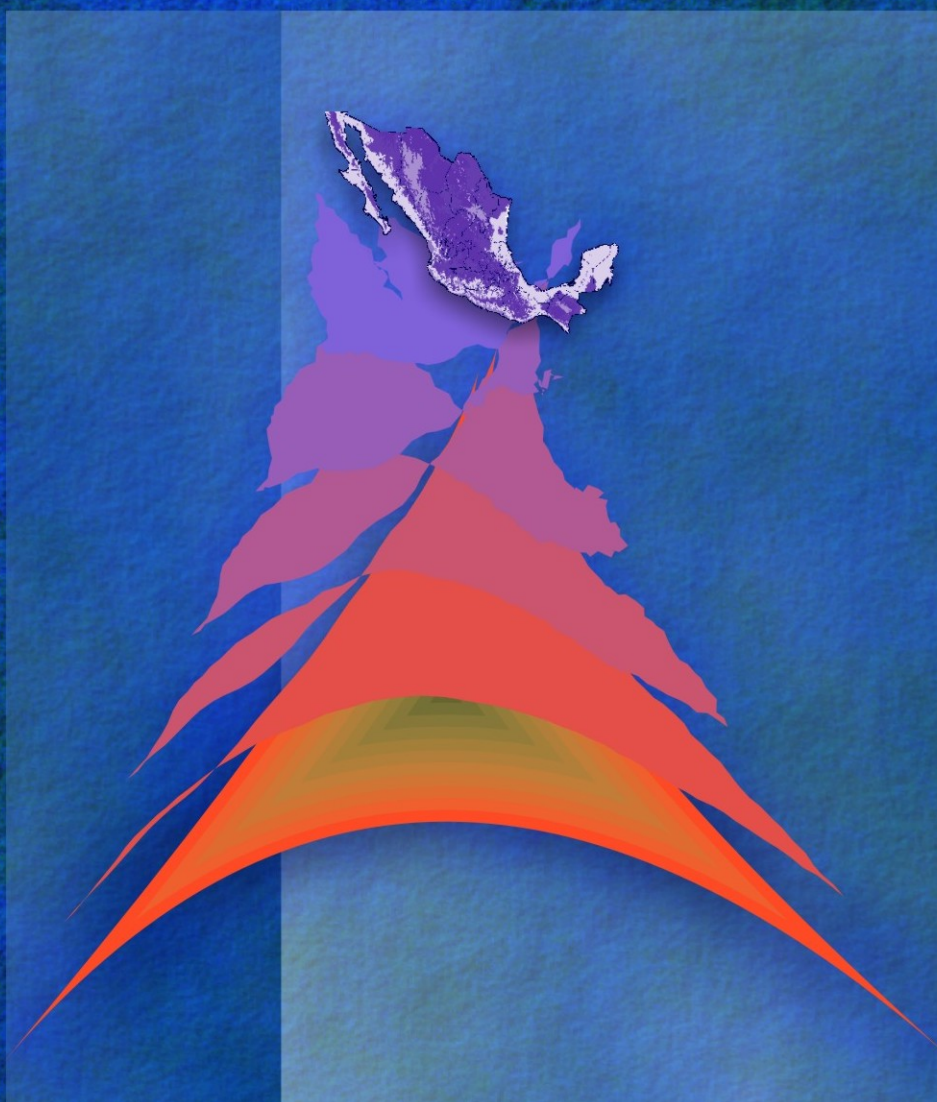


Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos

Versión 2004



SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Lic. Santiago Creel Miranda

Secretario de Gobernación

Lic. María del Carmen Segura Rangel

Coordinadora General de Protección Civil

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

M. en I. Roberto Quaas Weppen

Director General

Dirección de Investigación

Ing. Enrique Guevara Ortiz

Director de Instrumentación y Cómputo

M. en I. Tomás Alberto Sánchez Pérez

Director de Difusión

Lic. Gloria Luz Ortiz Espejel

Directora de Capacitación

Lic. Luz María Flores Guerrero

Directora de Administración

Profra. Carmen Pimentel Amador

Directora de Servicios Técnicos

1ª edición, diciembre 2004

©SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

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

©CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Av. Delfín Madrigal Núm. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Deleg. Coyoacán, C.P.04360, México, D.F.

Teléfonos:

(55) 54 24 61 00

(55) 56 06 98 37

Fax: (55) 56 06 16 08

e-mail: editor@cenapred.unam.mx

www.cenapred.unam.mx

©Autores:

Lineamientos generales para la elaboración de Atlas de Riesgos

Enrique Guevara Ortiz, Roberto Quaas Weppen y Georgina Fernández Villagómez

Aspectos geográficos y tecnológicos

Oscar Zepeda Ramos

Integración de información para la estimación del peligro sísmico

Carlos Antonio Gutiérrez Martínez

Elaboración de mapas de peligros volcánicos

Alicia Martínez Bringas, Ángel Gómez Vázquez y Servando De la Cruz-Reyna

Estimación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos en laderas

Manuel J. Mendoza López y Leobardo Domínguez Morales

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

Héctor Eslava Morales, Martín Jiménez Espinosa, Marco Salas Salinas, Fermín García Jiménez y María Teresa Vázquez Conde

Identificación de peligros y riesgos químicos

Rubén Darío Rivera Balboa, María Esther Arcos Serrano, Cecilia Izcapa Treviño y Enrique Bravo Medina

Evaluación de la vulnerabilidad ante sismo y viento

*Carlos Reyes Salinas, Leonardo Flores Corona, Miguel Ángel Pacheco Martínez, Oscar López Batíz,
Luis Ángel Valerio Zárate y Oscar Zepeda Ramos*

Estimación de la vulnerabilidad social

Norlang García Arróliga, Rafael Marín Cambranis y Karla Méndez Estrada

Revisores: Tomás A. Sánchez Pérez, Enrique Guevara Ortiz y Roberto Quaas Weppen

ISBN: 970-628-872-4

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

Portada: María José Aguas Ovando

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

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

Versión 2004



CONTENIDO

PRÓLOGO	9

ASPECTOS GENERALES SOBRE RIESGOS Y CARTOGRAFÍA

CAPÍTULO I. LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS	15
1.1 INTRODUCCIÓN	15
1.2 ANTECEDENTES	16
1.3 DEFINICIONES Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES	17
1.3.1 El ciclo de la prevención	17
1.3.2 Conceptos fundamentales sobre riesgo	19
1.4 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	22
1.4.1 Identificación de los fenómenos naturales y antrópicos que pueden afectar una zona en estudio	22
1.4.2 Determinación del peligro asociado a los fenómenos identificados	23
1.4.3 Identificación de los sistemas expuestos y su vulnerabilidad	24
1.4.4 Evaluación de los diferentes niveles de riesgo asociado al tipo de fenómeno tanto natural como antropogénico	25
1.4.5 Integración de la información sobre los fenómenos naturales o antropogénicos, peligro, vulnerabilidad y riesgo considerando los recursos técnicos y humanos	26
1.5 CONCEPTUALIZACIÓN DE UN ATLAS NACIONAL DE RIESGOS	26
1.5.1 Diseño conceptual	26
1.5.2 Algunos productos esperados del ANR	27
CONCLUSIONES	28
BIBLIOGRAFÍA	29

CAPÍTULO II. ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y TECNOLÓGICOS	31
RESUMEN	31
OBJETIVOS	31
2.1 INTRODUCCIÓN	31
2.2 NIVELES DE COMPLEJIDAD	32
2.2.1 Mapas de inventario	32
2.2.2 Mapas de peligro	33
2.2.3 Mapas de riesgo	34
2.3 NIVELES DE PERCEPCIÓN DEL RIESGO	36
2.3.1 Percepción comunitaria	37
2.3.2 Políticas institucionales	37
2.3.3 Conocimiento científico	39
2.4 ASPECTOS GEOESTADÍSTICOS	40
2.4.1 Representaciones del terreno	40
2.4.2 Sistema de coordenadas geográficas	41
2.4.3 Proyecciones cartográficas comúnmente utilizadas en México	42
2.4.4 Sistema de referencia oficial para México (INEGI)	43
2.4.5 Escalas cartográficas comúnmente utilizadas en México	45
2.4.6 Los símbolos del mapa	46
2.4.7 La representación del relieve en los mapas	47
2.4.8 Cartografía recomendada	49
2.4.9 ¿Cómo obtener datos geoestadísticos?	51
CONCLUSIONES	52
GLOSARIO	53
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	57

FENÓMENOS GEOLÓGICOS

CAPÍTULO III. INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO 61

RESUMEN	61
3.1 INTRODUCCIÓN.....	61
3.1.1 Antecedentes	61
3.2 CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE SISMICIDAD.....	62
3.2.1 Zonas sísmicas en México	62
3.2.2 Intensidad sísmica.....	63
3.2.3 Magnitud sísmica	64
3.2.4 Instrumentación sísmica.....	65
3.2.5 Tsunamis.....	65
3.2.6 Licuación de arenas	66
3.3 FUENTES ESENCIALES DE INFORMACIÓN	67
3.3.1 Observatorios Sismológicos y Centros de Investigación	67
3.3.2 Mapas.....	69
3.3.3 Investigaciones bibliográficas recomendadas	76
3.3.4 Catálogos de sismos y tsunamis	76
3.4 ESTUDIOS DE SITIO	81
3.4.1 Introducción	81
3.4.2 Estudios de geología superficial	82
3.4.3 Zonificación geotécnica de valles aluviales	83
3.4.4 Microzonificación sísmica	84
3.5 ALGUNAS APLICACIONES PARA EL ESTADO DE COLIMA.....	89
CONCLUSIONES	92
GLOSARIO	93
BIBLIOGRAFÍA.....	97

CAPÍTULO IV. ELABORACIÓN DE MAPAS DE PELIGROS VOLCÁNICOS.....99

RESUMEN	99
4.1 INTRODUCCIÓN.....	99
4.1.1 Volcanes de México	100
4.2 IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO	104
4.2.1 Vulcanismo.....	104
4.2.2 Identificación de un volcán activo.....	107
4.2.3 Peligros volcánicos.....	108
4.3 DIAGNÓSTICO DE PELIGROS VOLCÁNICOS	112
4.3.1 Mapas de peligros volcánicos	113
4.3.2 Criterios de evaluación de la vulnerabilidad	115
4.3.3 Riesgo volcánico	119
4.3.4 Metodología a seguir para determinar la peligrosidad volcánica en un área.....	119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
GLOSARIO	128
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	133

CAPÍTULO V. ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA Y EL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE LADERAS....135

RESUMEN	135
5.1 INTRODUCCIÓN.....	135
5.1.1 Alcances y objetivos	137
5.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS EN LADERAS Y CONCEPTOS SOBRE PELIGRO, AMENAZA Y RIESGO	138
5.2.1 Los tres tipos básicos de deslizamientos	138
5.2.2 Terminología y conceptos usados en el campo de deslizamiento de laderas	140
5.3 FACTORES QUE DETERMINAN LA INESTABILIDAD DE LADERAS	144
5.3.1 Factor de seguridad	144
5.3.2 Factores internos.....	145
5.3.3 Factores externos.....	147
5.3.4 Causas humanas o antrópicas	154
5.4 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA PARA IDENTIFICAR EL PELIGRO DE DESLIZAMIENTOS	154
5.4.1 Incertidumbres y enfoque cualitativo de análisis	154
5.4.2 Investigación de la historia de desastres y reconocimiento de campo	156
5.4.3 Rasgos geológicos y geomorfológicos que propician inestabilidades	157
5.4.4 Reconocimiento de campo	158

