Baja	Casas	TAMPS	Media
Nácori Chico	SON	Media	Ciudad Madero	TAMPS	Baja
Nacozari de García	SON	Baja	Cruillas	TAMPS	Media
Navojoa	SON	Baja	Gómez Farias	TAMPS	Media
Nogales	SON	Baja	González	TAMPS	Media
Onavas	SON	Media	Güemez	TAMPS	Media
Opodepe	SON	Media	Guerrero	TAMPS	Baja
Oquitoa	SON	Media	Gustavo Díaz Ordaz	TAMPS	Baja
Pitiquito	SON	Baja	Hidalgo	TAMPS	Media
Puerto Peñasco	SON	Baja	Jaumave	TAMPS	Media
Quiriego	SON	Media	Jiménez	TAMPS	Baja
Rayón	SON	Media	Llera	TAMPS	Media
Rosario	SON	Media	Mainero	TAMPS	Media
Sahuaripa	SON	Media	El Mante	TAMPS	Baja
San Felipe de Jesús	SON	Baja	Matamoros	TAMPS	Baja
San Javier	SON	Baja	Méndez	TAMPS	Media
San Luis Rio Colorado	SON	Baja	Mier	TAMPS	Baja
San Miguel de Horcasitas	SON	Media	Miguel Alemán	TAMPS	Baja
San Pedro de la Cueva	SON	Media	Miquihuana	TAMPS	Alta

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Nuevo Morelos	TAMPS	Media	Nuevo Laredo	TAMPS	Baja
Ocampo	TAMPS	Media	Zacatelco	TLAX	Baja
Padilla	TAMPS	Media	Benito Juárez	TLAX	Media
Palmillas	TAMPS	Media	Emiliano Zapata	TLAX	Media
Reynosa	TAMPS	Baja	Lázaro Cárdenas	TLAX	Media
Río Bravo	TAMPS	Baja	La Magdalena Tlaltelulco	TLAX	Media
San Carlos	TAMPS	Media	San Damián Texoloc	TLAX	Baja
San Fernando	TAMPS	Media	San Francisco Tetlanohcan	TLAX	Media
San Nicolás	TAMPS	Alta	San Jerónimo Zacualpan	TLAX	Baja
Soto la Marina	TAMPS	Media	San Jose Teacalco	TLAX	Media
Tampico	TAMPS	Baja	San Juan Huactzingo	TLAX	Baja
Tula	TAMPS	Media	San Lorenzo Axocomanitla	TLAX	Baja
Valle Hermoso	TAMPS	Baja	San Lucas Tecopilco	TLAX	Media
Victoria	TAMPS	Baja	Santa Ana Nopalucan	TLAX	Media
Villagrán	TAMPS		Santa Apolonia Teacalco	TLAX	Media
Xicoténcatl	TAMPS	Media	Santa Catarina Ayometla	TLAX	Baja
Amaxac de Guerrero	TLAX	Media	Santa Cruz Quilehtla	TLAX	Media
Apetatitlán de Antonio Carvajal	TLAX	Baja	Santa Isabel Xiloxotla	TLAX	Media
Atlangatepec	TLAX	Baja	Acajete	VER	Media
Altzayanca	TLAX	Media	Acatlán	VER	Media
Apizaco	TLAX	Media	Acayucán	VER	Media
Calpulalpan	TLAX	Baja	Actopan	VER	Media
El Carmen Tequexquitla	TLAX	Baja	Acula	VER	Media
Cuapixtla	TLAX	Media	Acultzingo	VER	Alta
Cuaxomulco	TLAX	Media	Camaron de Tejeda	VER	Media
Chiautempan	TLAX	Media	Alpatlahuac	VER	Alta
Muñoz de Domingo Arenas	TLAX	Baja	Alto lucero de Gutiérrez Barrios	VER	Media
Españita	TLAX	Media	Altotonga	VER	Alta
Huamantla	TLAX	Media	Alvarado	VER	Media
Hueyotlipan	TLAX	Media	Amatitlán	VER	Media
Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	TLAX	Media	Naranjos Amatlán	VER	Baja
Ixtenco	TLAX	Media	Amatlán de los Reyes	VER	Media
Mazatecochco de Jose María Morelos	TLAX	Media	Angel R. Cabada	VER	Media
Contra de Juan Cuamatzi	TLAX	Media	La Antigua	VER	Baja
Tepetitla de Lardizabal	TLAX	Media	Apazapán	VER	Media
Sanctorum de Lázaro Cárdenas	TLAX	Media	Aquila	VER	Alta

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Nanacamilpa de Mariano Arista	TLAX	Media	Astacinga	VER	Alta
Acuamanala de Miguel Hidalgo	TLAX	Media	Atlahuilco	VER	Alta
Nativitas	TLAX	Baja	Atoyac	VER	Media
Panotla	TLAX	Media	Atzacán	VER	Media
San Pablo del Monte	TLAX	Baja	Atzalán	VER	Alta
Santa Cruz Tlaxcala	TLAX	Media	Tlaltetela	VER	Alta
Tenancingo	TLAX	Media	Ayahualulco	VER	Alta
Teolochoico	TLAX	Baja	Banderilla	VER	Baja
Tepeyanco	TLAX	Media	Benito Juárez	VER	Alta
Terrenate	TLAX	Baja	Boca del Río	VER	Baja
Tetla de la Solidaridad	TLAX	Media	Calcahualco	VER	Alta
Tetlatlahuca	TLAX	Media	Camerino Mendoza Z.	VER	Baja
Tlaxcala	TLAX	Media	Carrillo Puerto	VER	Alta
Tlaxco	TLAX	Baja	Catemaco	VER	Media
Tocatlán	TLAX	Media	Cazones	VER	Alta
Totolac	TLAX	Media	Cerro Azul	VER	Baja
Zitlaltepec de Trinidad Sánchez Santos	TLAX	Baja	Citlaltépetl	VER	Alta
Tzompantepec	TLAX	Media	Coacoatzintla	VER	Media
Xaloztoc	TLAX	Baja	Coahuilán	VER	Alta
Xaltocán	TLAX	Media	Coatepec	VER	Baja
Papalotla de Xicohténcatl	TLAX	Media	Coatzacoalcos	VER	Baja
Xicotzingo	TLAX	Baja	Coatzintla	VER	Media
Yauhquemehcan	TLAX	Baja	Coetzala	VER	Alta
Comapa	VER	Baja	Colipa	VER	Media
Cordoba	VER	Alta	Martínez de la Torre	VER	Media
Cosamaloapan de Carpio	VER	Baja	Mecatlán	VER	Alta
Cosautlán de Carvajal	VER	Baja	Mecayapan	VER	Alta
Coscomatepec	VER	Media	Medellín	VER	Media
Cosoleacaque	VER	Alta	Miahuatlán	VER	Media
Cotaxtla	VER	Media	Las Minas	VER	Alta
Coxquihui	VER	Media	Minatitlán	VER	Baja
Coyutla	VER	Alta	Misantla	VER	Media
Cuichapa	VER	Media	Mixtla de Altamirano	VER	Alta
Cuitlahuac	VER	Media	Moloacan	VER	Media
Chacaltianguis	VER	Media	Naolinco	VER	Media
Chalma	VER	Alta	Naranjal	VER	Alta
Chiconamel	VER	Alta	Nautla	VER	Media
Chiconquiaco	VER	Alta	Nogales	VER	Media
Chicontepepec	VER	Alta	Oluta	VER	Media
Chinameca	VER	Media	Omealca	VER	Media
Chinampa de Gorostiza	VER	Alta	Orizaba	VER	Baja
Las Choapas	VER	Media	Otatitlán	VER	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Chocamán	VER	Media	Oteapán	VER	Media
Chontla	VER	Alta	Ozuluama de Mascareñas	VER	Media
Chumatlán	VER	Alta	Pajapan	VER	Alta
Emiliano Zapata	VER	Media	Panuco	VER	Media
Espinal	VER	Alta	Papantla	VER	Media
Filomeno Mata	VER	Alta	Paso del Macho	VER	Media
Fortín	VER	Baja	Paso de Ovejas	VER	Media
Gutiérrez Zamora	VER	Media	La Perla	VER	Alta
Hidalgotitlán	VER	Alta	Perote	VER	Media
Huatusco	VER	Media	Platón Sánchez	VER	Media
Huayacocotla	VER	Alta	Playa Vicente	VER	Media
Hueyapan de ocampo	VER	Media	Poza Rica de Hidalgo	VER	Baja
Huiloapan	VER	Media	Las Vigas de Ramírez	VER	Media
Ignacio de la Llave	VER	Media	Pueblo Viejo	VER	Media
Ilamatlán	VER	Alta	Puente Nacional	VER	Media
Isla	VER	Media	Rafael Delgado	VER	Media
Ixcatepec	VER	Alta	Rafael Lucio	VER	Media
Ixhuacán de los Reyes	VER	Alta	Los Reyes	VER	Alta
Ixhuatlán del Café	VER	Alta	Rio Blanco	VER	Baja
Ixhuatlancillo	VER	Media	Saltabarranca	VER	Media
Ixhuatlán del Sureste	VER	Media	San Andrés Tenejapan	VER	Alta
Ixhuatlán de Madero	VER	Alta	San Andrés Tuxtla	VER	Media
Ixmattlahuacán	VER	Media	San Juan Evangelista	VER	Media
Ixtaczoquitlán	VER	Media	San Rafael	VER	Media
Jalacingo	VER	Alta	Santiago Tuxtla	VER	Media
Xalapa	VER	Baja	Santiago Sochiapa	VER	Media
Jalcomulco	VER	Media	Sayula de Alemán	VER	Media
Jaltipan	VER	Media	Soconusco	VER	Media
Jamapa	VER	Media	Sochiapa	VER	Alta
Jesús Carranza	VER	Media	Soledad Atzompa	VER	Alta
Xico	VER	Media	Soledad Doblado	VER	Media
Jilotepec	VER	Media	Soteapan	VER	Alta
Juan Rodríguez Clara	VER	Media	Tamalín	VER	Media
Juchique de Ferrer	VER	Media	Tamiahua	VER	Media
Landeroy y Coss	VER	Media	Tampico Alto	VER	Media
Lerdo de Tejada	VER	Baja	Tancoco	VER	Alta
Magdalena	VER	Alta	Tantima	VER	Alta
Maltrata	VER	Media	Tantoyuca	VER	Alta
Manlio Fabio Alta	VER	Media	Tatatila	VER	Alta
Mariano Escobedo	VER	Media	Castillo de Teayo	VER	Alta
Tehuipango	VER	Alta	Tecolutla	VER	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Temapache	VER	Media	Calotmul	YUC	Alta
Tempoal	VER	Media	Cansahcab	YUC	Media
Tenampa	VER	Alta	Cantamayec	YUC	Alta
Tenochtitlán	VER	Alta	Celestún	YUC	Media
Teocelo	VER	Media	Cenotillo	YUC	Media
Tepatlxco	VER	Alta	Conkal	YUC	Media
Tepetlán	VER	Media	Cuncunul	YUC	Alta
Tepetzintla	VER	Alta	Cuzama	YUC	Media
Tequila	VER	Alta	Chacsinkín	YUC	Alta
Jose Azueta	VER	Media	Chankom	YUC	Alta
Texcatepec	VER	Alta	Chapab	YUC	Alta
Texhuacán	VER	Alta	Chemax	YUC	Alta
Texistepec	VER	Media	Chicxulub Pueblo	YUC	Media
Tezonapa	VER	Alta	Chichimilá	YUC	Alta
Tierra Blanca	VER	Media	Chikindzonot	YUC	Alta
Tihuatlán	VER	Media	Chochola	YUC	Media
Tlacojalpan	VER	Media	Chumayel	YUC	Alta
Tlacolulan	VER	Alta	Dzán	YUC	Media
Tlacotalpan	VER	Media	Dzemul	YUC	Media
Tlacotepec de Mejía	VER	Alta	Dzidzantún	YUC	Media
Tlachichilco	VER	Alta	Dzilam de Bravo	YUC	Media
Tlalixcoyan	VER	Media	Dzilam González	YUC	Media
Tlalnelhuayocan	VER	Media	Dzitás	YUC	Alta
Tlapacoyan	VER	Media	Dzoncauich	YUC	Media
Tlaquilpan	VER	Alta	Espita	YUC	Alta
Tlilapan	VER	Media	Halachó	YUC	Media
Tomatlán	VER	Media	Hocabá	YUC	Media
Tonayan	VER	Alta	Hoctún	YUC	Media
Totutla	VER	Media	Homún	YUC	Media
Tuxpan	VER	Baja	Huhí	YUC	Media
Tuxtilla	VER	Media	Hunucmá	YUC	Media
Ursulo Galván	VER	Baja	Ixil	YUC	Media
Vega de Alatorre	VER	Media	Izamal	YUC	Media
Veracruz	VER	Baja	Kanasín	YUC	Media
Villa Aldama	VER	Media	Kantunil	YUC	Media
Xoxocotla	VER	Alta	Kaua	YUC	Alta
Yanga	VER	Media	Kinchil	YUC	Media
Yecuatlán	VER	Media	Kopomá	YUC	Media
Zacualpan	VER	Alta	Mama	YUC	Alta
Zaragoza	VER	Alta	Maní	YUC	Media
Zentla	VER	Media	Maxcanú	YUC	Media
Zongolica	VER	Alta	Mayapán	YUC	Alta
Zontecomatlán de López y Fuentes	VER	Alta	Mérida	YUC	Baja
Zozocolco de Hidalgo	VER	Alta	Mococha	YUC	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Agua Dulce	VER	Baja	Motul	YUC	Media
El Higo	VER	Media	Muna	YUC	Media
Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río	VER	Baja	Muxupip	YUC	Media
Tres Valles	VER	Media	Opichén	YUC	Alta
Carlos A. Carrillo	VER	Baja	Oxkutzcab	YUC	Media
Tatahuicapan de Juárez	VER	Alta	Panabá	YUC	Media
Uxpanapa	VER	Alta	Peto	YUC	Media
Abalá	YUC	Media	Progreso	YUC	Baja
Acanceh	YUC	Media	Quintana Roo	YUC	Alta
Akil	YUC	Media	Río Lagartos	YUC	Media
Baca	YUC	Media	Sacalum	YUC	Media
Bokobá	YUC	Media	Samahil	YUC	Media
Buctzotz	YUC	Media	Sanahcat	YUC	Media
Cacalchén	YUC	Media	San Felipe	YUC	Media
Seye	YUC	Media	Santa Elena	YUC	Media
Sinanche	YUC	Media	Jerez	ZAC	Baja
Sotuta	YUC	Alta	Jiménez del Teul	ZAC	Media
Sucilá	YUC	Media	Juan Aldama	ZAC	Media
Sudzal	YUC	Alta	Juchipila	ZAC	Baja
Suma	YUC	Media	Loreto	ZAC	Media
Tahdziú	YUC	Alta	Luis Moya	ZAC	Media
Tahmek	YUC	Media	Mazapil	ZAC	Media
Teabo	YUC	Alta	Melchor Ocampo	ZAC	Media
Tecoh	YUC	Media	Mezquital del Oro	ZAC	Media
Tekal de Venegas	YUC	Media	Miguel Auza	ZAC	Media
Tekantó	YUC	Media	Momax	ZAC	Media
Tekax	YUC	Media	Monte Escobedo	ZAC	Media
Tekit	YUC	Media	Morelos	ZAC	Baja
Tekom	YUC	Alta	Moyahua de Estrada	ZAC	Media
Telchac Pueblo	YUC	Media	Nochistlan de Mejía	ZAC	Media
Telchac Puerto	YUC	Media	Noria de Angeles	ZAC	Media
Temax	YUC	Media	Ojocaliente	ZAC	Media
Temozón	YUC	Alta	Pánuco	ZAC	Media
Tepakán	YUC	Media	Pinos	ZAC	Media
Tetiz	YUC	Media	Rio Grande	ZAC	Media
Teya	YUC	Media	Sain Alto	ZAC	Media
Ticul	YUC	Media	El Salvador	ZAC	Media
Timucuy	YUC	Media	Santa María de la Paz	ZAC	Media
Tinum	YUC	Media	Sombrerete	ZAC	Media
Tixcacalcupul	YUC	Alta	Susticacán	ZAC	Media
Tixkokob	YUC	Media	Tabasco	ZAC	Media
Tixmehuac	YUC	Alta	Tepechtlán	ZAC	Media
Tixpéhual	YUC	Media	Tepetongo	ZAC	Media

Municipio	Estado	Vulnerabilidad	Municipio	Estado	Vulnerabilidad
Tizimín	YUC	Media	Teul de González Ortega	ZAC	Media
Tunkas	YUC	Media	Tlaltenango de Sánchez Román	ZAC	Baja
Tzucacab	YUC	Media	Valparaíso	ZAC	Media
Uayma	YUC	Alta	Vetagrande	ZAC	Media
Ucú	YUC	Media	Villa de Cos	ZAC	Media
Umán	YUC	Media	Villa García	ZAC	Media
Valladolid	YUC	Media	Villa González ortega	ZAC	Media
Xocchel	YUC	Media	Villa Hidalgo	ZAC	Media
Yaxcabá	YUC	Alta	Villanueva	ZAC	Media
Yaxkukul	YUC	Media	Zacatecas	ZAC	Baja
Yobaín	YUC	Media	Trancoso	ZAC	Media
Apozol	ZAC	Media			
Apulco	ZAC	Media			
Atolinga	ZAC	Media			
Benito Juárez	ZAC	Media			
Calera	ZAC	Baja			
Cañitas de Felipe Pescador	ZAC	Media			
Concepción del Oro	ZAC	Baja			
Cuauhtémoc	ZAC	Media			
Chalchihuites	ZAC	Media			
Fresnillo	ZAC	Baja			
Trinidad García de la Cadena	ZAC	Media			
Genaro Codina	ZAC	Media			
General Enrique Estrada	ZAC	Media			
General Francisco R. Murguía	ZAC	Media			
El Plateado de Joaquín Amaro	ZAC	Media			
General Pánfilo Natera	ZAC	Media			
Guadalupe	ZAC	Baja			
Huanusco	ZAC	Media			
Jalpa	ZAC	Baja			

Así de los 2456 municipios de México se encontró que un 47.8% corresponden a una vulnerabilidad intermedia, el 32.2% representa una mala calidad de vida y un 20% son aquéllos que poseen una buena condición de vulnerabilidad, sin embargo existe el municipio de Nicolás Ruiz en el estado de Chiapas, del cual se desconoce información alguna y por ello no posee calificación (tabla II.2).

Tabla A.2 Calificación de la vulnerabilidad de los municipios de México

Vulnerabilidad			Total
Baja	Media	Mala	
489	1175	Alta	2455

ANEXO B

RECOMENDACIONES PARA MEDIR LOS ESPESORES DE NIEVE

Como un apartado a este trabajo se darán algunas recomendaciones para poder llevar a cabo el aforo de los espesores de nieve, sobre todo en las regiones donde se presentan.

Primero, en forma normativa, se debe establecer que durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo se lleven a cabo mediciones de espesores de nieve en las estaciones climatológicas controladas por la Comisión Nacional del Agua en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Sonora, Baja California y Estado de México, se sugiere que los mismos aforadores sean las personas indicadas para estas labores. Para ello se debe registrar en un formato adicional y diariamente el valor de los espesores de nieve, así como distinguir entre nieve nueva (recién caída) y nieve vieja (depositada varios días antes).

Cuando la nieve está recién caída (nieve nueva) es muy porosa y su peso específico es muy pequeño, al enterrar la vara en la nieve para medir el espesor resulta que penetra sin ningún problema. Cuando el tiempo empieza a pasar, los huecos entre los copos de nieve se empiezan a llenar de agua producto del deshielo por lo que el peso específico aumenta y al enterrar la vara ofrece más resistencia. Esta es una de las formas de darse cuenta cuando la nieve es nueva o vieja.

En países donde las tormentas de nieve son muy comunes, como en Rusia y Alemania, una de las técnicas básicas para medir los espesores de nieve consiste en ir al campo y con una vara graduada medir directamente, enterrando la vara en la nieve, el valor del espesor. Los pluviómetros o pluviógrafos para medir la lluvia pueden en cierto momento tener problemas para medir la nieve ya que el orificio por donde pasa el agua se puede tapar con la nieve y dar valores erróneos de medición.

Características físicas de la nieve

Como se mencionó anteriormente, la nieve sufre transformaciones en sus propiedades físicas y químicas con el paso del tiempo. Ello se debe a que la nieve fresca, recién depositada, va compactándose y fusionándose, cambiando así sus propiedades mecánicas, entre ellas su peso específico, factor importante para poder comparar el volumen y peso de un cuerpo de nieve. En la tabla B.1 se presentan algunos valores del peso específico de la nieve, según el estado en que se encuentra.

Tabla B.1 Valores del peso específico de la nieve

CARACTERÍSTICAS DE LA NIEVE	Peso específico (N kg/m ³)
Nieve fresca recién caída	120
Nieve prensada o empapada	200
Nieve mezclada con granizo	400
Nieve vieja	500

La densidad de la nieve es igual al cociente del peso específico entre la gravedad (9.81 m/s²), así en la tabla B.2 se presentan los valores de la densidad de los tipos de nieve presentados en la tabla B.1.

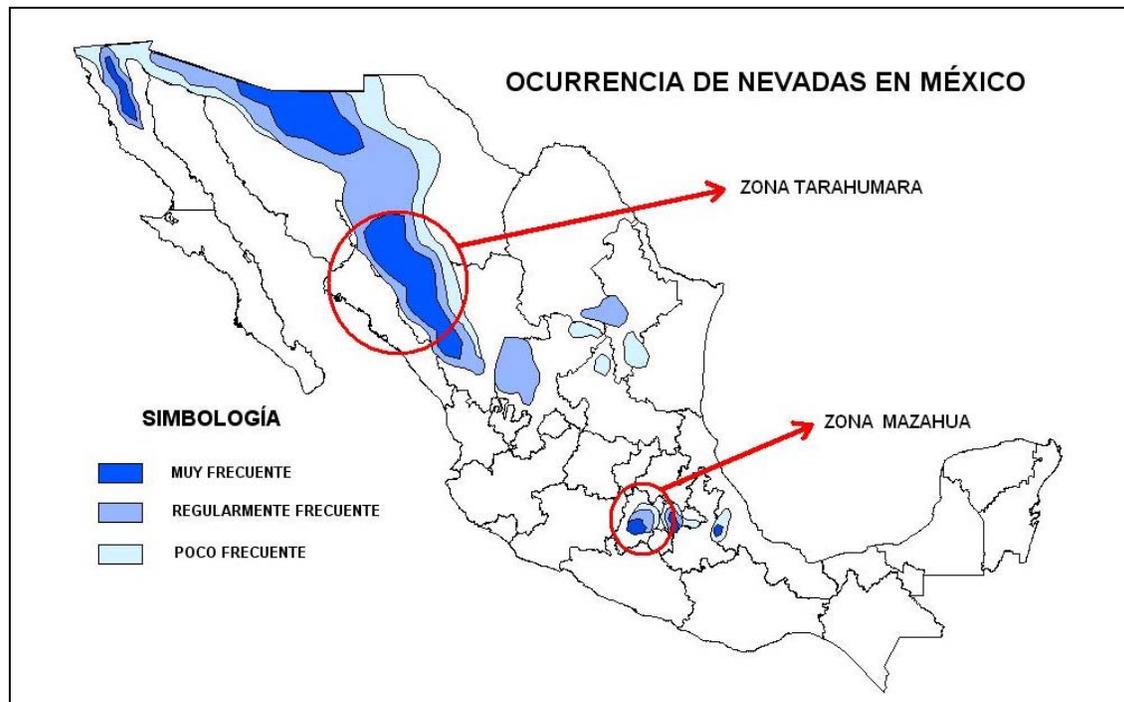
Tabla B.2 Valores de la densidad de la nieve

CARACTERÍSTICAS DE LA NIEVE	Densidad (kg – m / m ³)
Nieve fresca recién caída	12.23
Nieve prensada o empapada	20.39
Nieve mezclada con granizo	40.77
Nieve vieja	50.97

Para fines prácticos de este trabajo se darán únicamente las propiedades físicas de la nieve dejando a un lado las químicas, ya que el modelo numérico propuesto aquí para definir los umbrales de espesores de nieve se basa únicamente en el peso específico.

Tipos de vivienda en las zonas donde son frecuentes las nevadas

Como se puede ver en la figura B.1, las zonas donde son muy frecuentes las nevadas corresponden a zonas indígenas tales como los Tarahumaras (centro y sur de Chihuahua) y los Mazahuas (valle de Toluca), a excepción del norte de Sonora y Baja California, que en su mayoría son gente de tránsito, por su cercanía a la frontera de los Estados Unidos.

**Figura B.1 Regiones indígenas donde ocurren nevadas**

Casas típicas en la zona de los Tarahumaras

Los Tarahumaras habitan en ranchos; su vivienda consiste en una casa-habitación, un granero y un corral de madera. Las casas se construyen con madera, adobe, cantera o piedra, dependiendo del material que haya en la región. Lo más común es encontrar viviendas hechas de troncos de pino dispuestos de manera horizontal, uno sobre otro, con techo de canoa o de vigas de dos aguas; los troncos son ensamblados en las esquinas y las rendijas son tapadas con una mezcla de lodo.

Casas típicas en la zona de los Mazahuas

En lo que respecta a la vivienda de los Mazahuas, éstas están construidas con muros de adobe, techo de vigas con teja y, aunque en la actualidad utilizan cemento, tabique y tabicón, la mayoría de ellas siguen usando techos de teja con vigas de madera.

En general se puede decir que los techos típicos en estas regiones están formados por vigas de madera, que también reciben el nombre de largueros, además de tiras más delgadas que soportan a las láminas que pueden ser de cartón (en su mayoría) o de asbesto o teja de arcilla (figura B.2).



Figura B.2 Techo típico en las casas que más padecen las nevadas

La distancia entre vigas es de aproximadamente metro y medio. Las longitudes entre los muros, donde se soportan las vigas, son de aproximadamente 3 a 4 metros (figura B.3), que son las dimensiones promedio de una habitación en zonas rurales. La distancia entre los soportes de las tiras (las cuales se apoyan en las vigas) es de aproximadamente 1.5 metros con separación entre ellas de 0.8 metros, aproximadamente.

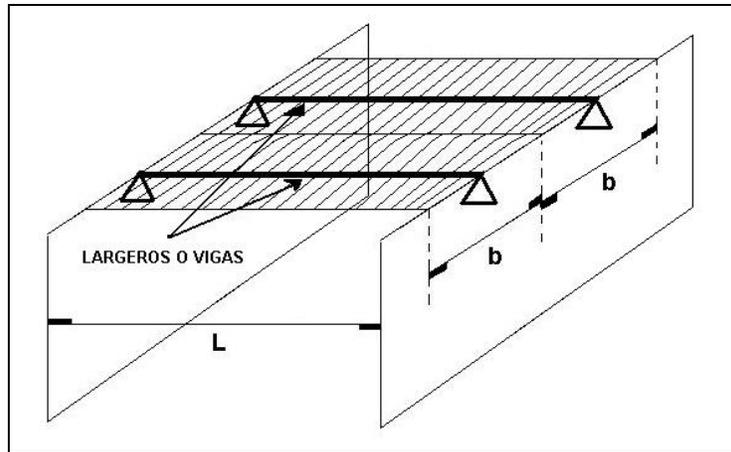


Figura B.3 Esquema de los techos

Análisis estructural de la capa de nieve sobre un techo

El análisis estructural para definir la capa de nieve máxima que puede soportar el techo de una casa típica en las zonas donde ocurren las nevadas en México se hará en forma separada para las vigas de madera, como para las tiras, y la que resulte más desfavorable se tomará como buena para establecer dicha capa máxima; además, se considerará, por facilidad de cálculo, que el techo tendrá una inclinación de cero grados.

Marco teórico

Tanto para las vigas como para las tiras, la carga del peso de la nieve sobre el techo se considerará como una carga uniformemente distribuida en toda la longitud de la viga o de la tira (figura B.4). La capa máxima de nieve que puede soportar dependerá del peso de la misma, la longitud entre los puntos de apoyo, el tipo de material de la viga y la sección transversal de ésta.

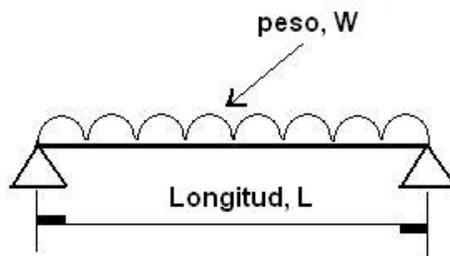


Figura B.4 Esquema estructural de un viga

El momento preciso cuando la viga falle, debido al peso de la nieve sobre ella, será cuando el esfuerzo actuante sea igual al esfuerzo permisible.

$$\sigma_{\text{actuante}} = \sigma_{\text{permisible}}$$

Los materiales más comunes que se usan en la construcción son el acero, el concreto y la madera. El esfuerzo permisible para estos tipos de materiales se muestra en la tabla B.3.

Tabla B.3 Esfuerzo permisible ($\sigma_{permisible}$) para diferentes tipos de materiales

Material de la viga	$\sigma_{permisible}$ (kg/cm ²)
Acero	1520
Madera	100
Concreto	30

El esfuerzo actuante dependerá de la distancia entre los apoyos de las vigas, del espesor de la nieve sobre el techo, del momento de inercia de la sección transversal de la viga y de la distancia del centro de gravedad a los extremos.

$$\sigma_{actuante} = \frac{M_{max}}{I_z} y$$

Donde, $\sigma_{actuante}$ es el esfuerzo actuante (kg/cm²), M_{max} es el momento máximo (kg m). I_z es el momento de inercia (m⁴), “y” es la distancia del centroide a los extremos de la viga (m). El momento máximo se calcula como:

$$M_{max} = \frac{w L^2}{8}$$

Donde w es el peso de la nieve sobre el techo, en kilogramos, L es la longitud, en metros, que hay entre vigas. El peso se calcula como:

$$w = \gamma h b L$$

Donde γ es el peso específico de la nieve (kg/m³), el cual se tomará de la tabla B.1, h es el espesor de la nieve, (figura B.5), b es el ancho entre las láminas, y L es la longitud que hay entre vigas, las unidades de h, b y L serán en metros, m.

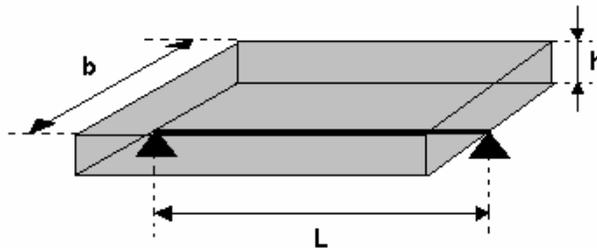


Figura B.5 Representación esquemática de la capa de nieve sobre un techo

Cálculo del peso de la nieve en techos inclinados

En techos inclinados, el peso de la nieve que originará el colapso de este será la componente perpendicular al plano del techo (eje x) el cual ejercerá un momento en el punto de apoyo de la viga sobre las paredes de la casa (figura B.6). Este peso (W_y) se obtiene como

$$W_y = W (\cos \theta).$$

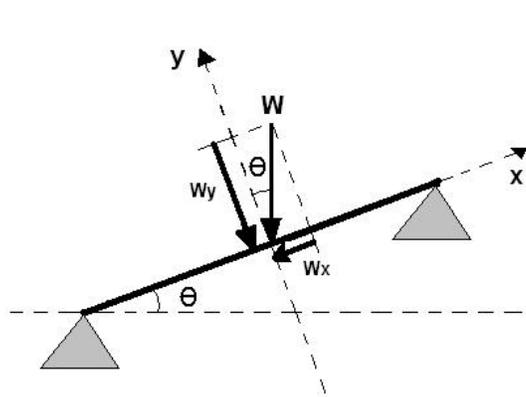


Figura B.6 Distribución del peso sobre un plano inclinado

Secciones típicas de vigas

Las secciones transversales más comunes de las vigas que se usan en los techos de las casas típicas en las regiones donde más padecen las nevadas son de forma rectangular o circular (figura B.7), las cuales son de material de madera, por la disponibilidad del material que hay en el lugar. Las secciones de las tiras en general son de forma rectangular, aunque la base es más ancha que la altura y también son de madera.

El momento de inercia para este tipo de secciones se calcula como:

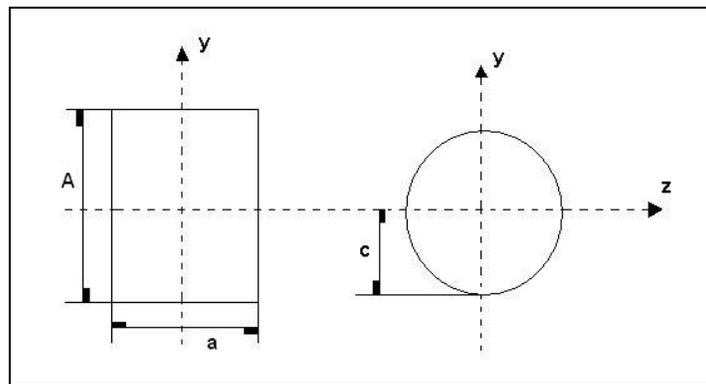


Figura B.7 Secciones transversales típicas de las vigas

- momento de inercia para sección rectangular

$$I_z = \frac{a A^3}{12}$$

- momento de inercia para sección circular

$$I_z = \frac{\pi c^4}{4}$$

Donde “A” es la altura de la sección rectangular (m), “a” es la base de la misma sección (m) y c es igual al radio de la sección circular (m).

La distancia del centroide de la sección rectangular a la orilla de la base es $Y = A / 2$ y para la sección circular es $Y = c$.

Cálculo del umbral de espesores de nieve

Una vez establecida la teoría sobre carga en vigas, se procederá a aplicar estas fórmulas a casos reales para calcular el espesor de nieve sobre los techos. Se iniciará considerando un techo horizontal y después simplemente multiplicando el peso de la nieve por el coseno del ángulo de inclinación se dará el espesor de nieve para cada ángulo θ , y se mostraran los resultados en una tabla.