5.5	CRITERIOS PARA ESTIMAR LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTOS.....	162
5.5.1	Un criterio simple para identificar el peligro de deslizamiento	162
5.5.2	Proceso para la estimación de la amenaza y del riesgo.....	162
5.5.3	Estimación de atributos geotécnicos, topográficos y ambientales.....	163
5.5.4	Estimación del grado de amenaza de deslizamiento de una ladera.....	166
5.5.5	Velocidad y distancia de recorrido.....	167
5.5.6	Intensidad del peligro de deslizamiento	168
5.5.7	Análisis de la probabilidad de deslizamientos y de su intensidad	169
5.5.8	Influencia de los factores externos en la amenaza global	172
5.6	CONSIDERACIONES PARA ESTIMAR EL RIESGO DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS	174
5.6.1	Enfoques del análisis del riesgo	174
5.6.2	Determinación de los elementos en riesgo.....	174
5.6.3	Estimación de vulnerabilidades	175
5.6.4	Análisis del riesgo	175
5.6.5	Administración del riesgo	175
5.7	RECAPITULACIÓN	176
	REFERENCIAS	177

FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

CAPÍTULO VI. ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES Y AVENIDAS		
SÚBITAS EN ZONAS RURALES, CON ARRASTRE DE SEDIMENTOS		181
	RESUMEN.....	181
6.1	INTRODUCCIÓN.....	181
6.2	IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO POR INUNDACIONES Y AVENIDAS SÚBITAS, Y ARRASTRE DE SEDIMENTOS	182
6.2.1	Identificación del arroyo.....	182
6.2.2	Visita al sitio	183
6.2.3	Identificación de la cuenca del arroyo	183
6.2.4	Clasificación de las cuencas hidrológicas	183
6.2.5	Características fisiográficas de la cuenca	185
6.2.6	Tipo de suelo	189
6.2.7	Cubierta vegetal	191
6.2.8	Estimación del escurrimiento a la salida de la cuenca	191
6.2.9	Determinación del área hidráulica requerida	199
6.2.10	Levantamiento topográfico del arroyo	200
6.2.11	Comparación entre el área hidráulica requerida y el área geométrica	205
6.2.12	Determinación de las zonas inundables	205
6.3	CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA.....	206
6.3.1	Tipología de la vivienda.....	206
6.3.2	Funciones de vulnerabilidad para el menaje de casa.....	209
6.4	EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	215
6.5	APLICACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES Y AVENIDAS SÚBITAS, Y ARRASTRE DE SEDIMENTOS.....	221
6.5.1	Identificación de la cuenca del arroyo	221
6.5.2	Características fisiográficas de la cuenca	221
6.5.3	Estimación del escurrimiento crítico a la salida de la cuenca.....	229
6.5.4	Determinación del área hidráulica permisible.....	230
6.5.5	Levantamiento topográfico del arroyo	231
6.5.6	Determinación del área geométrica de las secciones transversales	231
6.5.7	Comparación entre el área hidráulica permisible y el área geométrica	234
6.5.8	Determinación de las zonas inundables	234
6.5.9	Identificación de la vulnerabilidad.....	235
6.5.10	Identificación del riesgo por inundación	239
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	244
	GLOSARIO	245
	BIBLIOGRAFÍA.....	247

FENÓMENOS QUÍMICOS

CAPÍTULO VII. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y RIESGOS QUÍMICOS	251
RESUMEN.....	251
7.1 INTRODUCCIÓN.....	251
7.1.1 Accidentes con sustancias químicas.....	251
7.1.2 Efectos de los accidentes con sustancias químicas.....	252
7.2 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y ANÁLISIS DE RIESGOS QUÍMICOS	252
7.2.1 Atlas de riesgo.....	252
7.2.2 Identificación de peligros a nivel municipal.....	252
7.2.3 Análisis de riesgo	257
7.3 DETERMINACIÓN DE ZONAS VULNERABLES	262
7.4 RECURSOS PARA LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS	263
7.5 MAPAS DE PELIGROS Y DE RIESGO.....	264
7.5.1 Información básica	265
7.5.2 Procedimientos para la elaboración de mapas de peligros	266
7.5.3 Ejemplo de Aplicación del “Procedimiento para la elaboración del mapa de peligro debido al almacenamiento de sustancias peligrosas”	282
CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES	287
APENDICE 7 A	289
APENDICE 7 B	295
APENDICE 7 C	296
APENDICE 7 D	302
APENDICE 7 E	303
GLOSARIO.....	304
BIBLIOGRAFÍA.....	307

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

CAPÍTULO VIII. EVALUACIÓN SIMPLIFICADA DE LA VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA UNIFAMILIAR ANTE SISMO Y VIENTO	311
RESUMEN.....	311
8.1 INTRODUCCIÓN.....	311
8.2 CONCEPTOS GENERALES DE VULNERABILIDAD Y ESCENARIOS DE RIESGO.....	312
8.2.1 Conceptos generales para evaluar la vulnerabilidad	312
8.2.2 Construcción de escenarios	313
8.3 CRITERIO SIMPLIFICADO PARA EVALUAR CUALITATIVAMENTE LA VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA DE BAJO COSTO ANTE LA ACCIÓN DE SISMO O VIENTO.....	314
8.3.1 Introducción.....	314
8.3.2 Requerimientos y fuentes de información	314
8.3.3 Factores que influyen en la vulnerabilidad de la vivienda de bajo costo ante el efecto de sismo o viento	315
8.3.4 Clasificación de la vivienda de bajo costo según la acción de viento o sismo.....	316
8.3.5 Formato de levantamiento de tipologías.....	325
8.4 CRITERIO CUALITATIVO PARA EVALUAR EL RIESGO DE LA VIVIENDA DE BAJO COSTO ANTE LA ACCIÓN DE SISMO O VIENTO	327
8.4.1 Introducción.....	327
8.4.2 Índice de riesgo	327
8.4.3 Aplicaciones del índice de riesgo físico (IRF).....	330
8.4.4 Criterio para estimar el índice de riesgo de forma cualitativa	333
8.4.5 Ejemplos de mapas calculados	333
8.5 COMENTARIOS FINALES	336
REFERENCIAS	336
GLOSARIO	337

CAPÍTULO IX. ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL	339
RESUMEN	339
9.1 INTRODUCCIÓN	339
9.2 FUENTES DE INFORMACIÓN	341
9.3 INDICADORES SOCIOECONÓMICOS DE LA GUÍA METODOLÓGICA	342
9.3.1 Salud	343
9.3.2 Educación	344
9.3.3 Vivienda	346
9.3.4 Empleo e Ingresos	350
9.3.5 Población	351
9.4 CAPACIDAD DE PREVENCIÓN Y RESPUESTA Y PERCEPCIÓN LOCAL	353
9.4.1 Percepción local	359
9.5 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIAL	365
9.5.1 Primera etapa	365
9.5.2 Segunda etapa	365
9.6 CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES	368
GLOSARIO	370
BIBLIOGRAFÍA	376
ANEXO CÉDULA (PRIMERA PARTE)	377
GRADO DE VULNERABILIDAD	381
EJEMPLO	381

LISTA DE PUBLICACIONES RELACIONADAS CON LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y RIESGOS	387

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 amplia 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 inicia con este primer volumen una nueva serie de publicaciones vinculadas con el Atlas Nacional de Riesgos. Su objetivo es ser el vehículo para 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 la valorar el riesgo y establecer las medidas de mitigación y preparación necesarias.

En este sentido la presente *Guía Básica para la elaboración de Atlas Municipales y Estatales de Peligros y Riesgos* es un documento introductorio al tema. Se deriva de las recientes experiencias y trabajos de investigación desarrollados en el Cenapred, por lo tanto no pretende ser ni un documento terminado, ni tampoco exhaustivo, es sencillamente una primer contribución orientada a clarificar conceptos, formular esquemas sencillos y accesibles para que los usuarios integren, paso a paso, información sobre algunos de los principales peligros y riesgos a los que estamos expuestos. Obviamente no abarca todo los fenómenos que idealmente deberían estar contemplados en un atlas; éstos se irán incorporando en futuros documentos de esta serie, conforme se avanza en las investigaciones y se logran sistematizar las metodologías correspondientes. Es necesario tomar en cuenta que los trabajos que presentan las distintas áreas del Centro, en su mayoría son pioneros, como es el tema de los atlas de riesgo, en el que México, sin a lugar a duda, está haciendo un trabajo de vanguardia.

El paso importante que ahora habrá que dar con esta guía, es integrar grupos locales de técnicos para aplicar y calibrar las metodologías, quizá a través de proyectos piloto y retroalimentar

a los especialistas que las diseñaron con la experiencia de campo. De lograrse esta dinámica, se habrán dado pasos firmes para avanzar rápidamente hacia la integración de los atlas municipales, luego estatales y finalmente 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 meta, ponemos a las órdenes de las entidades estatales y municipales y a la población en general, todos nuestros recursos tecnológicos y humanos disponibles.

Roberto Quaas W.



Aspectos Generales sobre Riesgos y Cartografía

I. LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS

Enrique Guevara Ortiz, Roberto Quaas Weppen y Georgina Fernández Villagómez

1.1 INTRODUCCIÓN

Para un país en proceso de cambio cuyo objetivo es lograr un desarrollo humano integral, equitativo y sustentable, las cifras anuales de pérdidas provocadas por el embate de los fenómenos naturales constituyen una condición inaceptable. Sin duda alguna se ha avanzado, sin embargo, son aún insuficientes los logros y es necesario por lo tanto, invertir mayores esfuerzos y recursos para transitar de un esquema reactivo a uno preventivo. Por ello es indispensable establecer estrategias, políticas y programas de largo alcance enfocados a prevenir y reducir el efecto de los fenómenos perturbadores con la coparticipación y corresponsabilidad de los diferentes niveles de gobierno, sectores social y privado.

Este cambio de estrategia debe lograr que la sociedad sea capaz de afrontar los peligros naturales y generados por el hombre asegurando al mismo tiempo que el desarrollo no incremente su vulnerabilidad y por ende el riesgo. Sólo así se podrá garantizar un país menos vulnerable y una población más preparada y segura.

Como se verá más adelante, el punto de partida y un requisito esencial para la puesta en práctica de las acciones de protección civil y políticas de prevención y mitigación del impacto de los desastres, es contar con un **diagnóstico de riesgos**, es decir, conocer las características de los eventos que pueden tener consecuencias desastrosas y determinar la forma en que estos eventos inciden en los asentamientos humanos, en la infraestructura y en el entorno. Una manera efectiva para integrar esta información y hacerla disponible a un amplio número de usuarios, es a través de un Atlas. La cartografía digital y los sistemas informáticos modernos ofrecen una herramienta de gran utilidad para la representación de peligros y riesgos a diferentes escalas y detalles, así como la generación de diferentes escenarios a través de modelos y simulaciones.

De acuerdo con la Ley General de Protección Civil (LGPC) en su artículo 12, fracción XVI, es atribución de la Secretaría de Gobernación desarrollar y actualizar el Atlas Nacional de Riesgos. Para tal efecto, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), como apoyo técnico del Sistema Nacional de Protección Civil, se ha dado a la tarea de emprender el desarrollo del mismo.

El reto que se ha establecido es la integración de un sistema de información sobre el riesgo de desastres detallado a nivel municipal y de comunidades en zonas de riesgo. La integración de este **Atlas Nacional de Riesgos (ANR)**, demandará un enorme esfuerzo de investigación, recopilación de datos, trabajo de campo, y sobre todo de coordinación multi-institucional, siendo indispensable la participación de los tres niveles de gobierno, las autoridades de Protección Civil, organizaciones públicas y privadas, así como la población en general.

El ANR será consistente con los atlas estatales y municipales de riesgos. Importante entonces, para su implementación, es contar con diagnósticos a nivel local, partiendo de criterios homogéneos y siguiendo una metodología común. Es por esta razón que el CENAPRED ha encaminado sus esfuerzos para proponer lineamientos generales y criterios uniformes para

identificar y cuantificar los peligros, establecer las funciones de vulnerabilidad y estimar el grado de exposición.

El objetivo de este documento es proporcionar una guía metodológica general para la implementación de atlas de riesgos.