Para las vigas de madera

Sección rectangular

Los datos para realizar los cálculos son:

$$L = 4 \text{ m.}$$

$$\gamma = 500 \text{ kg / m}^3 \text{ (nieve vieja)}$$

$$b = 1.5 \text{ m}$$

$$A = 0.14 \text{ m}$$

$$a = 0.08 \text{ m}$$

$$Y = 0.07 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = 100 \text{ (kg / cm}^2\text{)} = 1 \times 10^6 \text{ (kg / m}^2\text{)}, \text{ para madera} \quad (1)$$

$$W = 500 \text{ (h)(1.5)(4)} = 3000 \text{ h} \quad (2)$$

$$M_{\text{max}} = (3000 \text{ h}) (4)^2 / 8 = 6000 \text{ h} \quad (3)$$

$$I_z = 0.08 (0.14)^3 / 12 = 1.829 \times 10^{-5} \quad (4)$$

$$\sigma_{\text{actuante}} = (6000 \text{ h} / 1.829 \times 10^{-5}) (0.07) \quad (5)$$

Igualando las ecuaciones 1 y 5 queda como:

$$1 \times 10^6 = (6000 \text{ h} / 1.829 \times 10^{-5}) (0.07)$$

despejando “h” resulta:

$$h = 0.0435 \text{ m}$$

Sección circular

Los datos para realizar los cálculos son:

$$L = 4 \text{ m.}$$

$$\gamma = 500 \text{ kg / m}^3 \text{ (nieve vieja)}$$

$$b = 1.5 \text{ m}$$

$$c = 0.06 \text{ m}$$

$$Y = 0.06 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = 100 \text{ (kg / cm}^2\text{)} = 1 \times 10^6 \text{ (kg / m}^2\text{)}, \text{ para madera} \quad (6)$$

$$W = 500 (h)(1.5)(4) = 3000 h \quad (7)$$

$$M_{\text{max}} = (3000 h) (4)^2 / 8 = 6000 h \quad (8)$$

$$I_z = \pi (0.06)^4 / 4 = 1.0179 \times 10^{-5} \quad (9)$$

$$\sigma_{\text{actuante}} = (6000 h / 1.0179 \times 10^{-5}) (0.06) \quad (10)$$

Igualando las ecuaciones 6 y 10 queda como:

$$1 \times 10^6 = (6000 h / 1.0179 \times 10^{-5}) (0.06)$$

despejando h queda como:

$$h = 0.0283 \text{ m}$$

Para las vigas de acero

Sección rectangular

Los datos para realizar los cálculos son:

$$L = 1.5 \text{ m.}$$

$$\gamma = 500 \text{ kg / m}^3 \text{ (nieve vieja)}$$

$$b = 1.5 \text{ m}$$

$$A = 0.10 \text{ m}$$

$$a = 0.05 \text{ m}$$

$$Y = 0.05 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = 1520 \text{ (kg / cm}^2\text{)} = 15.2 \times 10^6 \text{ (kg / m}^2\text{)}, \text{ para acero} \quad (11)$$

$$W = 500 (h)(1.5)(4) = 3000 h \quad (12)$$

$$M_{\text{max}} = (3000 h) (4)^2 / 8 = 6000 h \quad (13)$$

$$I_z = 0.05 (0.10)^3 / 12 = 4.17 \times 10^{-6} \quad (14)$$

$$\sigma_{\text{actuante}} = (6000 \text{ h} / 4.17 \times 10^{-6}) (0.05) \quad (15)$$

Igualando las ecuaciones 11 y 15 queda como:

$$1 \times 10^6 = (6000 \text{ h} / 4.17 \times 10^{-6}) (0.05)$$

despejando “h” resulta:

$$h = 0.2113 \text{ m}$$

En la tabla B.4 se presentan los espesores de nieve calculados para las vigas de madera de sección rectangular, así como para las vigas de acero de sección rectangular.

Tabla B.4 Umbrales de espesores de nieve

θ	w	M _{MAX}	Material de madera		Material de acero, secc. rectangular h (mm)
			Secc. rectangular h (mm)	Secc. circular h (mm)	
0°	3000 h	6000 h	43.5	28.3	211.3
10°	2954 h	5908 h	44.3	28.7	214.6
20°	2819 h	5638 h	46.3	30.1	224.8
30°	2598 h	5196 h	50.3	32.7	243.9
40°	2298 h	4596 h	55.1	36.4	276.0
50°	1928 h	3857 h	61.6	41.1	328.7

Como se puede ver en la tabla anterior, las vigas de madera de sección circular resultaron ser las menos resistentes al tener una capa de nieve sobre ellas, por lo que este elemento estructural es el más susceptible a sufrir daños.

APLICACIÓN DE LAS FUNCIONES DE PELIGRO Y VULNERABILIDAD POR NEVADAS

En este anexo se presenta una aplicación de la función de peligro y vulnerabilidad en una población ficticia para obtener la función de riesgo por la ocurrencia de nevadas.

Recordando la función de peligro

En la tabla B.5 se muestran las probabilidades de que se presenten o no se presenten nevadas en tres franjas de altitudes del Nevado de Toluca, en época de invierno y al año, misma que se obtuvo en el *subcapítulo 3.4.6 Peligro por nevadas: aplicación al Nevado de Toluca*. Así mismo, en las figuras B.8, B.9 y B.10 se despliega la interpretación gráfica de los mismos valores de la tabla B.5.

Tabla B.5 Probabilidad de haya o no haya nevadas en tres grupos de altitudes, en época de invierno y al año

Grupo de altitudes	Prob. de que caiga nieve	Prob. de que no caiga nieve
Primer (>3000 msnm)	0.000047	0.999953
Segundo (entre 2751 y 3000 msnm)	0.737604	0.262396
Tercero (entre 2500 y 2750 msnm)	0.897003	0.102997

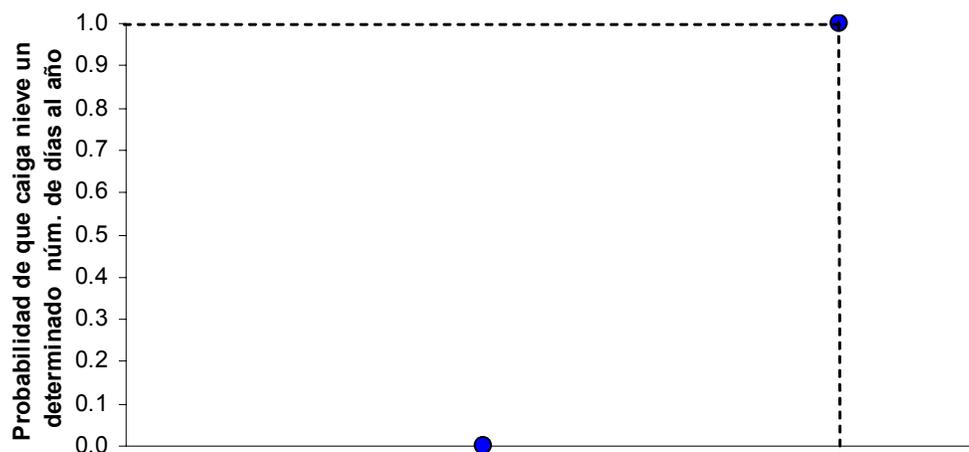


Figura B.8 Función de peligro para el primer grupo, Altitud > 3000 msnm

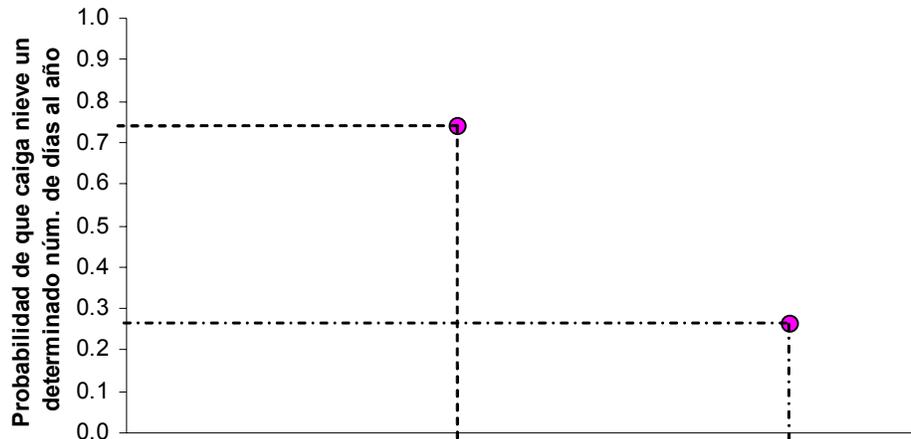


Figura B.9 Función de peligro para el segundo grupo, altitud entre 2751 y 3000 msnm

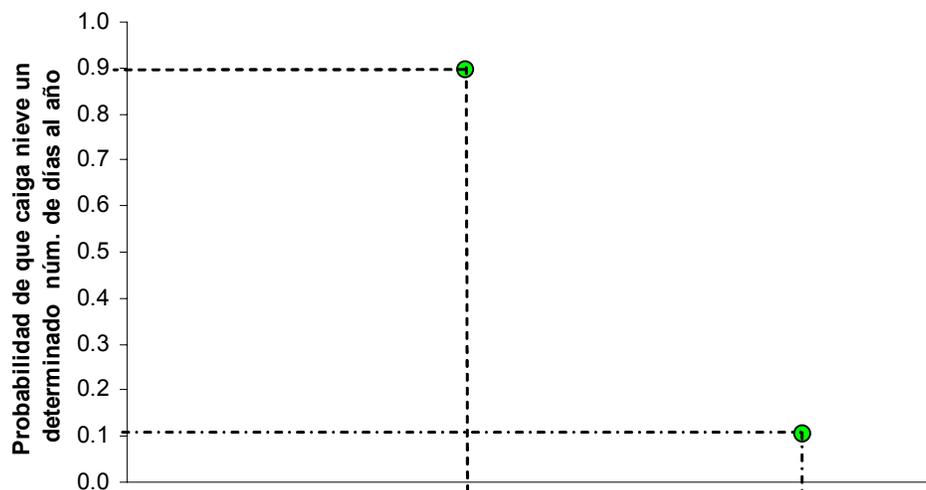


Figura B.10 Función de peligro para el tercer grupo, altitud entre 2500 y 2750 msnm

La función de peligro es una de las variables incluidas en la fórmula de riesgo, por tal motivo, para calcular el riesgo por nevadas será necesario utilizar la probabilidad de que caiga nieve de la tabla B.6, o bien, obteniéndola de las figuras anteriores, a partir de la altitud de la población que se está analizando para saber a qué grupo de altitudes pertenece y así asignarle su probabilidad correspondiente.

Recordando la función de vulnerabilidad

Se considerará el 1er caso cuando solo se tiene como dato si ocurren o no nevadas en el lugar y tomando en cuenta el ángulo de inclinación del techo se aplicará la figura B.11

Aclaración: Cuando el techo sea de losa de concreto el grado de afectación a la vivienda es de 0%.

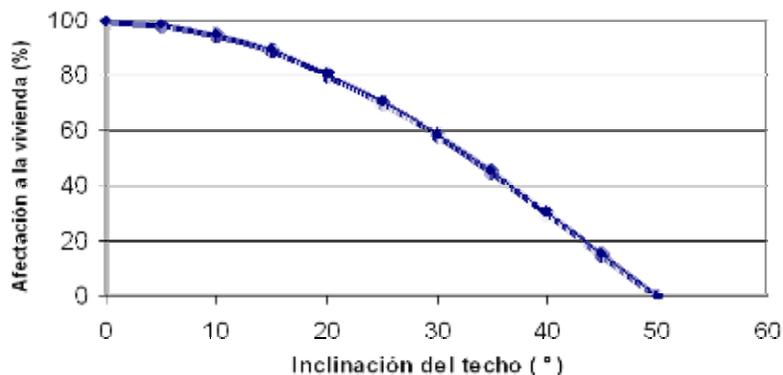


Figura B.11 Función de vulnerabilidad por nevadas

Ejemplo

En una comunidad de 18 viviendas, ubicada a 2800 msnm, se realizó una encuesta sobre el tipo de techos de las casas, y el costo aproximado del menaje y el techo. Los resultados se muestran en las tablas B.6 y B.7, así como en las figuras B.12 y B.13.

Tabla B.6 Inventario del tipo de techo en la comunidad del ejemplo

No. de Viviendas	Características de los techos
6	De losa de concreto o lámina con inclinación mayor a 50 grados
1	De lámina con inclinación de 38 grados
2	De lámina con inclinación de 25 grados
3	De lámina con inclinación de 13 grados
6	De lámina con inclinación menor de 5 grados

Tabla B.7 Tipo de vivienda y costo del menaje con el techo

Tipo de Vivienda	No. de viviendas	Características de la casa	Costo del menaje y techo (\$)
1	8	Casa humilde con material de desecho y techo de lámina de cartón	17,500
2	4	Vivienda de clase baja, techo de lámina de cartón o asbesto con elementos estructurales débiles	45,000
3	3	Vivienda de clase baja con techos resistentes (de losa de concreto)	160,000
4	2	Vivienda de clase media bien construida con losa de concreto	380,000
5	1	Vivienda tipo residencial con losa de concreto, bien reforzada y acabados de lujo	570,000

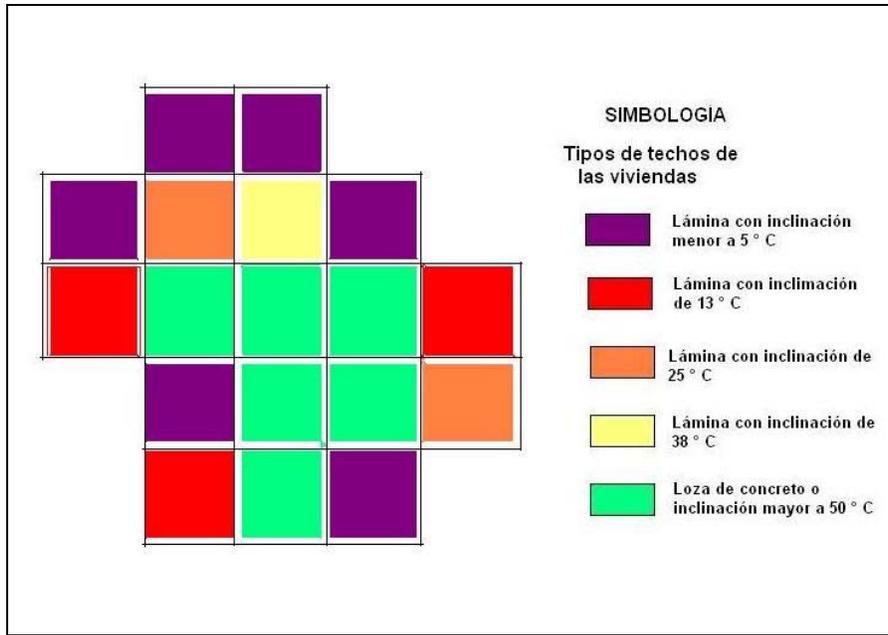


Figura B.12 Distribución espacial de los tipos de techos en la comunidad del ejemplo

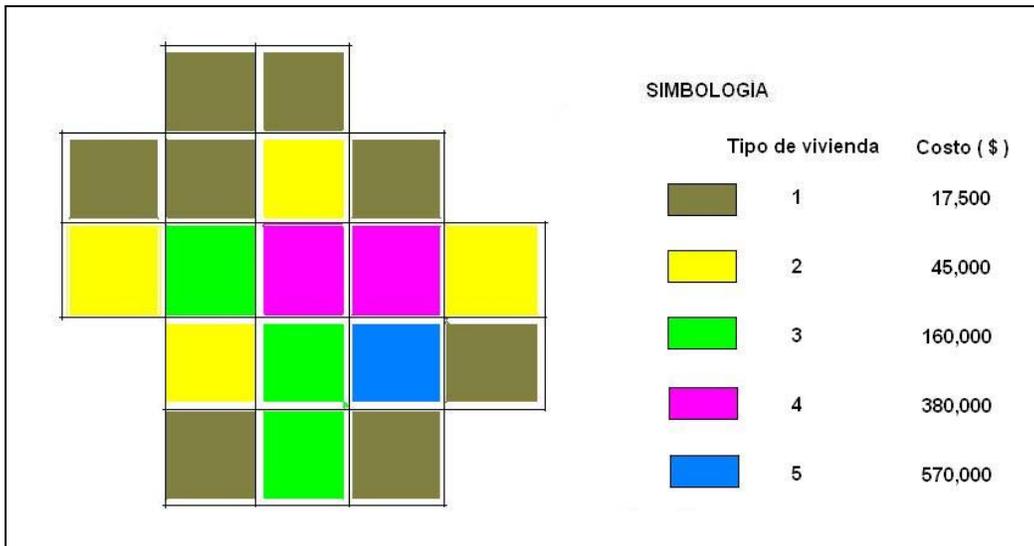


Figura B.13 Costo del menaje y techo en la comunidad del ejemplo

De la función de peligro (figura B.9) se observa que para una comunidad ubicada a una altura de 2800 msnm existe una probabilidad de que ocurra una nevada al año y en la temporada de invierno de 0.7376.

Ahora, a partir de las figuras B.12 y B.11, los valores de vulnerabilidad que le corresponde a cada vivienda se presentan en las figuras B.14 y B.15.

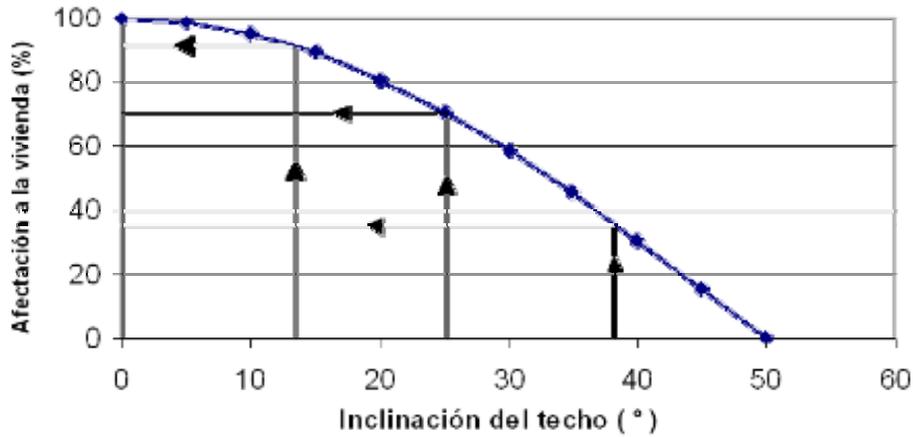


Figura B.14 Uso de la función de vulnerabilidad en el ejemplo

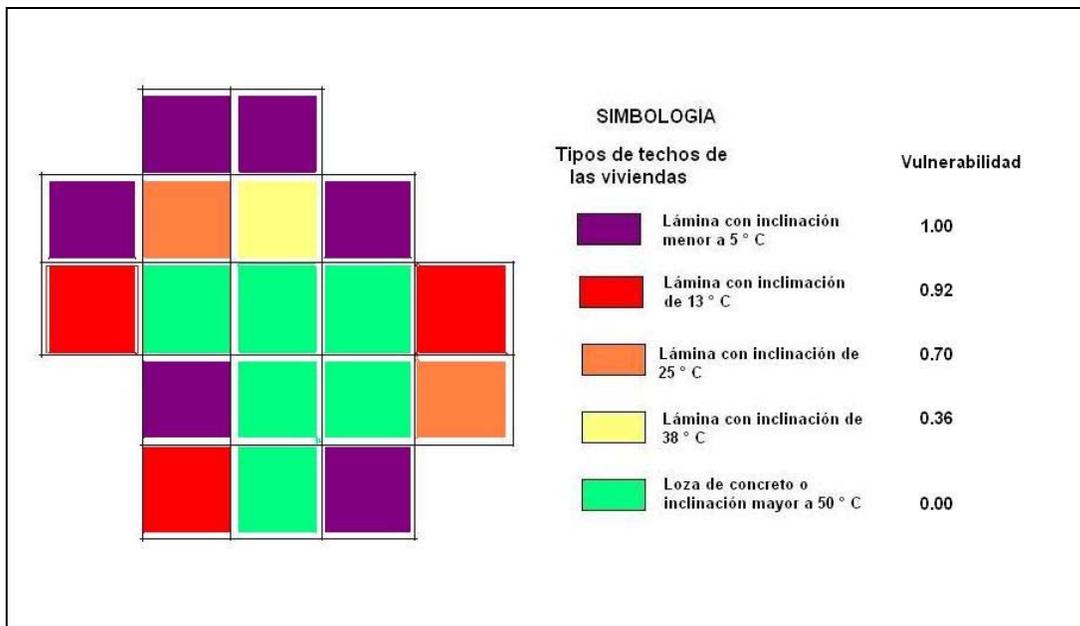


Figura B.15 Distribución espacial de los valores de vulnerabilidad en el ejemplo

Si se usa la fórmula de riesgo, en su expresión más sencilla, se llega finalmente a un mapa de riesgo para dicha localidad (figura B.16), donde se obtiene el riesgo por nevadas en cada vivienda encuestada.

$$R = C \cdot V \cdot P$$

Donde: R es el riesgo (en términos de dinero), C es el valor de los bienes expuestos (en pesos), P es la probabilidad de que ocurra una nevada potencialmente dañina, (adimensional), y V es el porcentaje de daños de una vivienda por efecto de una nevada (adimensional).

La operación simplemente consiste en multiplicar la probabilidad de que nieve, 0.7673, la cual es constante en toda la comunidad, por el valor de vulnerabilidad que le corresponde a cada vivienda y por el costo de éstas.

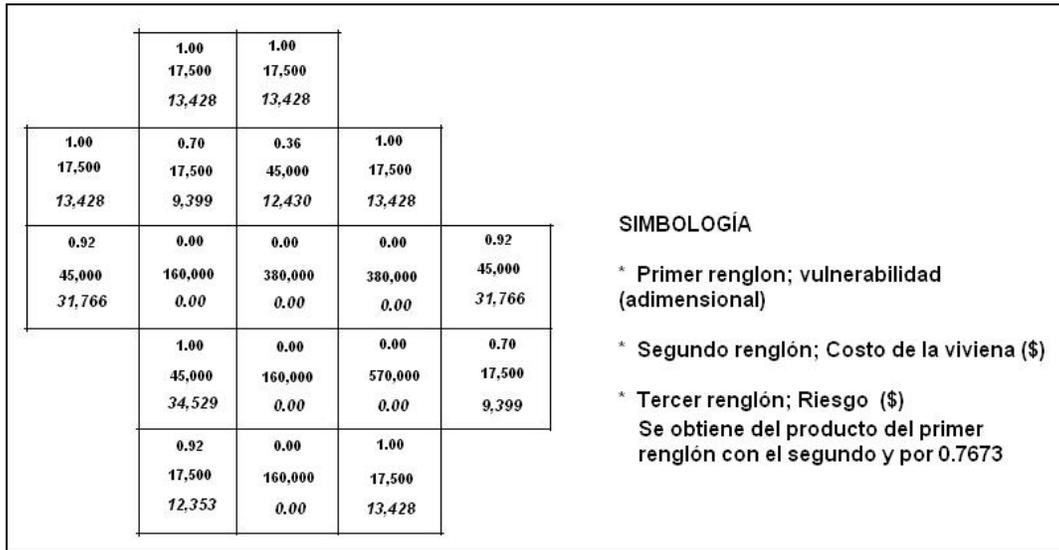


Figura B.16 Distribución espacial del riesgo en la comunidad del ejemplo

El riesgo total debido a una nevada en la población es la suma del riesgo de cada casa, es decir, \$ 208,782.

Una distribución espacial a colores del riesgo de la figura B.16 se presenta en la figura B.17, donde el riesgo se clasifica en intervalos de \$10, 000.

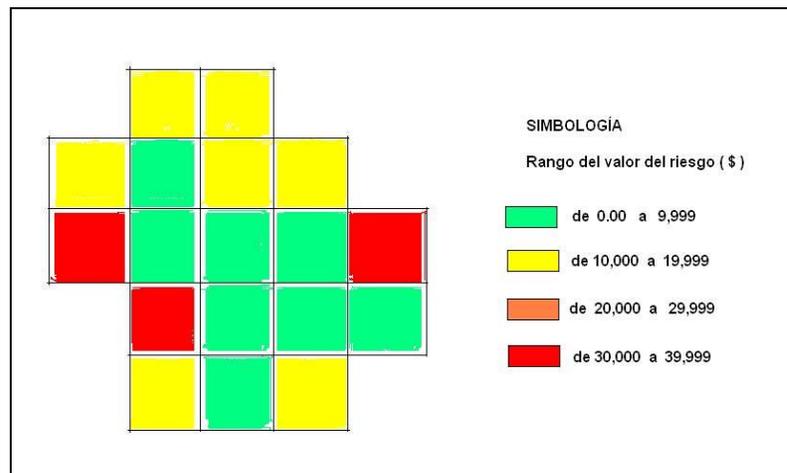


Figura B.17 Distribución espacial a colores del riesgo

ANEXO C

REGISTROS DEL NÚMERO DE DÍAS CON NEVADA EN ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS OBTENIDOS EN EL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

Tabla C.1 Obtención de datos a partir de la forma 212-50, proporcionada por el SMN, para catorce estaciones climatológicas

Estación	Almoloya del Río (DGE)												
Municipio	Almoloya del Río												
No. Estación	15004												
Altitud, msnm	2572												
Latitud	19° 09'												
Longitud	99° 29'												
Período de registro	ene 1961- may 1990												
Número de días con nevada													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1961	0												0
1962													0
1963													0
1964													0
1965													0
1966													0
1967	2												2
1968													0
1969	1												1
1970													0
1971													0
1972													0
1973													0
1974													0
1975													0
1976													0
1977													0
1978													0
1979													0
1980													0
1981													0
1982													0
1983													0
1984													0
1985													0
1986													0
1987													0
1988													0
1989													0
1990						0							0

Estación	Almoloya del Río (SMN)												
Municipio	Almoloya del Río												
No. Estación	15176												
Altitud, msnm	2530												
Latitud	19° 11'												
Longitud	99° 29'												
Período de registro	ene 1938- jun 1969												
Número de días con nevada													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1938	0												0
1939													0
1940													0
1941													0
1942													0
1943													0
1944													0
1945													0
1946	2												2
1947													0
1948													0
1949													0
1950													0
1951													0
1952													0
1953													0
1954													0
1955												1	1
1956													0
1957												1	1
1958	2												2
1959													0
1960													3
1961	3												3
1962													0
1963													0
1964													0
1965													0
1966													0
1967													0
1968													0
1969							0						0

Estación	Amanalco de Becerra												
Municipio	Amanalco de Becerra												
No. Estación	15005												
Altitud, msnm	2511												
Latitud	19° 15'												
Longitud	100° 02'												
Período de registro	ene 1962-dic 1990												
Días con nevada													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1962	0												0
1963													0
1964													0
1965													0
1966													0
1967	2												2
1968													0
1969													0
1970													0
1971													0
1972													0
1973													0
1974													0
1975													0
1976													0
1977													0
1978													0
1979													0
1980	1												1
1981													0
1982													0
1983													0
1984													0
1985													0
1986													0
1987													0
1988													0
1989													0
1990												0	0

Estación	Loma Alta												
Municipio	Zinacantepec												
No. Estación	15229												
Altitud, msnm	3432												
Latitud	19° 10'												
Longitud	99° 48'												
Período de registro	ene-1981- mar 1987												
Días con nevada													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1981	7	2											9
1982													0
1983		4											4
1984													0
1985													0
1986													0
1987			0										0

Estación	Nevado de Toluca												
Municipio	Zinacantepec												
No. Estación	15062												
Altitud, msnm	4110												
Latitud	19 07												
Longitud	99 46												
Período de registro	sep 1964-dic 1990												
Número de días con nevada													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1964									5	1	1	3	10
1965	1	2	0	6	2	3	2	2	0	10	2	3	33
1966	2	5	3	2	5	0	2	0	0	1	1	4	25
1967	2												2
1968						0	0	0	7	24	7	6	44
1969						3	1	0	0	0	0	2	6
1970	1	0	0	1	1	2	2	0	0	0	2	0	9
1971	2	4	7	2	2	1	11		1	0	3	4	37
1972	2	0	6	3	5	4	3	0	5	3	1	3	35
1973												7	7
1974		4	6	10	3	1	5	3	3	2	5	1	43
1975	0	0	0	0	0	0	13	0	3	7	2	0	25
1976	4	3	4	15	7	0	2	6	3	9	6	8	67
1977	3	3	0	2	4	0	7	3	0	1	1	3	27
1978	3	9	4	4	4	0	2	0	3	0	0	0	29
1979	0	4	1	0	7	0	0	2	0	0	1	4	19
1980	1	0	0	5	4	2	7	0	3	3	3	1	29
1981	2	7	0	9	5	0	2	1	1	4	0	2	33
1982	0	7	2	5	3	0	13	2	1	2	4	3	42
1983	5	3	2	0	0	0	2	0	0	1			13
1984	0	0	3	0	4	2	0	2	1	3	1	1	17
1985	3	3	3	9	10	3	3	0	0	0	1	4	39
1986	0	3	0	5	8	0	0	0	0	0	0	0	16
1987	0	2	2	1	1	2	0	0	0	0	0	0	8
1988	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1989		0	0	6	4	2	1	3	0	1	0	3	20
1990	4	2	2	2	2	0	1	0	0	0	0	2	15

Estación	Palos Mancornados												
Municipio	Amanalco de Becerra												
No. Estación	15174												
Altitud, msnm	2270												
Latitud	19° 17'												
Longitud	99° 57'												
Período de registro	jun 1964-dic 1986												
Número de días con nevada													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1964						0							0
1965													0
1966													0
1967													0
1968													0
1969													0
1970												0	0
1971							0						0
1972													0
1973													0
1974													0
1975	2												2
1976													0
1977													0
1978													0
1979													0
1980	1												1
1981	0												0
1982													0
1983	1												1
1984													0
1985													0
1986												0	0

Estación	San Francisco Tlalcalcalpan												
Municipio	Almoloya de Juárez												
No. Estación	15089												
Altitud, msnm	2795												
Latitud	19° 18'												
Longitud	99° 46'												
Período de registro	mar 1939-dic 1990												
Número de días con nevada													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1939				0									0
1940	4		1								1		6
1941	1		1	1									3
1942													0
1943													0
1944													0
1945											1		1
1946													0
1947													0
1948	2												2
1949													0
1950													0
1951			2										2
1952													0
1953													0
1954													0
1955													0
1956													0
1957													0
1958	3												3
1959													0
1960													0
1961													0
1962													0
1963													0
1964													0
1965													0
1966													0
1967	2												2
1968													0
1969													0
1970													0
1971													0
1972													0
1973													0
1974													0
1975													0
1976	1										3		4
1977													0
1978			4										4
1979													0
1980													0
1981													0
1982													0
1983													0
1984													0
1985													0
1986				1									1
1987			3										3
1988													0
1989													0
1990	1	1										0	2

Estación	San Juan de las Huertas												
Municipio	Zinacantepec												
No. Estación	15293												
Altitud, msnm	2840												
Latitud	19° 15'												
Longitud	99° 45'												
Período de registro	sep 1978-dic 1990												
Número de días con nevada													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1978									0				0
1979													0
1980													0
1981													0
1982													0
1983													0
1984													0
1985													0
1986													0
1987				2									2
1988													0
1989													0
1990												0	0

Estación	Tenango del Valle												
Municipio	Tenango del Valle												
No. Estación	15122												
Altitud, msnm	2660												
Latitud	19° 06'												
Longitud	99° 35'												
Período de registro	ago 1959-jul 1989												
Número de días con nevada													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1959								0					0
1960													0
1961													0
1962													0
1963													0
1964													0
1965													0
1966			2										2
1967	1												1
1968													0
1969													0
1970													0
1971													0
1972													0
1973								1					1
1974													0
1975													0
1976													0
1977													0
1978													0
1979													0
1980													0
1981													0
1982													0
1983													0
1984													0
1985													0
1986													0
1987													0
1988													0
1989								0					0

Estación	Toluca Oficinas (DGE)												
No. Estación	15164												
Altitud, msnm	2640												
Latitud	19° 18'												
Longitud	99° 40'												
Período de registro	ago 1960- jun 1990												
Número de días con nevada													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1960								0					0
1961													0
1962													0
1963													0
1964													0
1965													0
1966													0
1967	1												1
1968													0
1969													0
1970													0
1971													0
1972													0
1973													0
1974													0
1975													0
1976													0
1977													0
1978													0
1979													0
1980													0
1981													0
1982													0
1983													0
1984													0
1985													0
1986													0
1987			2										2
1988													0
1989											1		1
1990						0							0

Estación	Santiago Tianguistenco												
No. Estación	15174												
Altitud, msnm	2970												
Latitud	19° 12'												
Longitud	99° 28'												
Período de registro	abr 1944 - ago 1999												
Número de días con nevadas													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1944				0									0
1945													0
1946	2	2											4
1947													0
1948													0
1949													0
1950													0
1951													0
1952							20						20
1953													0
1954	2	2											4
1955												1	1
1956													0
1957													0
1958	2												2
1959													0
1960													0
1961													0
1962													0
1963													0
1964	10												10
1965		2											2
1966													0
1967													0
1968													0
1969													0
1970													0
1971													0
1972													0
1973													0
1974													0
1975													0
1976													0
1977													0
1978													0
1979													0
1980													0
1981	3	2											5
1982													0
1983													0
1984													0
1985													0
1986													0
1987													0
1988													0
1989													0
1990								0					0

Estación	CODAGEM (Metepec)												
Municipio	Metepec												
No. Estación	15266												
Altitud, msnm	2600												
Latitud	19° 15'												
Longitud	99° 35'												
Período de registro	jun 1980-dic 1990												
Número de días con nevada													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1980						0							0
1981													0
1982													0
1983													0
1984													0
1985													0
1986													0
1987													0
1988													0
1989													0
1990												0	0

Estación	San Francisco Oxtotilpan												
Municipio	Temascaltepec												
No. Estación	15088												
Altitud, msnm	2601												
Latitud	19° 12'												
Longitud	99° 54'												
Período de registro	ene 1971-dic 1990												
Número de días con nevada													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1971	0												0
1972													0
1973													0
1974													0
1975													0
1976													0
1977													0
1978													0
1979													0
1980													0
1981													0
1982													0
1983													0
1984													0
1985													0
1986													0
1987													0
1988													0
1989													0
1990												0	0

Estación	San Jose del Contadero												
Municipio	Zinacantepec												
No. Estación	15276												
Altitud, msnm	3045												
Latitud	19° 15'												
Longitud	99° 49'												
Período de registro	oct 1980-sep 1989												
Número de días con nevada													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1980										0			0
1981													0
1982													0
1983													0
1984													0
1985													0
1986													0
1987													0
1988													0
1989									0				0

Tabla C.2 Siete estaciones elegidas con datos del número de días con nevada, periodo de 23 años (1964-1984)

Estación	Almoloya del Río (DGE) Secretaría de Recursos Hidráulicos					
Municipio	Almoloya del Río					
No. Estación	15004					
Altitud, msnm	2670					
Latitud	19° 9' =	19.15°				
Longitud	99° 29' =	99.48°				
Número de días con nevada						
Año	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Sumatoria
1964						0
1965						0
1966						0
1967		2				2
1968						0
1969		1				1
1970						0
1971						0
1972						0
1973						0
1974						0
1975						0
1976						0
1977						0
1978						0
1979						0
1980						0
1981						0
1982						0
1983						0
1984						0
1985						0
1986						0
						3 total