1.2 ANTECEDENTES

Los antecedentes del ANR se remontan a 1991, cuando la Secretaría de Gobernación publicó una primera versión general del “Atlas Nacional de Riesgos” y más recientemente el “Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en la República Mexicana” elaborado por el CENAPRED en 2001. En los últimos años, varias entidades federativas han elaborado sus respectivos atlas y otras se encuentran desarrollándolos.



Figura 1.1 Antecedentes del ANR: a) *Atlas Nacional de Riesgos*. SEGOB, 1991, b) *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México*, CENAPRED

Las herramientas actuales para el manejo de información, así como los avances logrados en la identificación del peligro y el desarrollo de modelos para su representación, han permitido cambiar el enfoque tradicional de un Atlas de Riesgos, de ser una colección de mapas, a un sistema integral de información que permita evaluar el riesgo de desastres a diferentes niveles y escalas, que permita la realización de simulaciones y escenarios, y muy importante, que pueda ser actualizado fácilmente y se mantenga vigente.

1.3 DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS

1.3.1 El Ciclo de la prevención

México se encuentra situado en una región afectada por diversos fenómenos naturales y generados por el hombre, que anualmente causan daños, pérdidas económicas y lamentablemente pérdida de vidas humanas. El país se encuentra situado en una zona de alta actividad sísmica y volcánica provocada por el movimiento de 5 placas tectónicas. Es por ello que dos terceras partes del territorio se encuentran en zonas de alto y muy alto peligro sísmico. Asimismo del gran número de volcanes que existen, 14 de ellos se les considera activos ya que han tenido actividad eruptiva en tiempos históricos.

La ubicación del país y sus características geográficas favorecen también la presencia de fenómenos hidrometeorológicos, como los 25 huracanes que en promedio se generan anualmente afectando principalmente las zonas costeras en ambos litorales. Asociadas a estos fenómenos también se presentan lluvias torrenciales que provocan inundaciones y deslaves. Por el contrario, algunas regiones del país se ven afectadas por escasez de agua durante tiempos prolongados dando lugar a sequías. Algunas otras regiones se ven afectadas por sistemas invernales. Adicionalmente existen fenómenos como los incendios forestales, marea roja, y las actividades humanas relacionadas la industria y el manejo de materiales peligrosos, que igualmente afectan año con año al país.

Por sus efectos, los desastres pueden tener importantes consecuencias en el ámbito económico y social, en el desarrollo de una región e inclusive llegar a comprometer la seguridad nacional. Por tanto, su impacto puede incidir significativamente en el bienestar y calidad de vida de sus habitantes. Así, en las últimas dos décadas (1980-1999), los efectos causados por los desastres en México significaron, en promedio anual, pérdidas de 500 vidas humanas y daños materiales por 700 millones de dólares. [Bitrán D., 2001].



Figura 1.2 *México se encuentra situado en una región que es afectada por diversos fenómenos naturales y generados por el hombre, que anualmente causan daños, pérdidas económicas y lamentablemente también de vidas humanas*

Un elemento clave para lograr reducir el impacto destructivo que provocan los fenómenos naturales o antropogénicos, es la implementación de una efectiva estrategia de **prevención**. Para ello es necesario tomar acciones en cada una de las etapas identificadas del ciclo de la prevención mostrado en la figura 1.3.



Figura 1.3 Ciclo de la Prevención

Estas etapas incluyen:

Identificación de Riesgos: conocer los peligros y amenazas a los que se está expuesto; estudiar y conocer los fenómenos perturbadores identificando dónde, cuándo y cómo afectan. Identificar y establecer, a distintos niveles de escala y detalle, las características y niveles actuales de riesgo, entendiendo el riesgo como el productor del peligro (agente perturbador), la vulnerabilidad (propensión a ser afectado) y la exposición (el valor del sistema afectable).

Mitigación y prevención: basado en la identificación de riesgos, consiste en diseñar acciones y programas para mitigar y reducir el impacto de los desastres antes de que éstos ocurran.

Incluye la implementación de medidas estructurales y no estructurales para reducción de la vulnerabilidad o la intensidad con la que impacta un fenómeno: planeación del uso de suelo, aplicación de códigos de construcción, obras de protección, educación y capacitación a la población, elaboración de planes operativos de protección civil y manuales de procedimientos, implementación de sistemas de monitoreo y de alerta temprana, investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de mitigación, preparación para la atención de emergencias (disponibilidad de recursos, albergues, rutas de evacuación, simulacros, etc.).

Atención de emergencias: se refiere a acciones que deben tomarse inmediatamente antes, durante y después de un desastre con el fin de minimizar la pérdida de vidas humanas, sus bienes y la planta productiva, así como preservar los servicios públicos y el medio ambiente, sin olvidar la atención prioritaria y apoyo a los damnificados.

Recuperación y reconstrucción: acciones orientadas al restablecimiento y vuelta a la normalidad del sistema afectado (población y entorno). Esta etapa incluye la reconstrucción y mejoramiento de infraestructura y servicios dañados o destruidos.

Evaluación del impacto e incorporación de la experiencia: consiste en valorar el impacto económico y social, incluyendo daños directos e indirectos. Tiene entre otras ventajas: determinar la capacidad del gobierno para enfrentar las tareas de reconstrucción, fijar las prioridades y determinar los requerimientos de apoyo y financiamiento, retroalimentar el diagnóstico de riesgos con información de las regiones más vulnerables y de mayor impacto histórico y calcular la relación costo-beneficio de inversión en acciones de mitigación.

La experiencia adquirida en las etapas anteriores del ciclo de la prevención debe incorporarse para redefinir políticas de planeación, mitigación y reducción de vulnerabilidades, y evitar la reconstrucción del riesgo, es decir que un mismo fenómeno vuelva a impactar en el futuro de manera semejante.

1.3.2 Conceptos fundamentales sobre riesgo

El tema del riesgo dentro de la prevención de desastres ha sido tratado y desarrollado por diversas disciplinas que han conceptualizado sus componentes de manera diferente, aunque en la mayoría de los casos de manera similar. Un punto de partida es que los riesgos están ligados a actividades humanas. La existencia de un riesgo implica la presencia de un **agente perturbador** (fenómeno natural o generado por el hombre) que tenga la probabilidad de ocasionar **daños** a un **sistema afectable** (asentamientos humanos, infraestructura, planta productiva, etc.) en un grado tal, que constituye un **desastre** (ver figura 1.4). Así, un movimiento del terreno provocado por un sismo no constituye un riesgo por sí mismo. Si se produjese en una zona deshabitada, no afectaría ningún asentamiento humano y por tanto, no produciría un desastre.

En términos cualitativos, se entiende por **Riesgo** la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores. La probabilidad de ocurrencia de tales eventos en un cierto sitio o región constituye una **amenaza**, entendida como una condición latente de posible generación de eventos perturbadores.



Figura 1.4 Esquema de riesgo

En forma cuantitativa se ha adoptado una de las definiciones más aceptadas del riesgo, entendido como la función de tres factores: la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino, es decir el peligro, la vulnerabilidad y el valor de los bienes expuestos. Esta definición se expresa en la ecuación de la figura 1.5. A continuación se analiza brevemente cada uno de estos conceptos y las características que deben tener en el análisis de riesgo.

$$\text{Riesgo} = f(\text{Peligro, Vulnerabilidad, Exposición})$$

$$R = f(P, V, E)$$

Figura 1.5 Definición de riesgo

El **Peligro** se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado.

Para el estudio de los peligros, es importante definir los fenómenos perturbadores mediante parámetros cuantitativos con un significado físico preciso que pueda medirse numéricamente y ser asociado mediante relaciones físicas con los efectos del fenómeno sobre los bienes expuestos. En la mayoría de los fenómenos pueden distinguirse dos medidas, una de magnitud y otra de intensidad. La **magnitud** es una medida del tamaño del fenómeno, de su potencial destructivo y de la energía que libera. La **intensidad** es una medida de la fuerza con que se manifiesta el fenómeno en un sitio dado. Por ello un fenómeno tiene una sola magnitud, pero tantas intensidades como son los sitios en que interese determinar sus efectos. Por ejemplo, en los sismos, la magnitud se define en términos de la energía liberada por el súbito movimiento de las placas tectónicas y se mide en la escala de Richter. La intensidad sísmica refleja, en cambio, el grado de movimiento que experimenta el terreno en un sitio dado, lo que dependerá fundamentalmente de la distancia del sitio al epicentro y de las características del terreno en el sitio. La intensidad se mide a través de la escala de Mercalli. Para algunos fenómenos, la distinción entre magnitud e intensidad no es tan clara, pero en términos generales el peligro está más asociado a la intensidad del fenómeno que a su magnitud, o sea más a las manifestaciones o efectos que el fenómeno puede presentar en el sitio de interés, que a las características básicas del fenómeno mismo. En este sentido, el estudio del peligro lleva a la construcción de escenarios, es decir, a la representación de los efectos del fenómeno en la región de interés.

La forma más común de representar el carácter probabilístico del fenómeno es en términos de un **periodo de retorno** (o de recurrencia), que es el lapso que en promedio transcurre entre la ocurrencia de fenómenos de cierta intensidad. El concepto de periodo de retorno, en términos probabilísticas, no implica que el proceso sea cíclico, o sea que deba siempre transcurrir cierto tiempo para que el evento se repita. En ocasiones se utiliza también el inverso del periodo de retorno llamada **tasa de excedencia**, definida como el número medio de veces, en que por unidad de tiempo, ocurre un evento que exceda cierta intensidad. Para muchos de los fenómenos no es posible representar el peligro en términos de periodos de retorno, porque no ha sido posible contar con la información suficiente para este tipo de representación. En estos casos se recurre a escalas cualitativas, buscando las representaciones de uso más común y de más utilidad para las aplicaciones en el tema específico.

La **Vulnerabilidad** se define 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. En términos generales pueden distinguirse dos tipos: la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social. La primera es más factible de cuantificarse en términos físicos, por ejemplo la resistencia que ofrece una construcción ante las fuerzas de los vientos producidos por un huracán, a diferencia de la segunda, que puede valorarse cualitativamente y es relativa, ya que está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, así como el grado de preparación de las personas. Por ejemplo, una ciudad cuyas edificaciones fueron diseñadas y construidas respetando un reglamento de construcción que tiene requisitos severos para proporcionar seguridad ante efectos sísmicos, es mucho menos vulnerable ante la ocurrencia de un terremoto, que otra en la que sus construcciones no están preparadas para resistir dicho fenómeno. En otro aspecto, una población que cuenta con una organización y preparación para responder de manera adecuada ante la inminencia de una erupción volcánica o de la llegada de un huracán, por ejemplo mediante sistemas de alerta y planes operativos de evacuación, presenta menor vulnerabilidad que otra que no está preparada de esa forma.

La vulnerabilidad física se expresa como una probabilidad de daño de un sistema expuesto y es normal expresarla a través de una función matemática o matriz de vulnerabilidad con valores entre cero y uno. Cero implica que el daño sufrido ante un evento de cierta intensidad es nulo, y uno, implica que este daño es igual al valor del bien expuesto. De dos bienes expuestos uno es más vulnerable si, ante la ocurrencia de fenómenos perturbadores con la misma intensidad, sufre mayores daños.

La **Exposición o Grado de Exposición** se refiere a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados. Por lo general se le asignan unidades monetarias puesto que es común que así se exprese el valor de los daños, aunque no siempre es traducible a dinero. En ocasiones pueden emplearse valores como porcentajes de determinados tipos de construcción o inclusive el número de personas que son susceptibles a verse afectadas.

El grado de exposición es un parámetro que varía con el tiempo, el cual está íntimamente ligado al crecimiento y desarrollo de la población y su infraestructura. En cuanto mayor sea el valor de lo expuesto, mayor será el riesgo que se enfrenta. Si el valor de lo expuesto es nulo, el riesgo también será nulo, independientemente del valor del peligro. La exposición puede disminuir con el alertamiento anticipado de la ocurrencia de un fenómeno, ya sea a través de una evacuación o inclusive evitando el asentamiento en el sitio.