Estación	Amanalco de Becerra					
Municipio	Amanalco de Becerra					
No. Estación	15005					
Altitud, msnm	2511					
Latitud	19°16' =	19.27°				
Longitud	100°2' =	100.03				
Número de días con nevada						
Año	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Sumatoria
1964	0					0
1965						0
1966						0
1967		2				2
1968						0
1969						0
1970						0
1971						0
1972						0
1973						0
1974						0
1975						0
1976						0
1977						0
1978						0
1979						0
1980		1				1
1981						0
1982						0
1983						0
1984						0
1985						0
1986					0	0
						3 total

Estación	Nevado de Toluca					
Municipio	Zinacantepec					
No. Estación	15062					
Altitud, msnm	4120					
Latitud	19° 7' = 19.12°					
Longitud	99° 46' = 99.77°					
Número de días con nevada						
Año	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Sumatoria
1964					1	3
1965	1	2			2	3
1966	2	5	3		1	4
1967	2					2
1968					7	6
1969						2
1970	1				2	3
1971	2	4	7	3	4	20
1972	2			6	1	3
1973						7
1974		4	6	5	1	16
1975					2	2
1976	4	3	4	6	8	25
1977	3	3			1	3
1978	3	9	4			16
1979		4	1	1	4	10
1980	1				3	1
1981	2	7				2
1982		7	2	4	3	16
1983	5	3	2			10
1984				3	1	1
1985	3	3	3	3	1	4
1986		3				3
						229 total

Estación	Palos Mancornados					
Municipio	Amanalco de Becerra					
No. Estación	15174					
Altitud, msnm	2920					
Latitud	19° 17' = 19.28°					
Longitud	99° 54' = 99.9°					
Núm. de días con nevada						
AÑO	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Sumatoria
1964						0
1965						0
1966						0
1967						0
1968						0
1969						0
1970						0
1971						0
1972						0
1973						0
1974						0
1975	2					2
1976						0
1977						0
1978						0
1979						0
1980	1					1
1981						0
1982						0
1983	1					1
1984						0
1985						0
1986					0	0
						4 total

Estación	San Francisco Tlalcilcalpan					
Municipio	Almoloja de Juárez					
No. Estación	15089					
Altitud, msnm	2795					
Latitud	19° 18' = 19.3°					
Longitud	99° 46' = 99.77°					
Número de días con nevada						
Año	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Sumatoria
1964						0
1965						0
1966						0
1967	2					2
1968						0
1969						0
1970						0
1971						0
1972						0
1973						0
1974						0
1975						0
1976	1				3	4
1977						0
1978		4				4
1979						0
1980						0
1981						0
1982						0
1983						0
1984						0
1985						0
1986						0
						10 total

Estación	Tenango del Valle					
Municipio	Tenango del Valle					
No. Estación	15122					
Altitud, msnm	2660					
Latitud	19° 6' = 19.1°					
Longitud	99° 35' = 99.58°					
Número de días con nevada						
Año	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Sumatoria
1964						0
1965						0
1966				2		2
1967	1					1
1968						0
1969						0
1970						0
1971						0
1972						0
1973						0
1974						0
1975						0
1976						0
1977						0
1978						0
1979						0
1980						0
1981						0
1982						0
1983						0
1984						0
1985						0
1986						0
						3 total

Estación	Toluca Oficinas					
No. Estación	15164					
Altitud, msnm	2640					
Latitud	19° 18' = 19.3°					
Longitud	99° 40' = 99.67°					
Número de días con nevada						
Año	Ene	Feb	Mar	Nov	Dic	Sumatoria
1964						0
1965						0
1966						0
1967	1					1
1968						0
1969						0
1970						0
1971						0
1972						0
1973						0
1974						0
1975						0
1976						0
1977						0
1978						0
1979						0
1980						0
1981						0
1982						0
1983						0
1984						0
1985						0
1986						0
						1 total

IV. IDENTIFICACIÓN DE TRAYECTORIAS DE CICLONES TROPICALES MEDIANTE EL USO DEL PROGRAMA DE CÓMPUTO “BUSCA CICLONES”

Martín Jiménez Espinosa y Carlos Baeza Ramírez

RESUMEN

En este documento se presenta un manual del programa “Busca Ciclones”, el cual está desarrollado en ambiente de un Sistema de Información Geográfico (SIG). Una de sus principales funciones es hacer búsquedas de las trayectorias de ciclones tropicales que pasan por la zona del norte del océano Atlántico, el mar del Caribe, el golfo de México y en la parte nororiental del océano Pacífico. Lo anterior permite identificar la presencia y la frecuencia de ciclones tropicales en cualquier región del país, para llevar a cabo análisis estadísticos, encaminados a la zonificación de amenaza y peligro por estos fenómenos. El programa incluye varios criterios de búsqueda: por océano, por periodo, por intensidad o por nombre; también se pueden guardar las búsquedas en formato Shape para posterior apertura ya sea en el mismo programa o en cualquier otro que soporte este formato.

4.1 INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta un programa en ambiente de Sistema de Información Geográfica (SIG), en él se pueden hacer consultas a una base de datos con registros de tormentas tropicales y huracanes. Dicha base para el océano Atlántico, abarca desde el año de 1851 hasta 2005, dentro de este periodo se tienen 1287 trayectorias, y para el océano Pacífico desde 1949 hasta el 2005 se tienen 726 trayectorias. En esta base de datos no se tiene información sobre depresiones tropicales, únicamente desde tormentas tropicales; sin embargo, se han agregado algunas de las depresiones tropicales que han afectado grandemente al país, como es la depresión tropical no. 11 de 1999, que causó daños importantes en los estados de Veracruz, Puebla, Hidalgo y Tabasco.

Las búsquedas van dirigidas a las trayectorias en determinado periodo y para cierta zona, por lo que de ninguna manera, se puede decir que éste sea un programa para determinar el peligro de un lugar por ciclones tropicales, para ello se necesita un análisis estadístico y una modelación de las diferentes intensidades que caracterizan a cada efecto producido por los ciclones tropicales, como viento, oleaje, marea de tormenta y precipitación, para luego obtener la probabilidad asociada a este evento (tirante máximo, ola máxima o los vientos máximos) y, hasta entonces, se estará en posibilidad determinar el peligro.

Con este programa se pretende tener una base de datos histórica de los ciclones tropicales registrados en los dos océanos que rodean al territorio nacional aunada con las bondades de los SIG's, es decir, permita visualmente tener líneas que representan trayectorias y sólo con un “clic” podemos saber las características de cada segmento de la trayectoria. También se pueden realizar búsquedas de algún sitio en particular para identificar las características de los ciclones tropicales que han pasado cerca de esa zona de interés.

El programa fue desarrollado en Visual Basic 6.0 por la ventaja que este lenguaje representa en cuanto a sus enlaces, tanto con Microsoft Access como con MapObjects 2.0. La función

principal del programa es el trazado de las trayectorias bajo ciertos criterios de búsquedas relacionando fechas de ocurrencia con intensidades de los vientos máximos de los ciclones tropicales. Una vez guardada la capa se pueden realizar búsquedas dentro de alguna región; dichas búsquedas pueden tener diferentes formas geométricas (rectángulos, círculos o figuras asimétricas) como se describe más adelante.

La información sobre los ciclones tropicales con la que se alimentó la base de datos, fue tomada del portal de Internet del Centro Nacional de Huracanes de Miami ({{HYPERLINK "http://www.nhc.noaa.gov/"}}). En 1947 se realizó el convenio meteorológico mundial promovido por la Organización Meteorológica Mundial OMM (en inglés WMO)¹, donde se llegó al acuerdo que existirían Centros Meteorológicos Especializados Regionales CMER, (en inglés RSMC). En la figura 4.1 están representadas dichas regiones; los centros tienen la responsabilidad de identificar y dar seguimiento a los ciclones tropicales. México está incluido en la zona IV, donde se designó al Centro Nacional de Huracanes de Miami (HNC por sus siglas en inglés) como la institución responsable; la zona IV que, a su vez, está dividida en dos grandes cuencas, la Cuenca del Atlántico (incluyendo el océano Atlántico del norte, el golfo de México, y el mar Caribe) y la Cuenca del Pacífico del noreste (desde México hasta la línea meridional). El NHC es el encargado de proporcionar información en tiempo real e histórica de los sucesos meteorológicos activos dentro de la región, se puede tener contacto con ellos y acceder a dicha información por medio del portal antes mencionado.

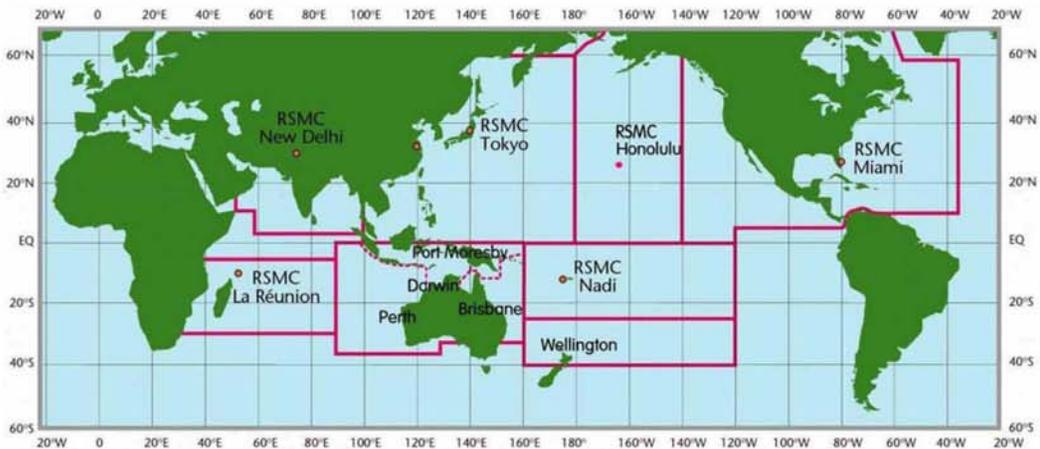


Figura 4.1 Centros Meteorológicos Especializados Regionales, (WMO, 2003)

Ordenamiento de la base de datos de ciclones tropicales

Del portal de internet del Centro Nacional de Huracanes de Miami, se descargaron dos archivos en formato *ASCII*, cada uno contiene información sobre los ciclones tropicales que han pasado por cada una de las cuencas ya mencionadas (datos sólo de huracanes y tormentas tropicales, no incluyen depresiones tropicales). Ambos archivos se adecuaron y exportaron a Microsoft Access.

¹ Los fines de la OMM son facilitar la cooperación internacional en servicios y observaciones meteorológicas, promover el intercambio rápido de información meteorológica, la normalización de las observaciones meteorológicas y la publicación uniforme de observaciones y estadísticas.

El archivo correspondiente al océano Atlántico es el más extenso, ya que tiene registros desde 1851, a diferencia del océano Pacífico cuyo registro inicia en 1949. Ambos registros contienen información de la posición real, fecha en que ocurrió (hora, día, mes y año), nombre (en el caso de habersele asignado alguno), velocidad máxima de sus vientos y presión mínima central. Para este último parámetro no se cuenta con todos los valores, ya que hace algunas décadas no era posible realizar las mediciones. En el caso del océano Atlántico existen datos más completos desde 1975 y para el Pacífico desde 1988.

La base de datos en Microsoft Access contiene una sola tabla con los siguientes campos:

Campo	Descripción
• "ID"	Identificador general dentro de la base.
• "No_de_fenómeno"	Identificador compuesto por un número y una letra. El número representa a cada uno de los ciclones que están registrados y la letra el océano donde se presentó. Por ejemplo 0532P representa el ciclón tropical número 532 en el océano Pacífico.
• "Fecha"	Fecha en la que se registró el evento; tiene el siguiente formato día, mes, año, hora y minutos (dd/mm/aaaa hh:mm).
• "Nombre"	Nombre del ciclón en el RSMC
• "latitud", "longitud"	Coordenadas geográficas de cada una de las posiciones del centro del ciclón tropical que se registraron
• "vientos"	Velocidad de los vientos máximos en nudos (kt)
• "presión"	Presión central mínima; disponible desde 1979
• "Clasifi_max"	Máximo valor alcanzado por el ciclón tropical de acuerdo con la clasificación Saffir-Simpson, con la variante que se incorporaron los valores de 0 y -1 para tormenta tropical y depresión tropical, respectivamente
• "Clasifi_puntual"	Clasificación dentro de la escala Saffir-Simpson correspondiente al momento en el que fue registrado

En la figura 4.2 se observa cómo está constituida la tabla de acuerdo con los campos antes descritos.

ID	No de fenó	Fecha	Nombre	Latitud	Longitud	Vientos	Presion	Clasifi_max	Clasifi_puntual
48774	1104A	25/08/89	ERIN	36.3	-42.4	90	968	2	2
48775	1104A	25/08/89 06:00:00 a.m.	ERIN	37.6	-41.1	90	969	2	2
48776	1104A	25/08/89 12:00:00 p.m.	ERIN	39	-39.7	90	971	2	2
48777	1104A	25/08/89 06:00:00 p.m.	ERIN	40.6	-38.3	85	973	2	2
48778	1104A	26/08/89	ERIN	42.3	-37.2	80	976	2	1
48779	1104A	26/08/89 06:00:00 a.m.	ERIN	44.4	-36.2	75	980	2	1
48780	1104A	26/08/89 12:00:00 p.m.	ERIN	47	-35.1	70	983	2	1
48781	1104A	26/08/89 06:00:00 p.m.	ERIN	49.5	-33.5	65	986	2	1
48782	1104A	27/08/89	ERIN	51.9	-31.8	60	991	2	0
48783	1105A	26/08/89	FELIX	16.8	-21	25	1009	1	-1
48784	1105A	26/08/89 06:00:00 a.m.	FELIX	16.9	-21.7	30	1008	1	-1
48785	1105A	26/08/89 12:00:00 p.m.	FELIX	17	-22.2	30	1007	1	-1
48786	1105A	26/08/89 06:00:00 p.m.	FELIX	17.2	-22.9	35	1005	1	0

Figura 4.2 Datos en Microsoft Access

Por otra parte, para hacer el enlace con los SIG, se utilizó el objeto *Map* de *MapObjects 2.2* dentro de Visual Basic 6, con lo cual se puede enlazar a Access e, incluso, crear archivos *Shape*², de esta forma se tienen diferentes capas sobrepuestas; además, se pueden crear o incorporar objetos geométricos georeferenciados (polígonos, líneas, puntos) relacionados con una base de datos, es decir, que se puede incorporar en nuestro ambiente de trabajo capas con mapas mundiales, mapas del territorio nacional, etc.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA BUSCA CT

Este software es compatible con Windows XP, o anteriores, y al menos se requiere de 35 Mb en disco duro disponibles.

4.2.1 Instalación e Inicio del programa

El primer paso es bajar del portal de Internet el archivo comprimido “zip” que corresponde al “Busca Ciclones” en { HYPERLINK "http://atl.cenapred.unam.mx/metadateexplorer/index.html" }, el archivo zip contiene la carpeta Busca CT, que a su vez contiene cuatro archivos; se da doble clic en *setup.exe*, para iniciar la instalación y se siguen las instrucciones hasta que ésta finalice. Al momento de instalarse se copia una base de datos llamada “ciclones.mdb” y algunos archivos “shape” creados en este programa (son *shapes* que contienen la trayectoria para cada uno de los meses, en cada océano), además de un archivo que proporciona la ayuda que se requiera durante el uso del programa.



Una vez instalado el programa se crea un acceso directo en el escritorio de la computadora. Se inicia dando doble clic en el ícono de acceso directo. Como alternativa se puede seguir la ruta:

Menú inicio → programas → botón busca ciclones → Busca CT

4.2.2 Descripción rápida de la pantalla inicial del programa Busca CT

En esta sección se describirá la estructura de la ventana inicial del programa: Barra de título, Barra de menús, Barra de herramientas, Barra de estado y el visualizador de MapObjects que se presenta en la figura 4.3.

Barra de Título

La barra de título está en la parte superior, como se muestra en la figura 4.3, de izquierda a derecha aparece el icono que distingue al programa, el nombre del mismo y, por último, los botones de maximizar o restablecer, minimizar y cerrar.

Barra de Menús

Al igual que otros programas, en la barra de menús se presentan botones contextuales para activar las funciones del programa; la barra está dividida en cuatro partes:

² *Shape* es el formato espacial que utiliza Arcview para almacenar información en las figuras geométricas con características geográficas.



Figura 4.3 Pantalla inicial del programa Busca CT

- **Archivo.** Está dividido en cuatro submenús para abrir, guardar o salir:
 - **Abrir trayectorias (*.shp)**, abre archivos con trayectorias que previamente hayan sido guardados con este programa
 - **Guardar archivos como Shape**, guarda las trayectorias seccionadas en un archivo con formato *shape*
 - **Guardar imagen como**, guarda la vista actual que se observa en el visualizador como una imagen en formato de mapas de bits (*.bmp)
 - **Salir**, cierra el programa
- **Ver.** Dentro de este menú se cuenta con funciones que permiten manipular las ventanas y capas que se deseen mostrar dentro del visualizador de MapObjects; está dividido en dos submenús:
 - **Ver datos**, activa o desactiva la ventana de información que contiene la información contenida en la base de datos asociada con las trayectorias que se muestran.
 - **Ver capas**, está dividido en tres submenús (*Mundo*, *municipios > 100,000 habitantes*, *cuadrícula*) que activan o desactivan las capas (*layers*) dentro del visualizador.
- **Búsquedas.** Contienen un solo submenú en la base de datos. Realiza búsquedas dentro de la base de datos incorporada en el programa.