Una vez que se han identificado y cuantificado el peligro, la vulnerabilidad y el grado de exposición para los diferentes fenómenos perturbadores y sus diferentes manifestaciones, es necesario completar el análisis a través de escenarios de riesgo, o sea, representaciones geográficas de las intensidades o de los efectos de eventos extremos. Esto resulta de gran utilidad para el establecimiento y priorización de acciones de mitigación y prevención de desastres. Ejemplos de escenarios de peligro son la representación de los alcances de una inundación con los tirantes máximos de agua que puede tener una zona; distribución de caída de ceniza consecuencia de una erupción volcánica; la intensidad máxima del movimiento del terreno en distintos sitios debido a un sismo. Ejemplos de escenarios de riesgos serían el porcentaje de viviendas de adobe dañadas para un sismo de determinada magnitud y epicentro, el costo de reparación de la infraestructura hotelera por el paso de un huracán, el número de personas que podrían verse afectadas por el deslizamiento de una ladera inestable, etc.

1.4 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Partiendo de los conceptos fundamentales de riesgo expresados en la sección anterior, se advierte que la base fundamental para un diagnóstico adecuado de riesgo es el conocimiento científico de los fenómenos (peligros o amenazas) que afectan a una región determinada, además de una estimación de las posibles consecuencias del fenómeno; éstas dependen de las características físicas de la infraestructura existente en la zona, así como de las características socioeconómicas de los asentamientos humanos en el área de análisis.

Así, es posible plantear un procedimiento general para la elaboración de un Atlas de Riesgo el cual puede resumirse en los siguientes pasos:

- Identificación de los fenómenos naturales y antrópicos que pueden afectar una zona en estudio;
- Determinación del peligro asociado a los fenómenos identificados;
- Identificación de los sistemas expuestos y su vulnerabilidad;
- Evaluación de los diferentes niveles de riesgo asociado a cada tipo de fenómeno, tanto natural como antropogénico;
- Integración sistemática de la información sobre los fenómenos naturales y antropogénicos, peligro, vulnerabilidad y riesgo considerando los recursos técnicos y humanos.

1.4.1 Identificación de los fenómenos naturales y antrópicos que pueden afectar una zona en estudio

El riesgo depende de las condiciones específicas de un sitio en estudio, según su ubicación, y de los fenómenos que pueden manifestarse con mayor o menor intensidad. Asimismo, las condiciones de vulnerabilidad de los sistemas expuestos de una región condicionan los niveles de riesgo a que está sometida. Por ello el primer paso para la construcción de un atlas de riesgos es la identificación de los fenómenos que han afectado y por lo tanto podrán afectar un área geográfica. En México, el Sistema Nacional de Protección Civil reconoce, de acuerdo con su origen, los siguientes agentes perturbadores:

- Fenómenos geológicos;
- Fenómenos hidrometeorológicos;
- Fenómenos químicos;
- Fenómenos sanitario-ambientales;
- Socio-organizativos.

Para identificar los fenómenos que afectan una zona en estudio, se debe recurrir a diferentes fuentes de información tales como fuentes bibliográficas, hemerográficas y/o comunicación verbal.

La información anterior debe ser considerada como el punto de partida para la integración de un atlas, y aunque no representa todavía un atlas de riesgos, resulta de gran utilidad para las autoridades de protección civil. La información histórica puede ser representada en mapas temáticos que pueden aprovechar las autoridades de protección civil para tener conocimiento de los sitios que son susceptibles de ser afectados por un fenómeno determinado; asimismo, es la base para estimar la frecuencia con que un fenómeno afecta una zona.

1.4.2 Determinación del peligro asociado a los fenómenos identificados

Una vez identificados los fenómenos que pueden afectar una zona en estudio, se procede a la evaluación del *peligro*, que consiste en obtener una descripción probabilística de la posible ocurrencia de dichos eventos perturbadores con distintas intensidades. Esto deberá calcularse para cada medida de la intensidad que sea significativa según el tipo de sistema y los modos de falla o daño que se deban incluir en el análisis de riesgo. Dos medidas clásicas asociadas al peligro son el *periodo de retorno* o bien, la *tasa de excedencia*. La tasa de excedencia es el número de eventos por unidad de tiempo (generalmente por año) que sobrepasan un cierto nivel de intensidad; el periodo de retorno es el inverso de la tasa de excedencia y se define como el lapso que, en promedio, hay que esperar para que ocurra un evento con intensidad superior a una especificada. En lo que se refiere a las medidas de intensidad, éstas son propias de cada fenómeno y están relacionadas con los parámetros con los que se evalúa la vulnerabilidad. Por ejemplo, en el caso del fenómeno sísmico, una medida de intensidad puede ser la aceleración máxima del suelo; para un huracán la velocidad del viento; para inundación el tirante acumulado de la precipitación; para una explosión química la energía liberada, etc.

Dependiendo del fenómeno en estudio y la zona en la cual se desea conocer sus efectos, los peligros a los cuales puede estar expuesta la población tendrán un impacto diferente.

Como ejemplo de la evaluación del peligro, en la figura 1.6 se muestra, para el caso de sismo, la aceleración máxima del terreno correspondiente a un periodo de retorno de 100 años.



Figura 1.6 Aceleraciones máximas del terreno (en cm/s^2) para un periodo de retorno de 100 años (Gutiérrez C., CENAPRED)

1.4.3 Identificación de los sistemas expuestos y su vulnerabilidad

Este punto consiste en la evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas expuestos, los que en la mayoría de los casos, son obras construidas por el hombre; sin embargo, también se cubren los casos de formaciones geológicas naturales, como laderas que pueden deslizarse o mantos de suelo blando que pueden agrietarse y que pueden ocasionar algún tipo de daño.

Para evaluar la vulnerabilidad se pueden utilizar métodos cuantitativos que requieren el empleo de expresiones matemáticas llamadas funciones de vulnerabilidad, que relacionan las consecuencias probables de un fenómeno sobre una construcción, una obra de ingeniería, o un conjunto de bienes o sistemas expuestos con la intensidad del fenómeno que podría generarlas. Así por ejemplo, desde el punto de vista preventivo, en el caso de la vivienda es importante estimar el nivel de daño esperado para un nivel de intensidad dado, de manera que se puedan tomar las medidas preventivas para disminuir su vulnerabilidad. Si se tratara de una obra civil, como por ejemplo de un hospital, las consecuencias se podrían medir en términos del servicio que dejaría de prestar. En el caso de construcciones destinadas al comercio, las consecuencias tendrían que calcularse, no solamente en términos del daño físico, sino también en términos de las pérdidas indirectas, es decir, aquellas que se derivan del mal funcionamiento de la construcción a consecuencia de los daños físicos. Para generar las funciones de vulnerabilidad correspondientes, se deberá hacer una selección cuidadosa de los parámetros de intensidad generados por un fenómeno, de manera tal que tengan una adecuada correlación con las consecuencias que de ellos se derivan. Asimismo, se debe realizar una clasificación de los sistemas expuestos, por ejemplo, de acuerdo a su sistema estructural un grupo de construcciones puede clasificarse como sigue (CENAPRED, I. de I., 2003):

- Tipo I. Casas para habitación unifamiliar, construidas con muros de mampostería simple o reforzada, adobe, madera o sistemas prefabricados.
- Tipo II. Edificios para vivienda, oficinas y escuelas, construidos con concreto reforzado, acero, mampostería reforzada o sistemas prefabricados.
- Tipo III. Construcciones especiales: teatros y auditorios, iglesias, naves industriales, construcciones antiguas.
- Tipo IV. Sistemas de gran extensión o con apoyos múltiples: puentes.
- Tipo V. Tuberías superficiales o enterradas.

Normalmente, una función de vulnerabilidad tiene la forma mostrada en la figura 1.7. Esta función relaciona un parámetro de intensidad sísmica (eje horizontal), como la aceleración espectral, con los daños que este parámetro puede ocasionar en viviendas de tres o cuatro pisos construidas con mampostería confinada que se localizan en zona de muy alto peligro sísmico (zona D del mapa de regionalización sísmica de la CFE). En la figura, cero significa daño nulo y uno significa pérdida total de la construcción.

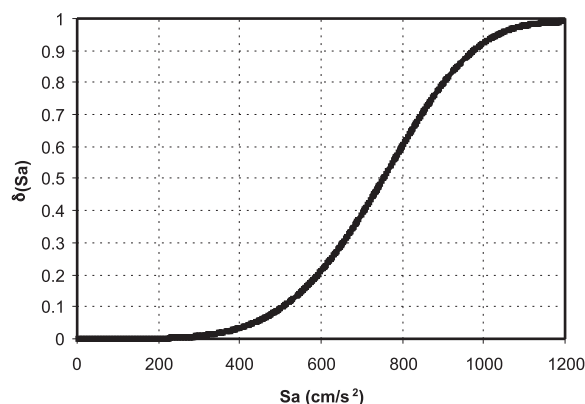


Figura 1.7 - Función de daño físico para estructuras de mampostería adecuadamente confinada de tres o cuatro niveles y localizadas en la zona sísmica D del mapa de regionalización sísmica de CFE (CENAPRED, Instituto de Ingeniería UNAM, 2003)

1.4.4 Evaluación de los diferentes niveles de riesgo asociado al tipo de fenómeno tanto natural como antropogénico

En términos generales, el riesgo es una función matemática denominada “convolución” del peligro y la vulnerabilidad. Para fines de protección civil una de las herramientas de mayor utilidad para la toma de decisiones es la construcción de escenarios en los que se detecten las zonas con niveles elevados de riesgo, en términos, por ejemplo, de las pérdidas monetarias derivadas de las consecuencias ocasionadas por la ocurrencia de un fenómeno. Otras medidas de riesgo pueden ser, los metros cuadrados perdidos de construcción, el número de vidas humanas perdidas, etc. Así, por ejemplo en la figura 1.8 se encuentra un escenario en el que se muestran las pérdidas, en pesos, debidas a la inundación que se generaría en un poblado asentado en la zona aledaña a un río si se presentara una precipitación con un periodo de retorno de cinco años. Es claro que con la ayuda de este escenario, las autoridades de protección civil podrían detectar las viviendas que deben ser reubicadas, tanto para evitar la pérdida de vidas como de daños materiales.

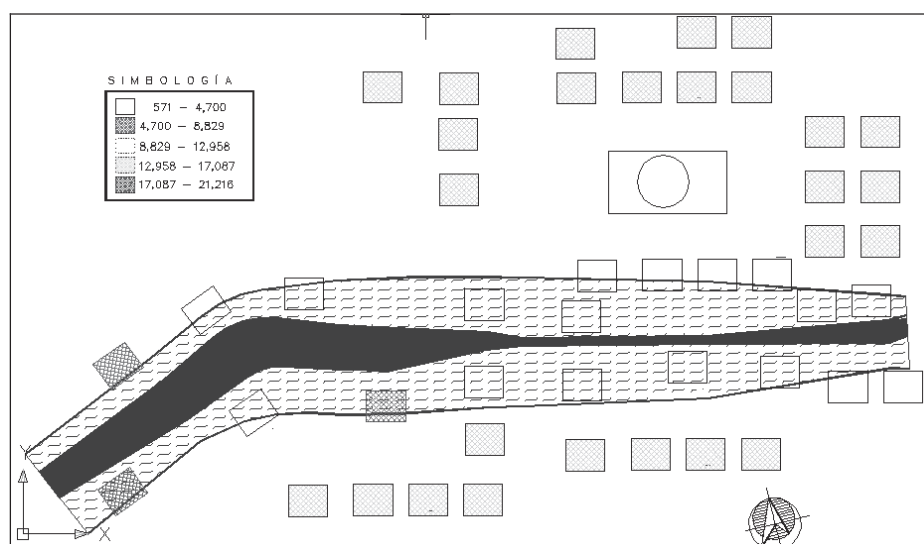


Figura 1.8 Mapa de riesgo por inundación para un periodo de retorno de cinco años (pérdidas calculadas) (CENAPRED)

1.4.5 Integración de la Información sobre los Fenómenos Naturales o Antropogénicos, Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo Considerando los Recursos Técnicos y Humanos

Idealmente, un atlas de riesgos se debe concebir como un ente dinámico que sea un sistema integral de información del riesgo de desastres. Bajo ese concepto, la integración de la información que conforma un atlas de riesgo y su elaboración, requiere de tres elementos fundamentales:

- Metodologías para la identificación de los fenómenos que afectan una zona determinada para la evaluación del peligro, vulnerabilidad y riesgo;
- Criterios para la selección de la cartografía adecuada que permita representar los resultados de un análisis de riesgo;
- Criterios para la selección de un sistema en el que se integre, procese y visualice la información anterior.

1.5 CONCEPTUALIZACIÓN DE UN ATLAS NACIONAL DE RIESGOS

La presente sección tiene por objeto mostrar en términos generales la estructura del Atlas Nacional de Riesgos (ANR).

El ANR está dirigido a autoridades y dependencias de los niveles de gobierno; autoridades de protección civil; diversas instituciones relacionadas con la planeación territorial, urbana, desarrollo social, ambiental; instituciones académicas y de investigación, así como población en general. Con la implementación del ANR se prevé fortalecer al Sistema Nacional de Protección Civil a través de un esquema homogéneo de valoración del riesgo como una política preventiva y de desarrollo, en suma, contar con una herramienta útil, entre otras acciones para:

- Establecer políticas y estrategias de prevención;
- Mejorar la toma de decisiones en relación con planes de desarrollo urbano;
- Evaluar pérdidas humanas y materiales, tanto para eventos simulados como inmediatamente después de ocurrido un fenómeno natural o antropogénico;
- Atender las necesidades de una emergencia derivadas de la ocurrencia de un fenómeno natural o antropogénico, es decir, estimar los recursos que deberían ser destinados a la zona afectada;
- Contribuir a la cultura de la autoprotección a través de la orientación y concientización de la población sobre riesgo;
- Mejorar la calidad en la contratación de seguros de la infraestructura pública, tal como escuelas, hospitales, vías de comunicación, etc., ante la acción de fenómenos naturales o antropogénicos.

1.5.1 Diseño conceptual

Cuando se habla de un atlas, generalmente, se tiene la idea de voluminoso libro o un compendio de mapas. Esta visión tiene al menos dos desventajas:

- El rápido crecimiento urbano en varias zonas del país, se traduce en un incremento del grado de exposición de la población y de sus bienes. Por ello, es fácil entender que su vigencia caduque rápidamente;

- Si bien un mapa es un producto útil y fácil de entender para los integrantes de protección civil, en lo que se refiere a la toma de decisiones, es necesario recurrir a otros insumos. Un mapa, es en el mejor de los casos, la representación gráfica del resultado de análisis complejos en el tiempo y espacio de las variables que determinan los desastres. Así, una vez que se imprime un mapa en un atlas tradicional, no es posible alterar el análisis, o estudiar un escenario diferente.

Por estas razones el ANR se ha planteado que sea un Sistema Integral de información del Riesgo de Desastres:

Sistema, ya que será un conjunto ordenado de “objetos”, procesos, principios y soluciones tecnológicas racionalmente enlazados entre sí con un fin común: evaluar el riesgo.

Integral, ya que deberá ser capaz de incluir información actualizada, inclusive en tiempo real, con un nivel de detalle suficiente, según se requiera, para cubrir todas las escalas convenientes; implica un manejo compartido de datos de muy diferentes características y ubicaciones, mediante un diseño dinámico y modular.

De información, ya que deberá ser capaz de aceptar, reducir y facilitar el análisis e interpretación de la información. Es también, con un valor agregado, parte de los productos esperados. Según su destinatario, se deberán lograr varios niveles de información.

Riesgo de Desastres, es el objetivo final del producto: poder evaluar el riesgo mediante el análisis temporal y espacial de las amenazas, la vulnerabilidad y el grado de exposición, así como la estimación de pérdidas, entre otros.

Además, el ANR deberá ser **interactivo**, de modo que permita hacer análisis y visualizar la información instantáneamente, de plataforma abierta para facilitar su desarrollo y actualización permanentes y deberá hacer uso de las tecnologías de información más actuales.

Una atribución más del ANR, es que a la palabra *Nacional* se le ha dado un significado amplio, es decir, que un análisis de riesgo se podrá efectuar desde una pequeña zona urbana, pasando por un municipio, una entidad federativa, hasta la República Mexicana en su conjunto.

1.5.2 Algunos productos esperados del ANR:

- Mapas de peligro por fenómeno, que identifiquen las zonas en donde afectan los fenómenos con diferentes intensidades y periodos de retorno;
- Mapas de vulnerabilidad de población, escuelas, hospitales, y otros, en los cuales se señalen las zonas en donde el potencial de daño es mayor;
- Mapas que desplieguen el tamaño de los sistemas afectables;
- Mapas de riesgo que identifiquen las zonas en donde, para un fenómeno con intensidad dada, las consecuencias del daño son máximas, medias o mínimas;
- Mapas de afectación ante la ocurrencia de algún fenómeno;
- Estadísticas sobre la ocurrencia y efecto de los fenómenos perturbadores;
- Costo de los desastres;
- Costo esperado de la ocurrencia de un fenómeno;
- Uso de sistemas de datos georreferenciados a cualquier usuario con aplicaciones web basados en GIS con funciones específicas para la generación automatizada de mapas.

CONCLUSIONES

En el presente capítulo introductorio se han presentado los lineamientos y los conceptos fundamentales necesarios para comprender la metodología general para la elaboración de un atlas de riesgo. Asimismo se dio una breve descripción del proyecto del Atlas Nacional de Riesgos que se está desarrollando, entendido como un sistema integral de información del riesgo de desastres. La intención de esta guía básica es orientar y alentar a todas las autoridades de protección civil estatales y municipales a que conjuguen sus esfuerzos para integrar sus respectivos atlas o actualizar las ya desarrollados. En los siguientes capítulos se presentarán algunas metodologías específicas para la integración de atlas de riesgo, orientadas a lograr la aplicación de criterios y métodos uniformes en la evaluación de peligros, vulnerabilidad y/o riesgos para distintos fenómenos perturbadores.

Es importante mencionar que la implementación de los atlas de riesgo es un trabajo que llevará tiempo y requerirá necesariamente de la participación de diversas instituciones y especialistas, así como de cierta infraestructura básica de cómputo y programación. En la medida que unamos esfuerzos, nos apoyemos mutuamente y compartamos información, lograremos alcanzar en un plazo razonable no solamente los atlas estatales y municipales, sino también simultáneamente integrar el atlas a escala nacional. Dichos instrumentos serán fundamentales para incidir eficazmente en la mitigación del riesgo y consecuentemente en una protección civil preventiva.

BIBLIOGRAFÍA

Alcocer S., Bitrán D., Zepeda O. (2001) Propuesta “Atlas Nacional de Riesgos. Sistema Virtual de Identificación de Riesgos de Desastres en México”.

Basic Engineering (2002), “Análisis de requerimientos y necesidades para el ANR-SIIRIDE”, Asesoría al CENAPRED.

Bitrán D. (2001), “Características del Impacto Socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-99”. Libro 1. Serie impacto Socioeconómico de los Desastres en México, CENAPRED.

Cardona O.D (1996) “Variables involucradas en el manejo de Riesgos”. Revista Desastres y Sociedad. No 6, Año 4.

CENAPRED (2001). “Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México”, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México D.F.

CENAPRED (2003), Curso Introductorio a las Metodologías para la Elaboración de los Atlas de Riesgo Estatales y Municipales.

CENAPRED (2002) “Programa especial de prevención y mitigación del riesgo de desastres 2001-2006”.

Guía Cartográfica para el levantamiento de Riesgos a nivel Municipal. (1998). Secretaría de Gobernación.

Instituto de Ingeniería, UNAM-CENAPRED (2003) “Guía Metodológica para el Análisis del Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo y Pérdidas Causadas por Desastres Naturales o Antropogénicos y su Reducción y Prevención”.

Ley General de Protección Civil. (2002), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de mayo de 2000.

Ordaz M. (1996), “Algunos Conceptos del Análisis de Riesgos”. Revista Prevención. CENAPRED.

Reyes, C. (2003) “Algunas consideraciones generales para el desarrollo del Atlas Nacional de Riesgos. CENAPRED”.

UN/ISDR Commission on Sustainable Development (2002), “Natural Disaster and Sustainable Development. Understanding the links between development, environment and natural disasters”.

UN/ISDR (2002), “Vivir con Riesgo. Un repaso mundial de iniciativas de reducción de desastres”.

II ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y TECNOLÓGICOS

Oscar Zepeda Ramos

RESUMEN

Como parte del diseño conceptual del Atlas Nacional de Riesgo (ANR), Sistema Integral de Información sobre Riesgo de Desastre (Siiride), surgió la necesidad de contar con una guía que sirviera como instrumento para la elaboración de atlas municipales de riesgo; en este sentido, resulta indispensable un capítulo donde se establezca la utilidad de contar con bases cartográficas homogéneas, conocer aquellos recursos tecnológicos mínimos además de ubicar las fuentes de información, principalmente aquellas que provienen de instituciones oficiales.

En este capítulo se presentará de manera breve y didáctica los contenidos cartográficos mínimos necesarios para desarrollar o actualizar un atlas municipal de riesgo, que resulte útil, confiable y sobre todo compatible con el ANR.

OBJETIVOS

Hacer uso de la experiencia desarrollada por el CENAPRED en el diagnóstico de peligros e identificación del riesgo de desastre para el desarrollo de una guía práctica, aplicable a la elaboración de atlas municipales de riesgo, utilizando bases cartográficas de calidad, así como tecnologías de sistemas de información geográfica.

Obtener aplicaciones relacionadas con el análisis espacial y temporal de diversos riesgos, haciendo énfasis en la población, vivienda e infraestructura.

Orientar en la elaboración de cartografía de peligro y riesgo, la cual es un insumo muy útil en la planeación de las diversas etapas que componen la protección civil: la preparación, respuesta y recuperación.

2.1 INTRODUCCIÓN

Los conceptos sobre cartografía de peligro y la elaboración de atlas de riesgo han sido parte de la Geografía desde tiempos antiguos, si bien el nacimiento de la protección civil toma relevancia en México a partir de 1985, la inquietud sobre los diversos peligros que rodean al ser humano es antigua ya que fenómenos como erupciones volcánicas, inundaciones y sismos, han sido representados gráficamente casi desde la aparición de la escritura.

La representación gráfica de los peligros ha ido de la mano de la concepción histórica del universo y de la Tierra, así como del avance de las ciencias en general. De ahí que las primeras representaciones del peligro estuvieran asociadas a designios divinos, comúnmente, mediante la presencia de alguna deidad. Con el avance de las ciencias y la tecnología, por ejemplo, la utilización de sistemas de información geográfica (SIG) y de cartografía asistida por computadora, la representación gráfica-espacial del riesgo se ha simplificado, principalmente por la facilidad de acceso a los datos fundamentales (medio físico, ubicación y tipo de infraestructura básica, variables estadísticas como número de habitantes, tipo de vivienda, etc.), así como por la utilización de

satélites y otras nuevas tecnologías que permiten la observación de la Tierra y la localización muy precisa de diferentes tipos de rasgos en el subsuelo, en la superficie y en la atmósfera.