- *Búsqueda en la base de datos*, es la parte esencial del programa, ya que con ella se llevan a cabo búsquedas con distintos criterios.
- **Ayuda.** Presenta información del programa, las aplicaciones del mismo y algunos conceptos básicos sobre su estructura; está dividido en dos partes:
 - **Contenido**, al oprimir este submenú se inician los ficheros de ayuda, en donde se puede obtener información del programa siguiendo las ligas dentro del texto, o bien, por medio de una búsqueda de palabras clave.
 - **Acerca de Busca CT**, se presenta información del programa y del sistema.

Barra de herramientas

En esta barra se tienen botones de acceso rápido a las funciones del programa; está dividida en cuatro partes: *Guardar*, *Zoom*, *Búsqueda*, *Información*.

Guardar	
	<i>Guardar vista actual con formato Shape</i>
Zoom	
	<i>Zoom global, vista global del área de estudio.</i>
	<i>Zoom in, acercamiento dentro del recuadro que se forma al mantener oprimido el botón derecho del ratón y desplazar el mismo</i>
	<i>Mover, desplaza el mapa hacia cualquier lado</i>
	<i>Zoom out, alejamiento de la imagen</i>
Búsqueda	
{ EMBED Word.Pi cture.8 }	<i>Búsqueda en la base de datos</i>
	<i>Búsqueda dentro de un polígono, que de manera interactiva se dibuja sobre el visualizador</i>
	<i>Búsqueda dentro de un recuadro, que de manera interactiva se dibuja sobre el visualizador</i>
	<i>Búsqueda dentro de un círculo, del cual es necesario indicar las coordenadas, así como el radio de influencia</i>
Información	
	<i>Información de la trayectoria seleccionada, contenida en la base de datos</i>

Barra de estado

Esta barra está dividida en paneles, cada uno de los cuales contienen información: en el primero, contando de izquierda a derecha, presenta las coordenadas en latitud y longitud del cursor dentro del visualizador de MapObjects; el segundo indica el número de ciclones encontrados en la

última búsqueda, mientras que el tercer panel presenta el total de ciclones que tiene la última capa guardada y cargada.

Visualizador de MapObjects

Dentro de este recuadro se observa una serie de capas con datos georeferenciados en cualquiera de sus dos formas (vector o raster).

4.2.3 Descripción de las funciones principales del programa

Para describir las funciones con las que cuenta el programa, primero se comenta lo que se puede realizar con cada una de ellas y cómo se activan, ya sea a través de los íconos en la barra de herramientas, o por la barra de menús.

Abrir trayectorias (*.shp)

Acceso por: *barra de menús* → *archivo* → *Abrir trayectorias (*.shp)*

Con esta función se abren archivos del tipo *shape (*.shp)*, que contienen trayectorias y que se utilizan frecuentemente, de otra forma se tendrían que hacer las búsquedas de trayectorias repetidamente. Esto no es ningún problema cuando son pocas trayectorias, pero al ser considerable el número de registros, el proceso puede tardar varios minutos. Cabe mencionar que cualquier búsqueda con la que se requiera trabajar, deberá realizarse cada vez que se requiera a menos que una vez que se tenga el resultado, éste se guarde en un archivo “*shape*”.

Guardar shape

Acceso por barra de herramientas *ícono*



Acceso por barra de *menús* *Archivo* → *Guardar como shape*

En primera instancia, con esta función se pueden guardar las búsquedas realizadas para las trayectorias que sean del interés del usuario, para que posteriormente se puedan abrir con este programa o algún otro SIG (compatible con el formato *shape*). La ventaja de esta función es que al tener guardada la capa, posteriormente se pueden hacer búsquedas dentro de la misma, o bien, para obtener información de las trayectorias que en ella se muestran.

Al momento de guardar un *shape*, se crean tres archivos en el mismo directorio: un archivo en formato *dbase (*.dbf)* que contiene la información en una base de datos, un archivo en formato *shape (*.shp)*, que guarda las características geométricas de los elementos y el archivo en formato *(*.shx)*, que guarda un índice que relaciona a los dos archivos anteriores, de tal manera que se tiene una conexión entre los elementos geométricos y la base de datos.

Las trayectorias que se ven en el visualizador, en realidad están formadas por varios segmentos de línea, donde para cada uno se cuenta con la información que está disponible en la base de datos de la figura 4.4

Shape	Nombre	Clasif	Fecha	Clave	Viento	Precipia
PolyLine	FELIX	Tormenta Tropical	12/09/01 12:00:00 p	1241A	55	394
PolyLine	FELIX	Tormenta Tropical	12/09/01 06:00:00 p	1241A	60	993
PolyLine	FELIX	Huracan 1	13/09/01	1241A	65	967
PolyLine	FELIX	Huracan 1	13/09/01 06:00:00 a	1241A	75	979
PolyLine	FELIX	Huracan 2	13/09/01 12:00:00 p	1241A	85	972
PolyLine	FELIX	Huracan 2	13/09/01	1241A		

Figura 4.4 Atributos de los segmentos de las trayectorias

Los segmentos de línea, a su vez, están formados por dos puntos. Cabe hacer la anotación que los valores asignados a las líneas son los registros del punto inmediato anterior, de esta forma en una trayectoria se pierde la información del último punto. Por lo tanto, se debe de tomar en cuenta que cuando solicita información de una trayectoria, los datos son puntuales y sólo describirán el inicio del segmento.

Para guardar una capa en cualquier SIG, se debe considerar de antemano que se están almacenando figuras geométricas (polilíneas, polígonos, puntos, líneas); cada uno de estos elementos está georeferenciado y enlazado.

Guardar imagen como...

Acceso por Menú Archivo → Guardar imagen como...

Actualmente es posible guardar imágenes con formato de mapa de bits (*.bmp). La imagen que se guarda es tal como se observa en el visualizador de MapObjects, de acuerdo a las capas que estén activas y a las trayectorias que se hayan dibujado. No es posible guardar dentro de la imagen el cuadro de información (figura 4.5 en círculo) sobre alguna trayectoria, debido a que es un recurso de Visual Basic que no reconoce MapObjects.

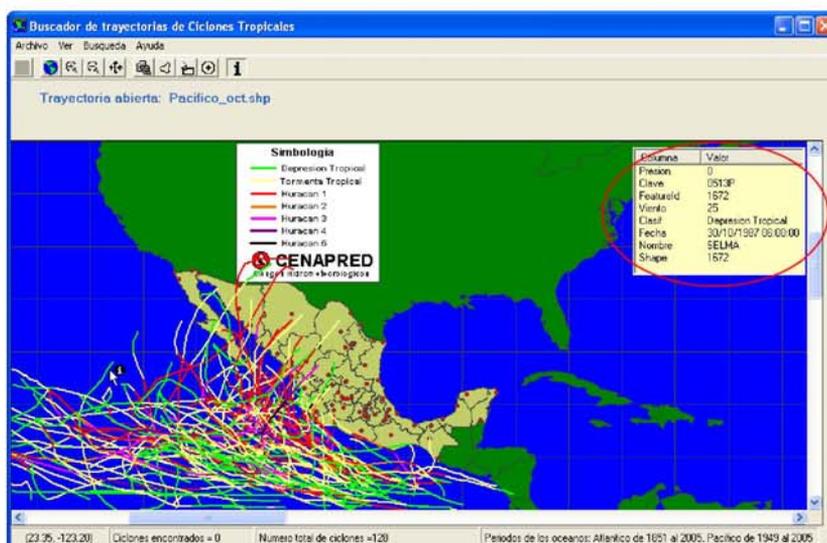


Figura 4.5 Atributos de los segmentos de las trayectorias

Ver Datos

Esta función se relaciona con la información de las trayectorias mostradas en el visualizador, dejando visible o invisible la tabla que contienen dicha información. Esta ventana no siempre se puede observar, sólo cuando está activado el botón de información de la trayectoria.

Ver Capas

Acceso por Barra de Menús → Ver → Ver Capas → Mundo

Acceso por Barra de Menús → Ver → Ver Capas → municipios > 100,000 habitantes

Acceso por Barra de Menús → Ver → Ver Capas → cuadrícula

Con estas funciones se muestran u ocultan las diferentes capas que se cargan desde que inicia el programa. Cabe mencionar que estas capas en ningún momento se han descargado del programa, sólo se definen como visibles o no visibles, según la necesidad o gusto del usuario.

Para el programa, casi todas las capas están restringidas, ya que al iniciar el programa se abren cuatro capas (estados de la República Mexicana, países en el mundo, municipios con una población mayor de 100,000 hab. y una cuadrícula a cada cinco grados) con características fijas, de color, ancho de línea, etc., sin posibilidad de cambiarlas, y sólo la capa de las trayectorias es la única que puede cambiar el usuario. Sólo es posible abrir una capa a la vez.

Búsqueda en la base de datos

Acceso en la Barra de Herramientas icono →



Acceso por Barra de Menú Búsqueda → Búsqueda en la base de datos

Al activar esta función lo primero que aparece es la ventana de la figura 4.6. En ella se presentan las diferentes opciones de búsqueda que están habilitadas en el programa. Se puede activar una o varias casillas dando un clic dentro de cada uno de los cuadros que están al lado izquierdo del texto; las búsquedas que se pueden realizar son las siguientes:

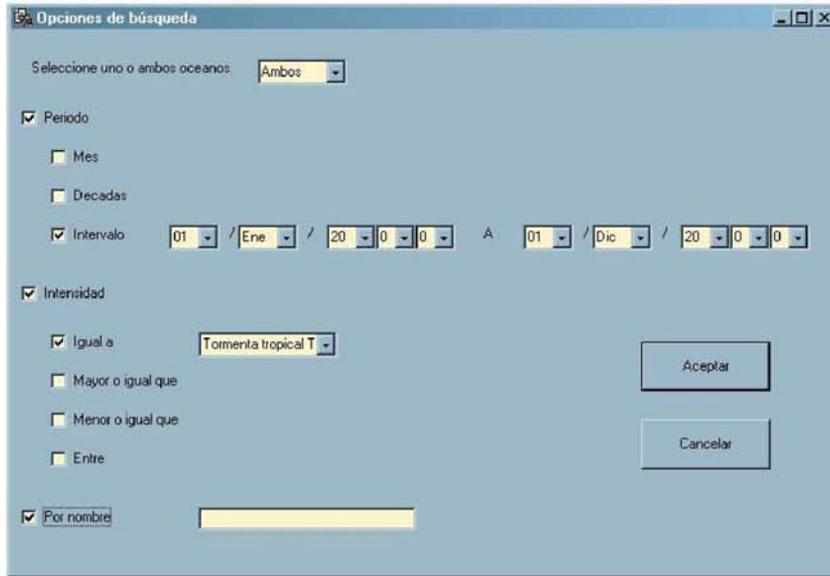


Figura 4.6 Ventana para realizar las búsquedas

- **Búsquedas en los océanos.** En esta parte se tienen tres opciones:
 - **Pacífico**, la búsqueda se realiza dentro de la base de datos correspondiente sólo al océano Pacífico
 - **Atlántico**, la búsqueda se realiza dentro de la base de datos correspondiente sólo al océano Atlántico
 - **Ambos**, la búsqueda se realiza dentro de la base de datos completa, es decir, en ambos océanos
- **Búsqueda en un periodo determinado.** Para el océano Atlántico se cuenta con registros desde 1851, mientras que en el caso del océano Pacífico desde 1949. Para ambos casos se tienen registros hasta el 2005.
 - **Mes**, se puede seleccionar un solo mes del año. En este caso el resultado es la trayectoria de todos los ciclones tropicales registrados durante el mes seleccionado (en todos los años)
 - **Década**, se puede seleccionar una década dentro del periodo de registro histórico
 - **Intervalo**, con esta opción se puede seleccionar un intervalo de tiempo que puede ir desde un día en particular, hasta varios meses o años. Todo dentro del periodo histórico

- **Por Intensidad**, en esta selección se pueden hacer búsquedas en función de las intensidades de un ciclón tropical (depresión tropical, tormenta tropical, huracán de categoría 1, 2, 3, 4 ó 5); también se pueden utilizar los operadores lógicos más comunes: “igual que”, “mayor o igual que”, “menor o igual que” y un intervalo “entre” (un valor y otro)
- **Por nombre**, la búsqueda se realiza con el nombre que identifica a cada fenómeno. Cuando la intensidad del evento cambia de depresión tropical a huracán, su identificación también cambia, de números a nombres de personas, los cuales provienen de listas establecidas por el Comité de Huracanes de la región IV de la Organización Meteorológica Mundial. Estas listas son diferentes tanto para el Atlántico del norte como para el Pacífico nororiental. Los nombres están ordenados alfabéticamente y sólo se da un nombre por letra, se vuelven a utilizar cada seis años y sólo los ciclones con intensidades récord o que causaron daños muy importantes son retirados de las listas y sustituidos por algún otro cuya fecha inicial sea la misma.

En la figura 4.7 se presenta una búsqueda para todas las trayectorias registradas en el océano Atlántico, en el mes de agosto; en este caso no hay restricción alguna con respecto a la intensidad.

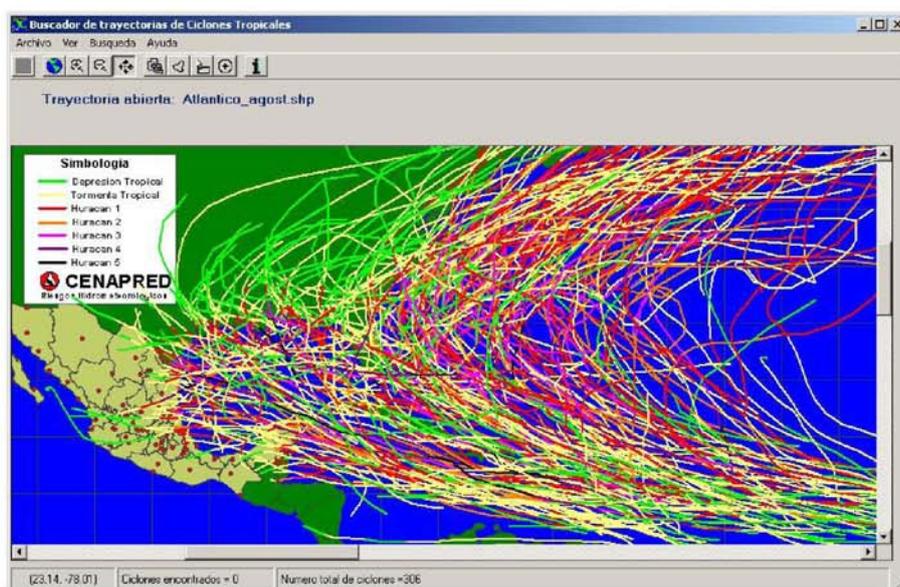


Figura 4.7 Trayectorias históricas en el mes de agosto para el océano Atlántico

Búsquedas interactivas (dentro del visualizador)

Este tipo de búsquedas se activa cuando en el espacio del visualizador se tiene al menos una trayectoria, ya sea porque se realizó una búsqueda dentro de la base de datos, o bien, porque se haya

abierto un *shape*. En esta parte es donde toma importancia guardar las búsquedas realizadas como *shape*, porque cualquiera de estas búsquedas (polígono, rectángulo o círculo) se hacen dentro de la base de datos que conforma el *shape*.

Acceso por la *Barra de Herramientas* → *iconos*



Polígono



Cuadro

Entre las dos primeras búsquedas (polígono y cuadro), la única diferencia que existe es la figura que se dibuja dentro del mapa.

Con el polígono se puede realizar una figura asimétrica al dar varios “clic” dentro del mapa, definiendo así los vértices de la zona de interés. Para finalizar el trazo del polígono es necesario dar doble clic en el último vértice que se desea dibujar.

Para dibujar el rectángulo de búsqueda, se mantiene oprimido el botón derecho del ratón a la vez que se desliza hasta cubrir la zona donde se desea realizar la búsqueda.

Acceso por la *Barra de Herramientas* → *icono*



Al realizar la búsqueda con la herramienta “Búsqueda dentro de un círculo” hay ligeras diferencias respecto a las opciones anteriores ya que, primeramente, aparece la ventana de la figura 4.7, donde se tiene que proporcionar la siguiente información.

Latitud y longitud, para indicar el centro del círculo; el programa convertirá el dato de la longitud en un valor negativo, de ser necesario, ya que las longitudes geográficas Oeste (W, ver figura 4.1), donde está México, se representan con el signo negativo.

Radio se refiere al radio de influencia que se desea tomar en cuenta para definir el círculo de interés para el análisis. Cuenta con un valor predeterminado de 100 km; al realizar la búsqueda, se tomarán en cuenta todas las trayectorias que sean intersectadas con el círculo que se genera a partir de los datos anteriores.

Adicionalmente al filtrado anterior, es posible realizar otra consulta sobre el resultado obtenido. Para ello se debe habilitar la opción “Búsqueda dentro del círculo con un filtro adicional”. Una vez hecho lo anterior se harán visibles los campos, en el primero se selecciona la condición para la búsqueda (igual que, mayor o igual que, menor o igual que, o por intervalo) mientras que en el segundo campo se define la intensidad o el rango de intensidades que interesan.

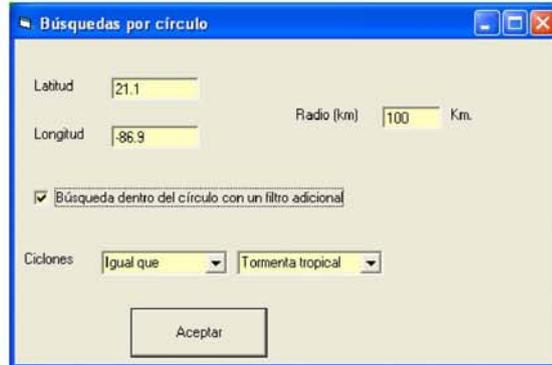


Figura 4.8 Ventana para la búsqueda con un círculo

En la figura 4.9 se presenta el resultado de la búsqueda realizada con las consideraciones presentadas en la figura 4.7.