El vocablo Atlas deriva del latín “Atlas” y del griego Ατλας, que era el nombre del gigante, quien se suponía que sostenía con sus hombros la bóveda celeste. Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, un atlas es una colección de mapas geográficos, históricos o de elementos que pertenezcan a un tema en específico conjuntados en un volumen. Partiendo de la definición anterior un atlas de riesgo será fundamentalmente un conjunto de mapas y metodologías para la ubicación espacial y temporal del peligro, donde además se pueda localizar geográficamente la vulnerabilidad física y social, así como conocer el riesgo existente en un lugar de interés para la población que lo habita.

Para la elaboración de cualquier atlas de riesgo se debe tomar en cuenta la base cartográfica generada por instituciones con amplia experiencia en su producción, principalmente el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), que es el organismo rector en la producción de información e indicadores. Queda fuera del alcance de esta guía los criterios para producir cartografía básica, en caso de no contar con ella, se recomienda se apoye y gestione su elaboración con instituciones públicas y en compañías especializadas.

En este capítulo se presentarán los criterios generales geoestadísticos para desarrollar atlas; aquí enumerados, se refieren a la unidad administrativa mínima geopolítica, “el municipio”; sin embargo, existirán sin duda alguna, requerimientos para desarrollar atlas que contemplen estudios específicos sobre localidades, colonias, calles, etc. Cabe mencionar que el tratamiento en términos cartográficos variará, no obstante estudios particulares sobre áreas muy específicas requerirán de la aplicación de otro tipo de metodologías.

En primer término se presentará una descripción de los tipos de mapas sobre peligro y riesgo que se han desarrollado en diversos ámbitos, así como sus contenidos y el nivel de análisis y de integración de los datos que los componen.

2.2. NIVELES DE COMPLEJIDAD

2.2.1 Mapas de inventario

Estos mapas contienen únicamente un listado de recursos y necesidades existentes en la entidad o en el municipio, tienen medidas que no necesariamente representan las distancias verdaderas, y la mayoría son croquis y planos de zonas principalmente urbanas. Éstos contienen una localización esquemática de infraestructura y de regiones donde habitualmente se atienden emergencias.

Este tipo de atlas generalmente se circunscriben a localidades urbanas y la fuente de información cartográfica es un mapa que representa la traza urbana (localización y nombre de calles, avenidas, manzanas, colonias y algún tipo de infraestructura). Originalmente este tipo de mapas se elaboraron para fines recreativos y de turismo, sin embargo muchos son utilizados como base para la elaboración de atlas de riesgo.

Aunque este tipo de planos generalmente no cuentan con características que permitan determinar su escala, su proyección y su simbología, sirven de apoyo para contar con una base geográfica. Su dimensión generalmente va de tamaño carta (22 × 28 cm) hasta plano (90 × 60 cm). En la figura 2.1, se presenta un ejemplo de dos tipos de mapas de inventario.

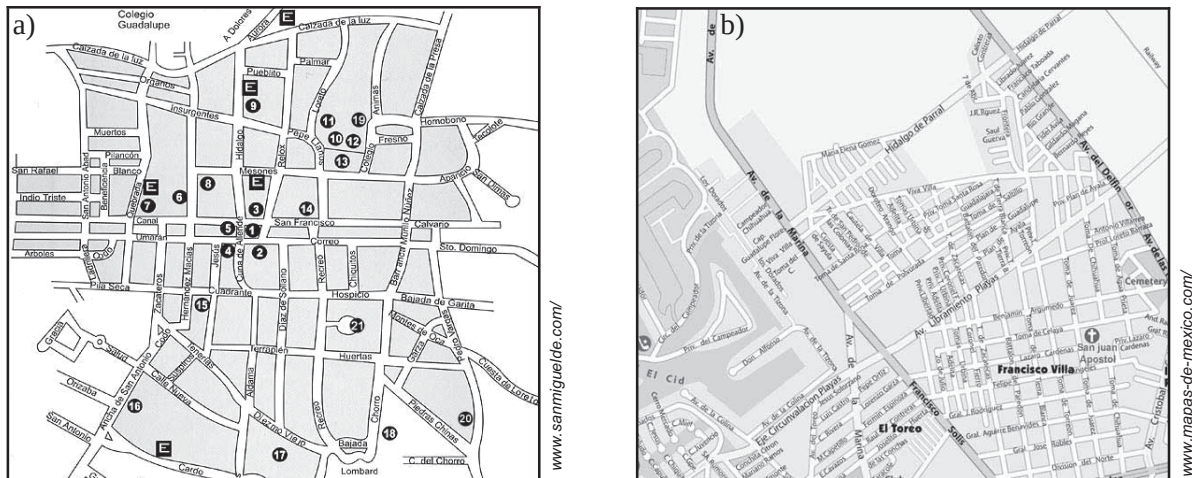


Figura 2.1 Fragmentos de planos llave o genéricos: a) San Miguel de Allende, Gto., b) Mazatlán, Sin.

2.2.2 Mapas de peligro

Son mapas que representan de manera gráfica la distribución de las características de los fenómenos perturbadores con base en conocimientos científicos y en datos estadísticos y probabilísticos. En éstos se contemplan estudios sobre diferentes fenómenos de origen natural o antropogénico, que conducen a la determinación del nivel cuantitativo del peligro o amenazas que existen en un lugar específico (municipio, estado o país). Los estudios de peligro se basan en información sobre el medio físico y pueden realizarse a distintas escalas. Diversos centros de investigación y diversas instituciones han elaborado mapas de peligro a nivel nacional, generalmente a escalas menores. En la figura 2.2 se presenta el ejemplo de un mapa de zonificación de velocidades de viento, que es de utilidad para realizar el diseño estructural de edificaciones por viento.

Abriendo un paréntesis podríamos mencionar que los geógrafos usan una forma fraccional para distinguir los mapas a grandes escalas de los mapas a escalas menores. Las reglas para recordar aquellos mapas que tienen una escala grande son los que tienen una fracción grande, con un denominador pequeño, y los mapas de escalas menores son aquellos que tienen un denominador muy grande. Por ejemplo 1:20,000 es notablemente más grande que una escala a 1:250,000, mientras que una escala 1:1,000,000 es por mucho, más pequeña. Casi toda la literatura sobre el tema establece que los mapas con escalas de 1:20,000 o mayores se denominan “escalas grandes”, y los mapas con escalas de 1:500,000 o menores se determinan como de “escalas pequeñas”, con una denominación de “escala intermedia” para aquellos mapas que se encuentran entre ambos valores.

La expresión de un peligro representado en un mapa asocia su distribución espacial en el territorio con la probabilidad de su ocurrencia en un lapso de tiempo. En términos generales, este tipo de mapas representan la intensidad del fenómeno de estudio, mediante una clasificación asociada a una escala de colores, con una base cartográfica, que puede ser una carta topográfica, la división estatal o municipal de la zona o inclusive con rasgos de infraestructura como caminos o presas.

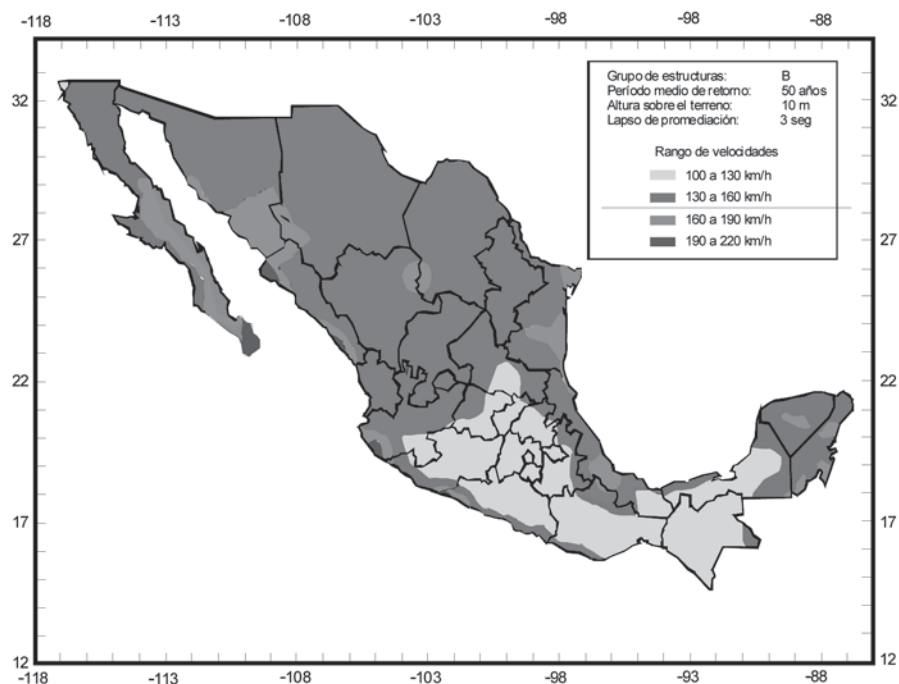


Figura 2.2 Zonificación de velocidades de viento máximas (Comisión Federal de Electricidad)

A partir de una revisión y análisis del contenido de diversos atlas estatales y municipales de riesgo del país se encontró que en el mejor de los casos, éstos, son una colección de mapas y cartografía de peligro, los cuales si bien representan un avance significativo, ya que son la base para la integración de otros elementos que inciden en la distribución espacial y temporal del riesgo de desastre no hacen referencia a las pérdidas o daños esperados por el impacto de fenómenos.

2.2.3 Mapas de riesgo

Es conveniente aclarar el uso dado a la palabra riesgo, que, en su acepción más general según la Real Academia de la Lengua Española significan “aquel evento que implica la proximidad de un daño, desgracia o contratiempo que puede afectar la vida de los hombres”. Este significado tiene diferentes connotaciones, y se aplica a temas tan diversos como la economía, el medio ambiente, la delincuencia, de ahí que su significado se ha extendido a casi la mayoría las actividades humanas, y prevalezca cierta confusión en denominar al peligro como riesgo y viceversa.

Sin embargo para fines de protección civil, el riesgo de desastres está muy claramente definido, entre otros por las Naciones Unidas, que lo caracteriza como “el grado de pérdida previsto en un sistema determinado, debido a un fenómeno natural definido y en función tanto del peligro natural como de la vulnerabilidad”.

De acuerdo con la definición anterior, mapas de riesgo son aquellos que representan gráficamente en una base cartográfica, la probabilidad de incidencia de un fenómeno o de varios, sus características e intensidades, y de qué manera influyen en los diferentes tipos de ámbitos, sean estos geográficos (localidad o región) geopolíticos (municipio, estado, país), fisiográficos (tipo de suelo, vegetación) o aquellos caracterizados por la actividad humana (población, vivienda, infraestructura y agricultura). Un ejemplo de un mapa de riesgo se presenta en la figura 2.3, con un escenario hipotético de riesgo sobre la ciudad de Colima, evaluando a la vivienda como el sistema

de estudio (sistema afectable), en el mapa se presenta como fondo una malla que representa las aceleraciones del terreno debidas a un sismo, asociado a un periodo de retorno específico, muestra a nivel de predio el índice de riesgo en términos de la probabilidad de daños para diferentes tipos de vivienda.

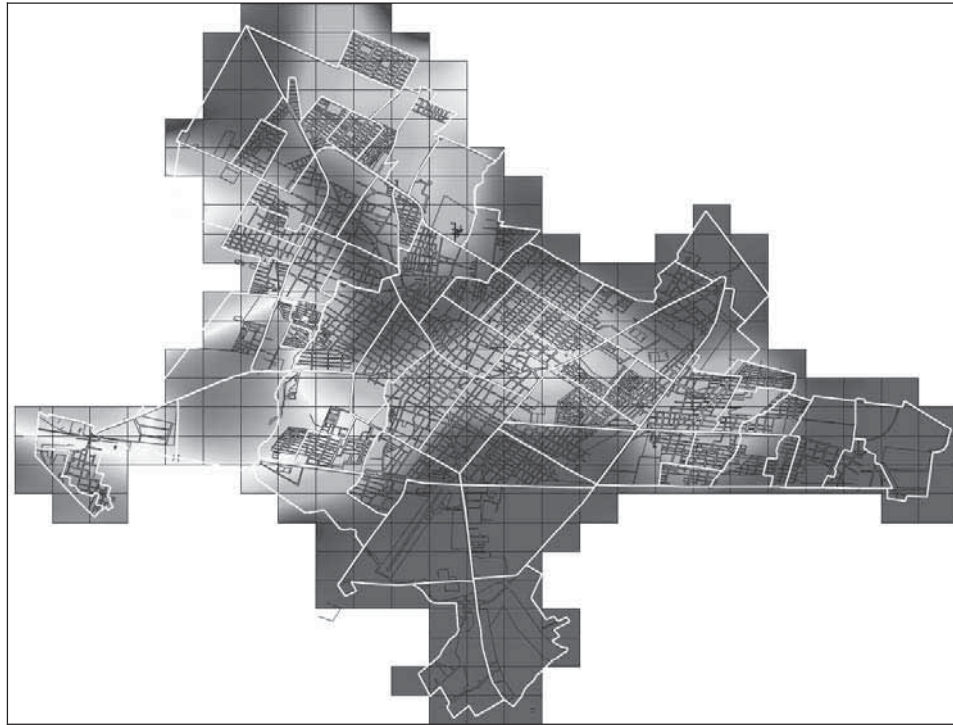


Figura 2.3 *Mapa de riesgo de la ciudad de Colima, generado mediante un sistema que permite realizar diferentes análisis sobre peligro, vulnerabilidad y riesgo (Objetos de Riesgo)*

Para la estimación del riesgo se necesita determinar las consecuencias potenciales de un fenómeno destructivo. Esto implica, entre otras cosas, conocer las características físicas de la infraestructura existente, así como las condiciones sociales y económicas de la región de estudio, donde el análisis y la clasificación pueden ser complejos, esto se realiza habitualmente para zonas con un área determinada, (zonas definidas donde se establezcan parámetros de control). No obstante con la incorporación de nuevas tecnologías para el manejo y análisis de la información, se tenderá a integrar estimaciones que podrán abarcar coberturas geográficas más extensas.

Es importante mencionar que para la elaboración de mapas que impliquen la valoración del riesgo, se deberá tener información confiable y homogénea, debido a la complejidad de simular la interacción entre las amenazas, el entorno físico y la vulnerabilidad física y social. Se pueden lograr aproximaciones con mapas de índices de riesgo, donde sin llegar a cuantificar el costo esperado de un fenómeno se determina a través de un modelo físico-matemático la probabilidad del riesgo, involucrando al peligro, a la vulnerabilidad y al sistema estudiado, mediante simplificaciones que requieren validación y calibración previas. Estos modelos son desarrollados por instituciones de investigación del país, entre las que se encuentra el Instituto de Ingeniería de la UNAM y otros, quienes han desarrollado diversas investigaciones sobre estos temas, sin embargo la calibración de los mismos se deberá hacer tras evaluar los daños y pérdidas ocasionados por un fenómeno y compararlos con los resultados obtenidos de escenarios previos, de esta comparación, los modelos serán mejorados y se acercarán más a la realidad.

2.3 NIVELES DE PERCEPCIÓN DEL RIESGO

Parte importante en la definición de un atlas municipal de riesgo, es tener presente que a percepción (forma de entender los mapas y la información contenida en el mismo) variará dependiendo a quien estén dirigidos, fundamentalmente se piensa en tres tipos de público:

- Funcionarios:** Quienes tendrán que incorporar los resultados finales del análisis a sus políticas de desarrollo urbano o reordenamiento territorial, así mismo diseñar los planes de prevención, mitigación y atención de emergencias con base en los escenarios de riesgo obtenidos. Para este tipo de usuarios se deberán diseñar y elaborar mapas donde se presenten los niveles de riesgo en términos de un semáforo (verde, amarillo y rojo).
- Población común:** Los productos deberán ser de fácil comprensión con leyendas que expliquen el fenómeno y la clasificación del riesgo, es importante que estos mapas refieran de manera muy clara el entorno y la ubicación de sus potenciales usuarios, de manera que puedan percibir la ubicación de su vivienda, y generar una conciencia del nivel de riesgo en el que su encuentra su familia y sus propiedades.
- Académicos:** Para este sector, se deberá contar con productos más elaborados, que contengan la descripción de la metodología, la fuente de los datos, así como la exactitud de los datos.

En la figura 2.4 se observa un la descripción de la relación existente entre la percepción y el nivel de refinamiento en el análisis del riesgo.

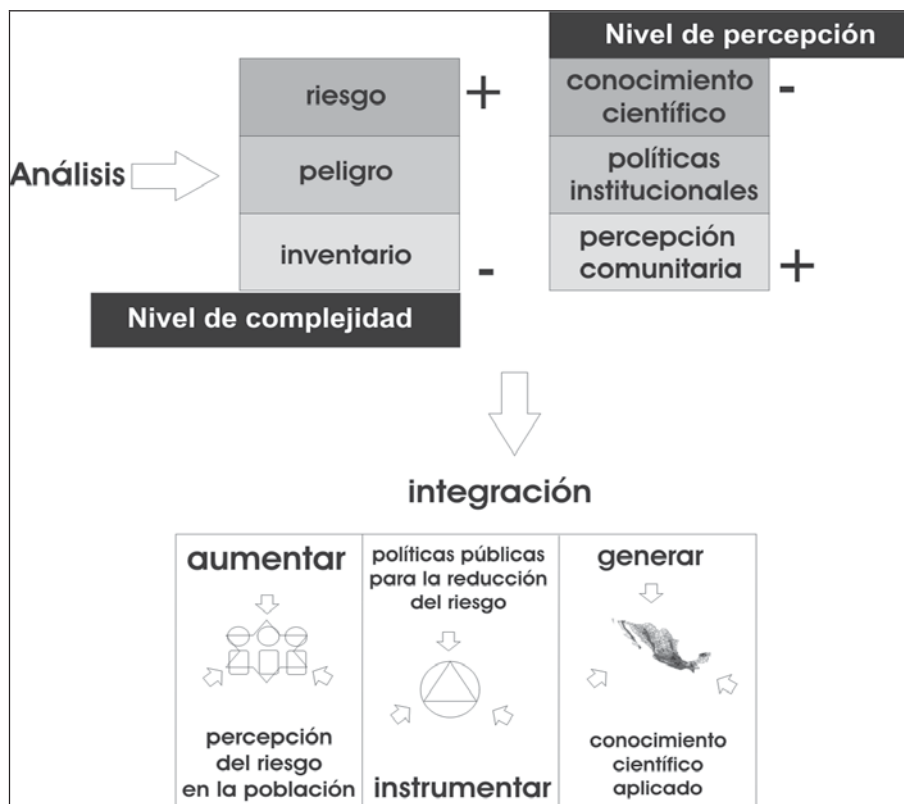


Figura 2.4 Relación entre los niveles de refinamiento y la percepción del riesgo

2.3.1 Percepción comunitaria

Este nivel implica que se deberá alcanzar una muy buena percepción comunitaria del riesgo, para esto es necesaria la participación de la comunidad en la elaboración de un atlas y en la interpretación de rasgos geográficos básicos, saber en dónde se inunda habitualmente, dónde se presentan regularmente accidentes carreteros, dónde se ubican las industrias y demás caracterización de medio físico, ya que con estos datos muy generales es posible generar un mapa de inventario en el que las personas, a través de elementos gráficos puedan ubicar de manera general el riesgo circunscrito en una región geopolítica (en este caso el municipio o la localidad), sin embargo este deberá ser el primer esfuerzo, a complementarse con otro tipo de percepciones sobre el peligro, las cuales se describirán más adelante.

Para generar una buena comprensión básica de este tipo de mapas, se requiere que se elaboren habitualmente a nivel local, esto significa que se incluyan en los análisis colonias o barrios. Es importante destacar que este tipo de atlas está alentado por la necesidad de la población de conocer las circunstancias que rodean su entorno y por la conciencia comunitaria ante experiencias de desastres pasados.

Existen varias publicaciones sobre la percepción del peligro por la comunidad que la rodea, principalmente la Organización Panamericana de la Salud (OPS) ha llevado a cabo trabajos en este sentido, un ejemplo es la “Guía de trabajo para la elaboración de los mapas de riesgos comunales”, publicada en el sitio web: www.eird.org/esp/varios/folletocomunidades/mapascomunidades.htm, la cual fue elaborada en el marco de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres en América Latina y el Caribe, en la figura 2.5 se presenta la portada de la guía.



Figura 2.5 Portada de la “Guía de trabajo para la elaboración de los mapas de riesgo comunales” (EIRD)

2.3.2 Políticas institucionales

Es importante señalar que la elaboración de atlas de riesgo tiene un sustento jurídico en las leyes federales y estatales de protección civil, en la mayoría de ellas queda definida la atribución y competencia de las diferentes instancias que deben desarrollarlos y mantenerlos actualizados. Sin

embargo no en todos los municipios del país existe una normatividad correspondiente. De acuerdo con un diagnóstico realizado por el autor casi el 80 % de los estados del país cuenta con un atlas de riesgo, sin embargo a nivel municipal sólo el 2 % cuenta con un diagnóstico sobre peligro (Zepeda, 2003).

En este sentido, se hace una recomendación para incorporar a las autoridades locales en las tareas de ubicación de zonas de peligro, con base en experiencias de gobierno, esto significa representar la respuesta institucional (principalmente la atención de la emergencia) en los lugares con mayor incidencia ante el impacto de fenómenos de diferente origen. De ahí la necesidad de generar mapas impresos a gran escala, para su uso por parte de las autoridades de protección civil, sin embargo en muchos casos se integran mapas en tamaños fácilmente reproducibles (carta y oficio), pero se corre el riesgo de que se disminuya la cantidad y calidad del contenido geográfico que se quiera mostrar, dificultando su uso.

La Secretaría de Gobernación ha publicado algunas guías generales para la elaboración de atlas de riesgo, las cuales pueden ser consultadas en el CENAPRED o en su página de Internet. Estas publicaciones son: la “Guía cartográfica para el levantamiento de riesgos a nivel municipal” y la “Guía técnica para la preparación de mapas de ubicación geográfica de riesgos”; sin embargo estas guías no establecen claramente como considerar el peligro, ni mencionan criterios para determinar el riesgo, por lo que su uso se limita a las consideraciones geográficas básicas y de uso de cartografía. Es importante mencionar que la presente guía llena aquellos aspectos que las publicaciones anteriores no contemplan.

En la figura 2.6 se presenta un fragmento de un mapa de riesgo municipal, elaborado como ejemplo para la guía mencionada.