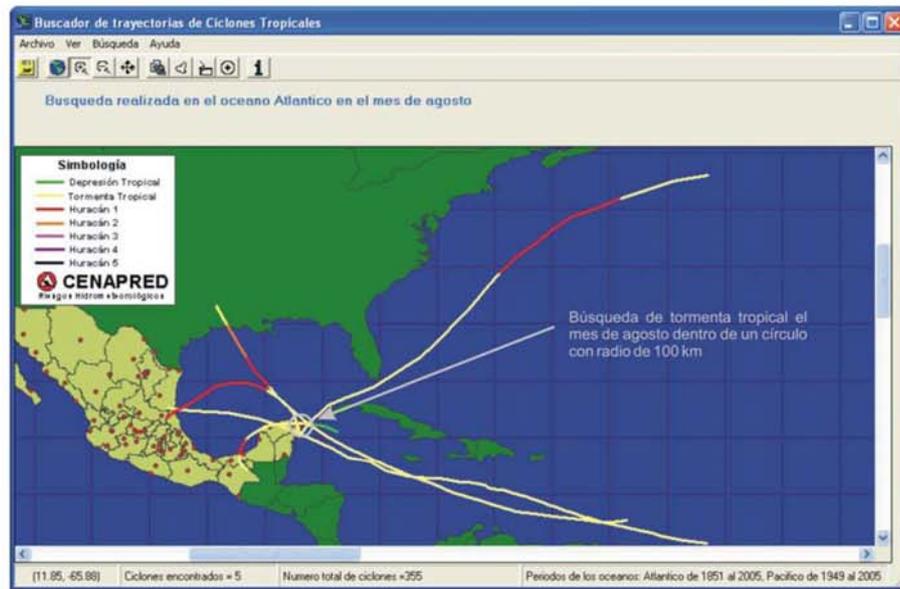


Figura 4.9 Búsqueda dentro del mapa en las coordenadas de latitud 21.1° y longitud 86.9°, con un radio de 100 Km

Información de las trayectorias

Acceso por la *Barra de Herramientas* → ícono



Esta función proporciona la información del segmento de la trayectoria que se selecciona con el cursor dentro del visualizador. Al igual que las búsquedas dentro del mapa, esta función se liga con un *shape* (figura 4.10).



Figura 4.10 Ventana con información de un segmento de la trayectoria

4.3 EJEMPLOS

4.3.1 Búsquedas en la base de datos

En el siguiente ejercicio se realizan diferentes búsquedas que van desde lo más general hasta algo muy particular (figura 4.11); las búsquedas se van a realizar a través del comando de *búsqueda en la base de datos*, el acceso se puede realizar a partir de la *barra de Menús*, o bien, por los iconos de acceso rápido.

Acceso en la Barra de Herramientas icono → 

Acceso Barra de Menús → Búsqueda → Búsqueda en la base de datos

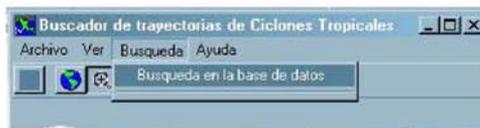


Figura 4.11

Primero se realiza una búsqueda de todos los ciclones tropicales en ambos océanos. El resultado se observa en figura 4.12.

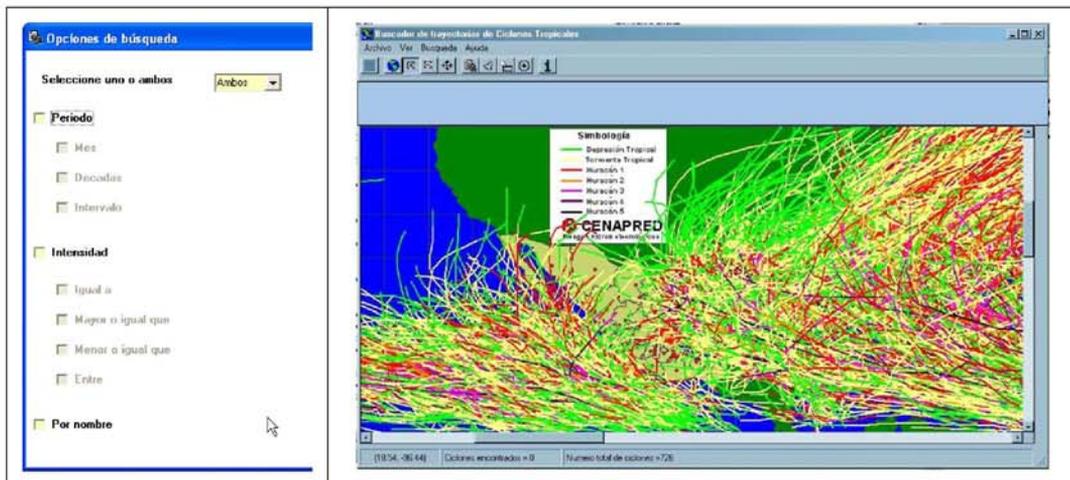


Figura 4.12 Búsqueda de todos los ciclones tropicales en ambos océanos sin restricciones

En la figura 4.13 se muestra la búsqueda de todos los ciclones tropicales registrados en el océano Atlántico. Se puede apreciar la alta concentración de ciclones (1,194) que han pasado por esa parte del golfo de México.

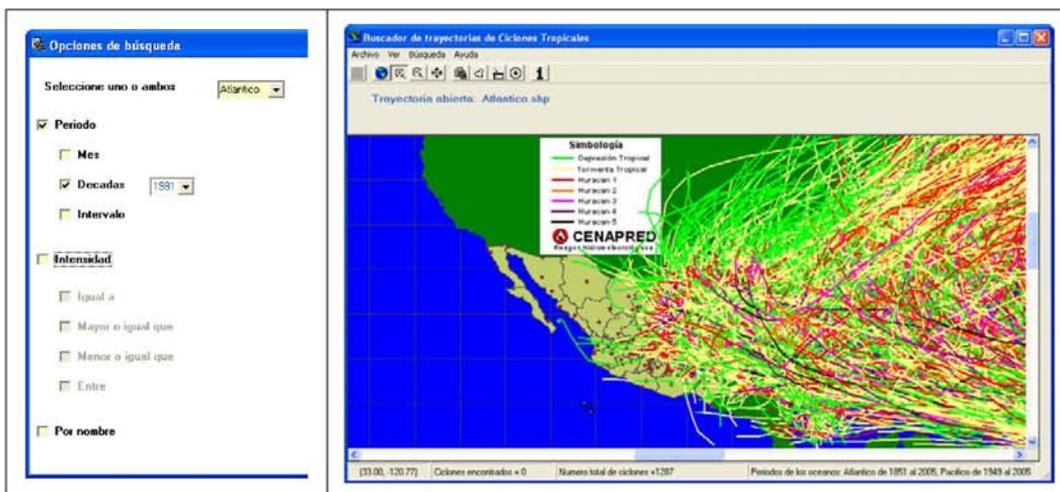


Figura 4.13 Búsqueda realizada para el océano Atlántico

Para llevar a cabo búsquedas en el tiempo, es decir, definiendo un intervalo, se activó la casilla “Periodo”

Para este ejemplo la búsqueda se realizó para la *mes* de agosto (en este caso se está tomando el mismo mes de todos los años y sólo los ciclones del océano Atlántico). En la figura 4.14 se muestra tanto la ventana de búsqueda como el resultado.

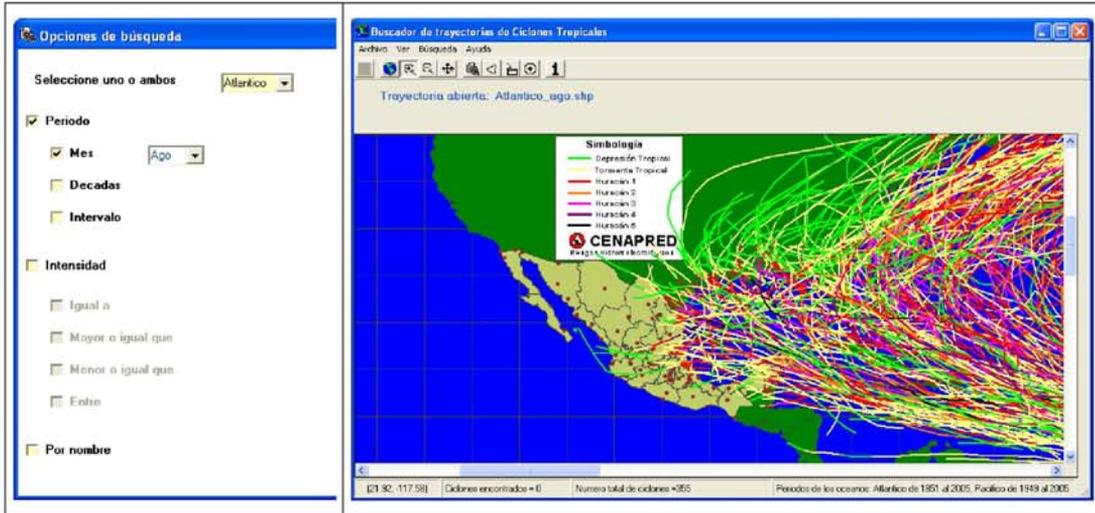


Figura 4.14 Búsqueda realizada para el océano Atlántico y el mes de agosto

En la siguiente búsqueda interesan los ciclones tropicales en el océano Atlántico durante la década de los 80³, el resultado se muestra en la figura 4.15.

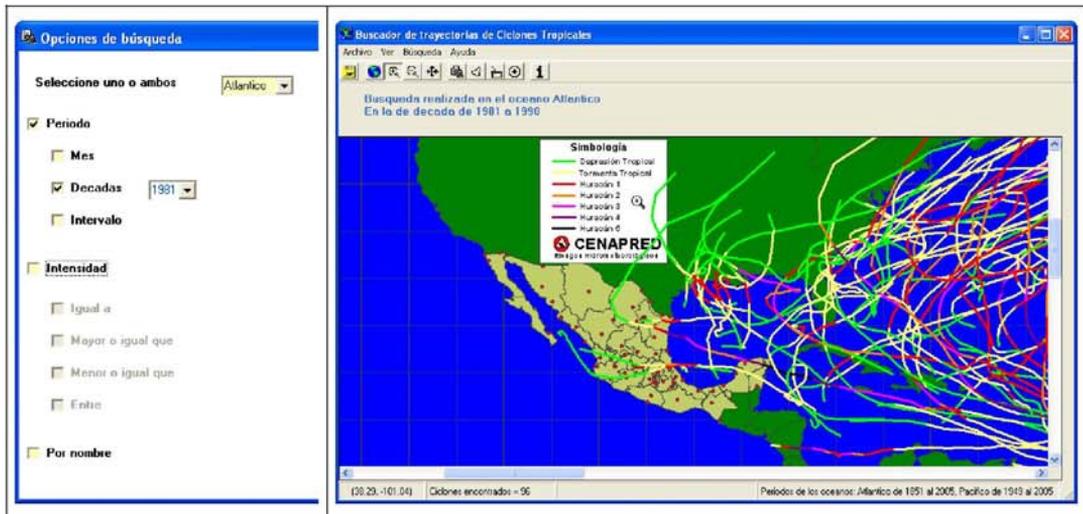


Figura 4.15 Búsqueda realizada para el océano Atlántico durante la década de 1980

Otro tipo de búsqueda, que se puede realizar dentro de la opción “periodo”, es por “intervalo”. Al activarla aparece una serie de casillas en las que se definen dos fechas que identifican el intervalo con el que se quiere trabajar. Es el filtro más abierto, ya que se puede hacer una búsqueda de “todo el registro” o bien para un solo día. En la figura 4.16 se presenta la búsqueda para 1985 desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre, en el océano Atlántico.

³ De acuerdo con el Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México se consideró que la década comienza en 1981 y termina en 1990, Rosengaus M., Jiménez, Vázquez (2002), Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México, CENAPRED-IMTA, 1ª edición, diciembre, México.

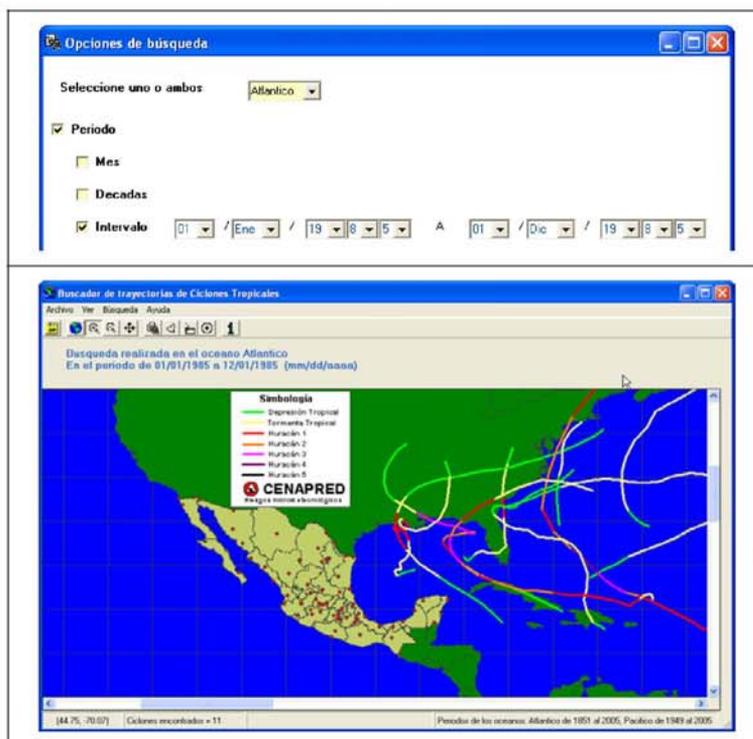


figura 4.16 Búsqueda realizada para el océano Atlántico correspondiente a 1985

En el siguiente apartado se pueden hacer búsquedas con respecto a la intensidad de los ciclones tropicales (depresión tropical, tormenta tropical, huracán de categoría 1, 2, 3, 4 ó 5). En general se pueden hacer filtros de las intensidades con los operadores lógicos más comunes: igual que, mayor o igual que, menor o igual que y un intervalo entre un valor y otro.

En la figura 4.17 se muestra la búsqueda realizada para los ciclones tropicales registrados en el océano Atlántico con una intensidad de Huracán categoría 5.

Para la figura 4.18 se aplicó un filtro para una intensidad mayor o igual que 3, dentro de todo el periodo de la base de datos.

En la figura 4.19 se muestra el resultado de los ciclones tropicales en el océano Atlántico con una intensidad menor o igual que 3.

Una búsqueda de todos los ciclones tropicales con intensidad entre 2 y 4, sólo en el océano Atlántico, es la correspondiente a la figura 4.20.

Por último, también se pueden realizar búsquedas por nombre. En este caso la búsqueda selecciona todos los ciclones tropicales cuyo nombre contenga la cadena que se pidió. Para el ejemplo, se buscaron los ciclones tropicales con el nombre de “Ana”; el resultado, además de “Ana” arrojó los nombres de “Nana” y “Diana” (figura 4.21).

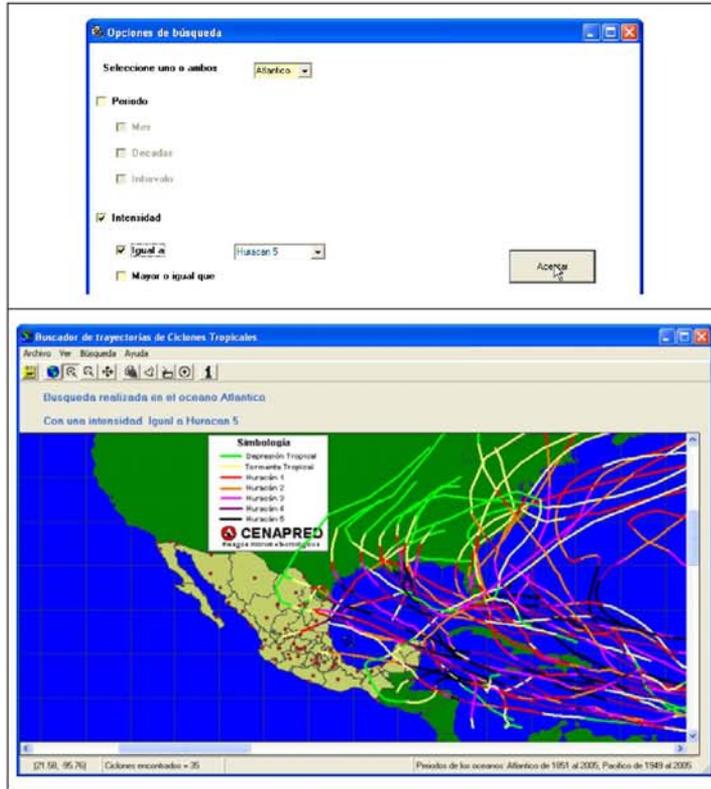


Figura 4.17 Búsqueda de los ciclones tropicales registrados en el océano Atlántico con intensidad de huracán categoría 5

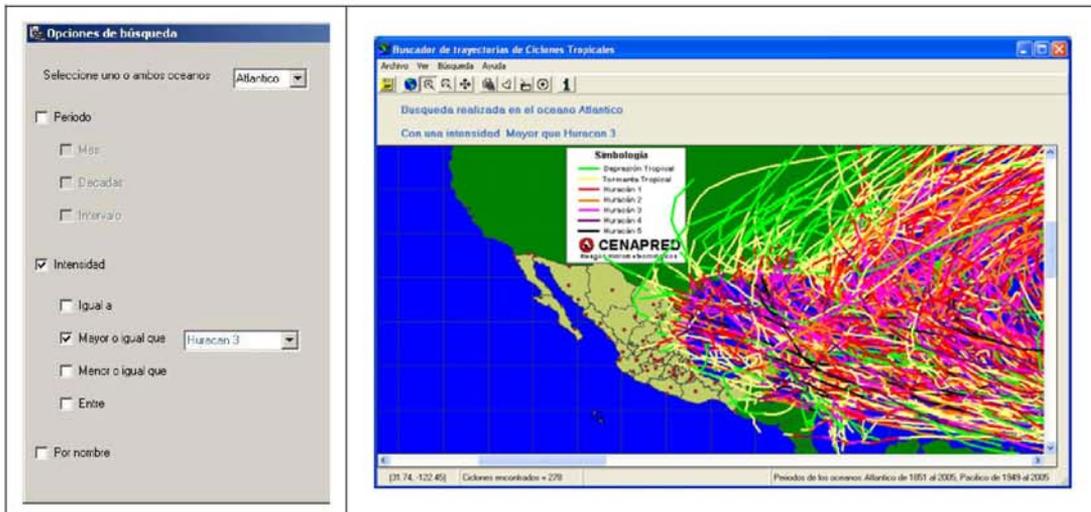


Figura 4.18 Búsqueda en el océano Atlántico, para una intensidad mayor o igual que 3

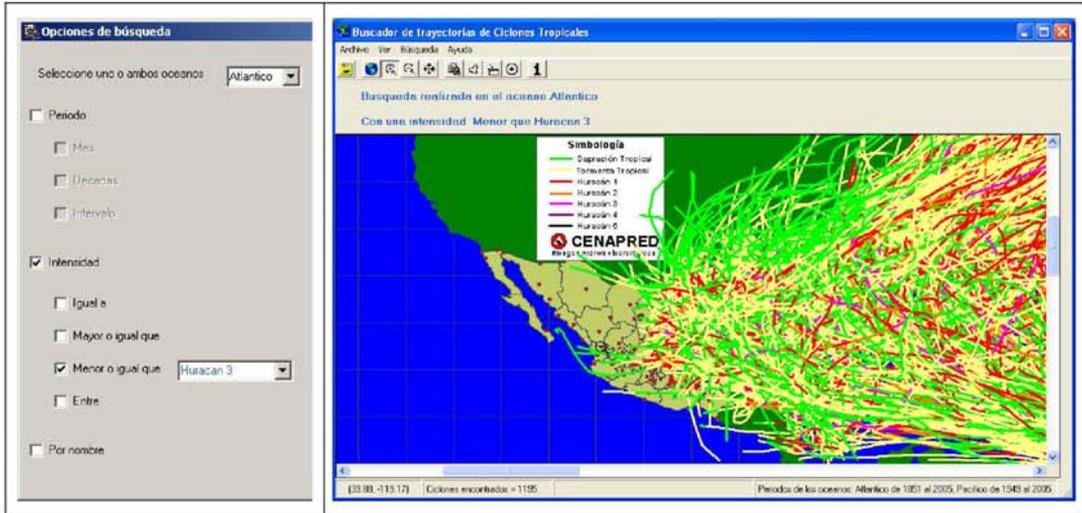


Figura 4.19 Búsqueda en el océano Atlántico para una intensidad menor o igual que 3

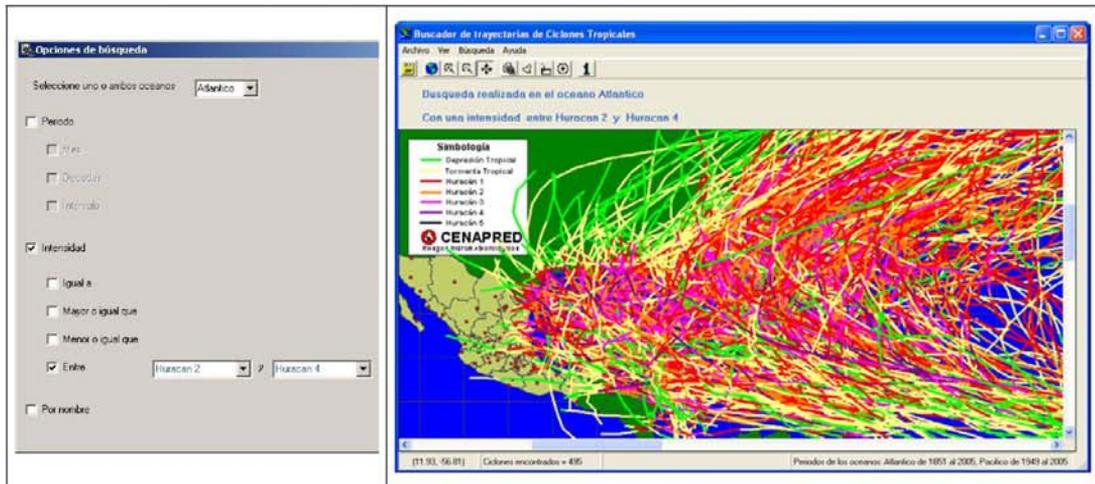


Figura 4.20 Búsqueda en el océano Atlántico para una intensidad entre huracán categoría 2 y huracán categoría 4

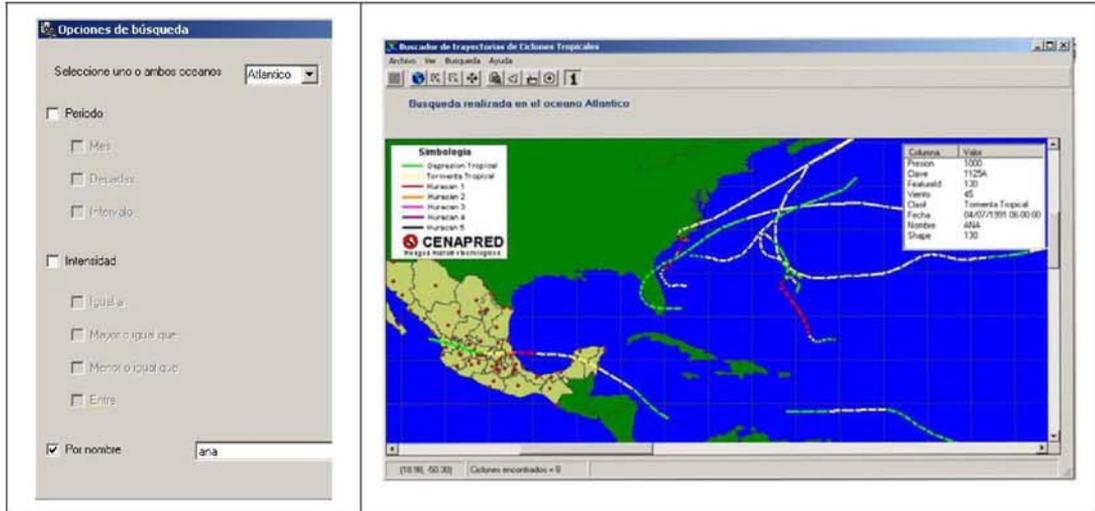


Figura 4.21 Búsqueda de los ciclones tropicales registrados en el océano Atlántico con el nombre de Ana

Además, se pueden hacer combinaciones entre las categorías de las búsquedas, por ejemplo, con el nombre de Ana, para el año del 2003 y con una intensidad de tormenta tropical (figura 4.22).

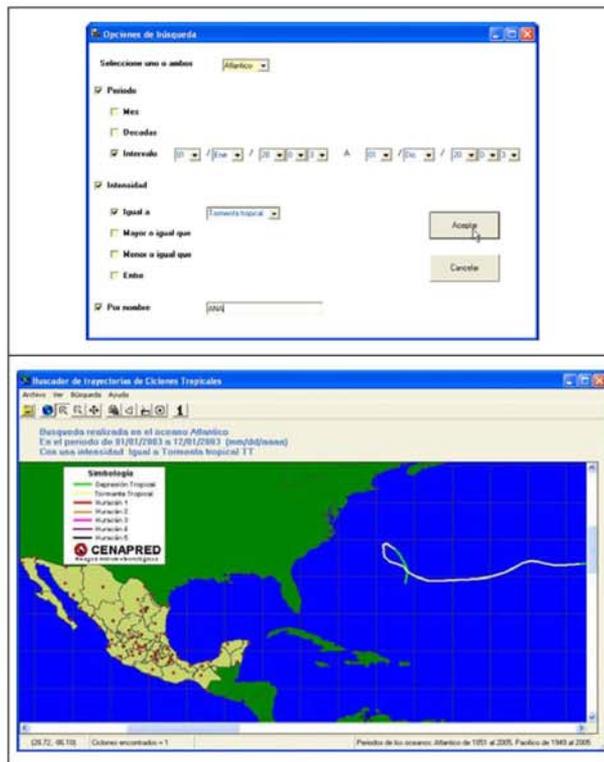


Figura 4.22 Búsqueda en el océano Atlántico, año 2003, intensidad tormenta tropical y con el nombre de Ana

4.3.2 Búsqueda dentro del visualizador

Con este tipo de búsqueda se pueden localizar las trayectorias que caen dentro de alguna figura geométrica (círculos, rectángulos o figuras asimétricas) dentro de una capa que ha sido cargada y previamente guardada.

Para todas las búsquedas realizadas dentro del visualizador, se utilizó la capa con todos los ciclones tropicales del océano Atlántico, del mes de septiembre, incluida en la carpeta “capas” que se crea al momento de instalar el programa; una vez que se abrió la capa, se activan los botones para realizar búsquedas dentro del visualizador como se ve en la figura 4.23.

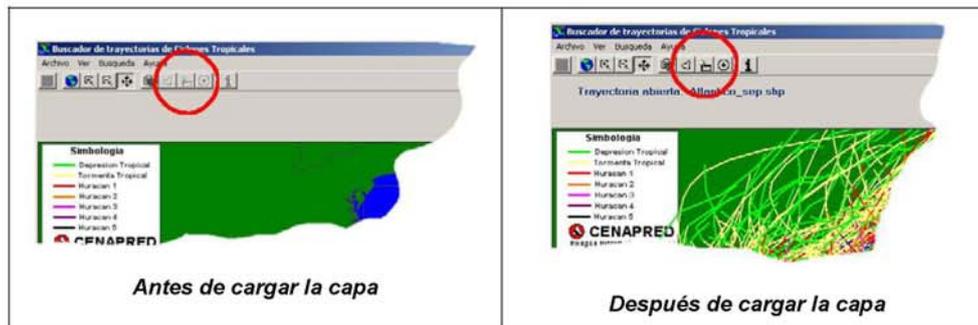


Figura 4.23 Activación de los iconos para búsquedas interactivas una vez cargada la capa

Búsqueda dentro de un rectángulo

Acceso por la Barra de Herramientas → iconos



Activando este comando, es posible definir la zona de búsqueda, de forma rectangular, oprimiendo el botón derecho del ratón manteniéndolo oprimido hasta cubrir la zona de interés. Mientras se desliza el ratón se puede observar el rectángulo que se va formando. En la figura 4.24 se presenta el resultado. Cabe destacar que en la barra de estado se observa el número de ciclones encontrados después de la búsqueda, así como los que conforman la capa donde se realiza la misma.

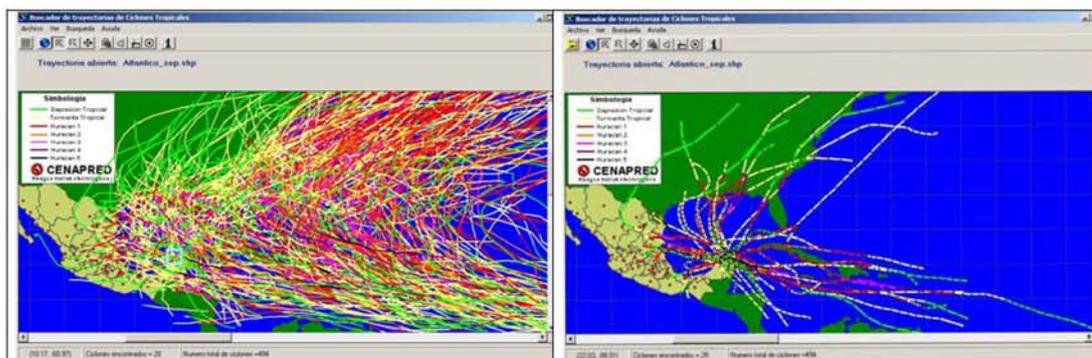


Figura 4.24 Búsqueda dentro de un rectángulo, en la capa del Atlántico del mes de septiembre

Búsqueda en una figura asimétrica

Acceso por la *Barra de Herramientas* → *iconos*



Al activar este ícono, el cursor cambia a una forma de lápiz. En este caso se puede introducir, como polígono de búsqueda, cualquier figura dando clic en cada sitio donde se desea ubicar un vértice. Para el ejemplo de la figura 4.25, se introdujo un polígono con la forma del estado de Nuevo León (tan preciso como se requiera); con ello el resultado corresponde al número de ciclones que han impactado en Nuevo León.

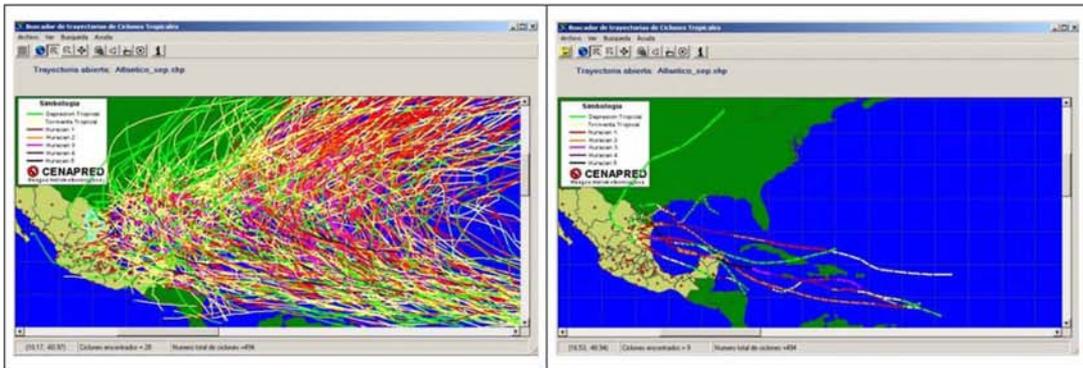


Figura 4.25 Búsqueda dentro de una figura asimétrica (Estado de Nuevo León)

Búsqueda dentro de un círculo

Acceso por la *Barra de Herramientas* → *icono*



Esta búsqueda utiliza un método diferente, ya que al inicio aparece la ventana de la figura 4.26, donde se requieren los siguientes datos:

- **Latitud y longitud**, son las coordenadas del centro del círculo. La longitud debe ser negativa; de lo contrario, internamente el programa interpretará ese valor como negativo.
- **Radio** define el área de interés para identificar las trayectorias que caen dentro de ella (en la ventana aparece un valor predeterminado de 100 km).

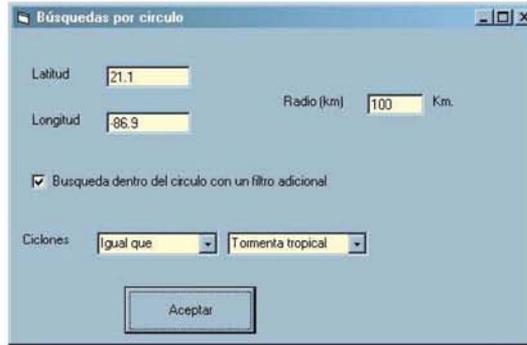


Figura 4.26 Ventana para la búsqueda con un círculo

En la figura 4.27 se presenta el resultado de la búsqueda realizada con las consideraciones presentadas en la figura anterior y seleccionando de antemano las trayectorias del océano Atlántico del mes de septiembre de todo el periodo.



Figura 4.27 Búsqueda dentro un círculo con un radio de 100 km

CONCLUSIONES

Se tiene un registro actualizado de todos los eventos que han ocurrido desde 1851 en el Atlántico y desde 1949 en el Pacífico hasta el año 2005. Se espera tener actualizaciones de la base de datos en línea disponibles para el público.

El uso del programa “Busca Ciclones” facilita la identificación de aquellos eventos que han afectado algún sitio que sea de interés, en la República Mexicana o, incluso, en el mar, como puede ser una isla.

Cuando se está registrando algún evento, en tiempo real, es posible saber cómo se han comportado históricamente los ciclones tropicales que han pasado cerca del la zona de interés y, de manera cualitativa, inferir un pronóstico de su trayectoria.

BIBLIOGRAFÍA

- Centro Nacional de Huracanes de Miami (National Hurricane Center, NHC), { HYPERLINK "http://www.nhc.noaa.gov/" }
- ESRI, (2004), "Manual de MapObjects 2.3", Environmental Systems Research Institute, Inc., E.U.A., Mayo.
- Microsoft, (2000), "Manual de Microsoft®, Access 2000", Microsoft Corporation, E.U.A.
- Microsoft, (2000), "Manual de Microsoft®, Visual Basic 6.0 (SP5)", Microsoft Corporation, E.U.A.
- Rosengaus M., Jiménez, Vázquez (2002), Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México, CENAPRED-IMTA, 1ª edición, diciembre, México.



SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA

**Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana
Coordinación Nacional de Protección Civil
Centro Nacional de Prevención de Desastres**

Av. Delfín Madrigal núm. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Alc. Coyoacán, Ciudad de México C.P. 04360

www.gob.mx/cenapred