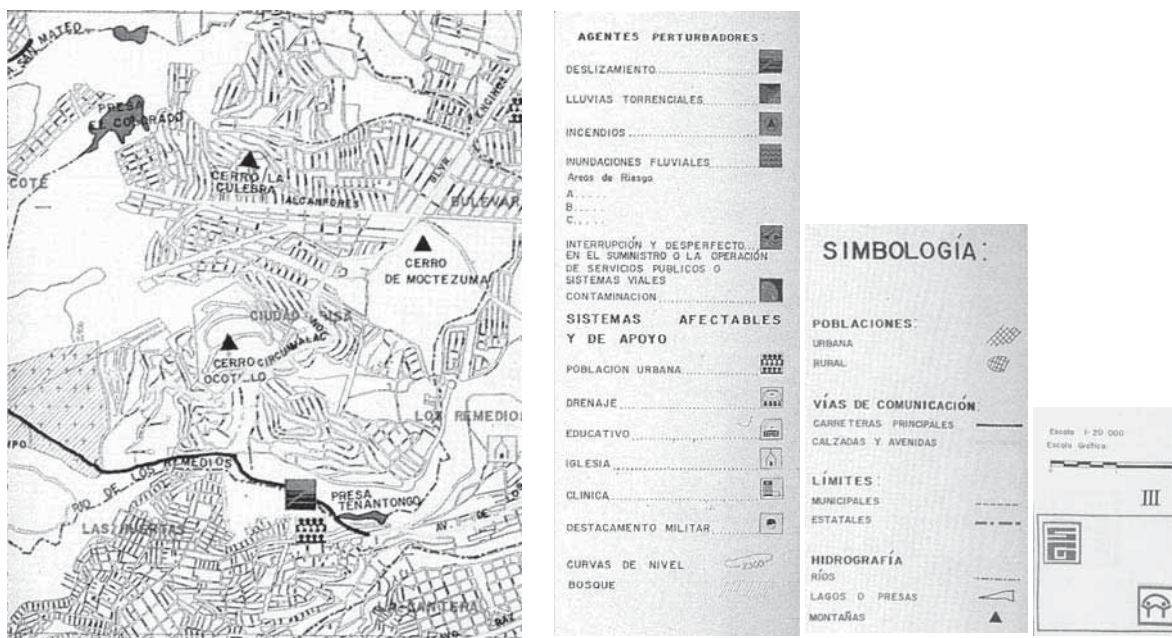


Figura 2.6 Fragmentos del mapa de peligros del municipio de Naucalpan, elaborado por la Coordinación General de Protección Civil

2.3.3 Conocimiento científico

Es el análisis que se hace de los fenómenos desde el punto de vista de las diferentes ciencias, en el que se busca determinar las causas y procesos que originan los diversos tipos de fenómenos naturales y antropogénicos y se llevan a cabo investigaciones analíticas y experimentales para corroborar modelos físicos y matemáticos que representen la dinámica de los procesos que ocurren en la tierra.

Como resultado de investigaciones en diversos ámbitos, se realizan estudios que determinan las intensidades y probabilidades de ocurrencia de los diversos fenómenos que inciden en el riesgo de desastre, muchas veces los resultados tienen un alto nivel técnico y están dirigidos a un grupo de especialistas que trabajan sobre las mismas líneas de investigación, mientras que algunos otros han servido como apoyo para la toma de decisiones con el fin de reducir el impacto de los fenómenos.

Parte importante de este trabajo es la modelación, la cual en la mayoría de los casos requiere de software especializado, con el cual se realizan procesos matemáticos complicados, así como de equipo de cómputo con una gran capacidad de procesamiento. Estos desarrollos especiales habitualmente requieren cierta especialización en su uso, y calibración para acercarse a resultados más reales. Sin embargo productos de este tipo, montados sobre bases cartográficas adecuadas, pueden generar mapas de diferentes índoles muy útiles para fines de protección civil, como pudiera ser el mapa de peligros del volcán Popocatepetl. Cabe mencionar como consecuencia de que los desarrollos están orientado principalmente a estudios específicos sobre el peligro o riesgo, no necesariamente pueden se integrados en sistemas de información geográfica, sin embargo, con un proceso de ubicación espacial fácilmente pueden relacionarse con cartografía para su uso a diferentes escalas.

Entre la Figura 2.7 se presentan ejemplos de desarrollos propios del CENAPRED, entre los que se encuentran un programa que determina el riesgo sísmico en el Distrito Federal y un simulador de escenarios de caída de ceniza volcánica del Popocatepetl. Sin embargo algunos de estos desarrollos no necesariamente pueden ser utilizados *a priori*, ya que se requiere de conocimientos especializados para interpretar y valorar los resultados, no obstante son aplicaciones valiosas en la determinación de los niveles de peligro y riesgo existentes en una región determinada.

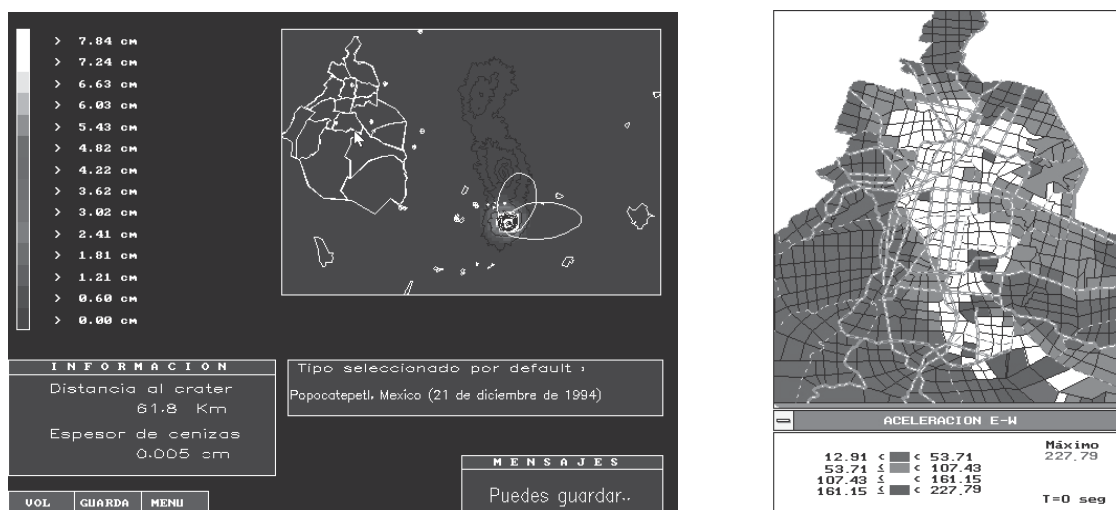


Figura 2.7 Pantallas de salida para dos desarrollos que involucran la modelación de fenómenos

2.4 ASPECTOS GEOESTADÍSTICOS

En esta parte se presentará de manera muy práctica aquellos aspectos geoestadísticos (aquellos referentes a la información geográfica y estadística) necesarios para el desarrollo o actualización de un atlas de riesgos, así como los insumos necesarios para su integración cartográfica, en un contexto de referencia estadístico espacial. Así mismo se hará mención de aquellas instituciones a las que se deberá acudir para contar con apoyo o asesoría en cuanto a las referencias geoestadísticas.

Etimológicamente, Geografía significa: Descripción de la Tierra. La Geografía es la ciencia que estudia los hechos y los fenómenos físicos, biológicos y humanos, considerados en su distribución sobre la superficie de la Tierra, así como la investigación de las causas que los producen y sus relaciones mutuas. En los siguientes párrafos se abordarán aquellos temas asociados a la representación cartográfica de la Tierra.

A continuación se presentarán las fuentes oficiales de información geoestadística a nivel Federal. Sin embargo existen organismos, secretarías de gobierno, comités, universidades e institutos quienes generan información geoestadística regional; se sugiere así mismo llevar a cabo una búsqueda institucional con el fin de lograr la participación o donación de información por parte de éstas. Cabe mencionar que en el mercado existe cartografía tradicional y productos digitales; al respecto se sugiere la utilización de productos cartográficos digitales, ya que pueden ser usados en los sistemas de información y actualizados con mayor facilidad.

En este capítulo se hará referencia particular al INEGI, ya que es el organismo que por ley coordina las medidas tendientes a garantizar la integración de los Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica, bajo normas, principios y procedimientos que logren dar unidad, congruencia y uniformidad a los procesos de captación, procesamiento y presentación de la información estadística y geográfica (PRONADIG 2003). Adicionalmente se harán recomendaciones específicas para visitar el portal del INEGI (www.inegi.gob.mx/), ya que cuenta con gran cantidad de información geográfica y estadística a disposición del público en general.

2.4.1 Representaciones del terreno

Para su estudio, la Tierra puede ser representada por medio de esferas o globos terrestres, cartas geográficas, mapas y planos.

Globos: Representan sobre una esfera todos los mares y relieve continental. Una representación esférica es como se vería la Tierra desde el espacio exterior. Esta es la representación que mejor se ajusta a la realidad, pero su manejo es complicado.

Mapa: Cualquier representación plana de una porción de la superficie terrestre, que, por su extensión (debido a la curvatura de la tierra), requiera del uso de sistemas propios de la cartografía para su representación a través de una proyección.

Carta: Las cartas geográficas representan, con la necesaria minuciosidad, los diversos accidentes geográficos; además su sencillo manejo y fácil transporte las hacen muy útiles. En la actualidad las cartas tienden a ser electrónicos, ya que ofrecen mayor versatilidad.

Plano: Representación en dos dimensiones de una porción de la superficie terrestre que, por ser de pequeñas dimensiones, no requiere de la utilización de sistemas cartográficos. Su mayor

desventaja se debe a su naturaleza plana: una carta siempre contiene deformaciones, por lo que es importante seleccionar una proyección que reduzca esta deformación al máximo.

2.4.2 Sistema de coordenadas geográficas

Para localizar puntos y establecer su relación con otros, es necesario emplear los conceptos de dirección y distancia, esto se representa en términos de un sistema de referencia local, universal o general que tenga como característica un punto de origen.

El sistema de coordenadas geográficas que permite la localización de rasgos sobre la superficie de la Tierra está constituido por dos círculos máximos principales que dividen a la Tierra en partes iguales. Una denominada *ecuador*, que corre de Este a Oeste y es equidistante a los polos, y otro que va desde el polo norte al polo sur denominado *Meridiano de Greenwich* como se presenta en la figura 1.7.

El sistema de coordenadas geográficas que permite la localización de puntos sobre la tierra es definido por un grupo de líneas circulares: los paralelos, que son líneas circulares paralelas al ecuador y cóncavas al polo, y los meridianos que son círculos máximos que convergen en los polos. La ubicación de un punto se obtiene definiendo su distancia al norte o sur del ecuador (0°), y al este u oeste del meridiano de origen (0°).

La unidad de medida empleada para determinar coordenadas geográficas, es el *grado*, o sea una medida angular. Cada círculo completo está dividido en 360 grados, cada grado en 60 minutos y cada minuto en 60 segundos. Los símbolos que representan estas medidas son: grados ($^\circ$), minutos ($'$) y segundos ($''$).

La *latitud* de un lugar es la medida de arco del meridiano desde el ecuador al punto considerado. Los paralelos de latitud están enumerados de 0 a 90 grados, tanto al norte como al sur del ecuador, por lo que al mencionarlos es indispensable indicar la dirección norte, o sur.

La *longitud* de un lugar es la medida del arco del ecuador entre el meridiano del lugar y el meridiano de origen que es Greenwich. Los meridianos de longitud se enumeran de 0 a 180 grados al este u oeste del meridiano origen, por lo que es indispensable indicar la dirección este, u oeste.

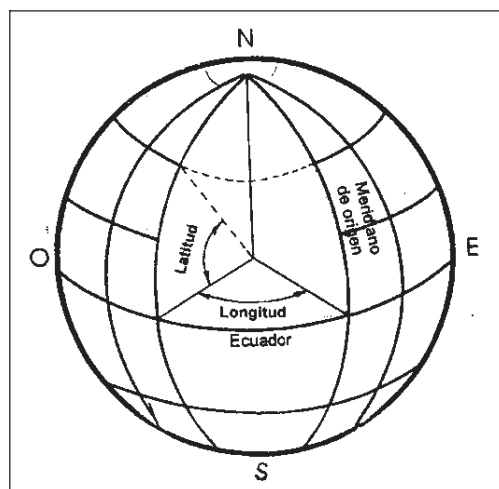


Figura 2.8 Sistema de coordenadas geográficas

Las coordenadas extremas que enmarcan el territorio mexicano son las que se muestran en la figura 2.9:

- ✓ Sur: 14° 32' 27'' latitud norte, en la desembocadura del río Suchiate, frontera con Guatemala.
- ✓ Norte: 32° 43' 06'' latitud norte, en el Monumento 206, en la frontera con los Estados Unidos de América.
- ✓ Este: 86° 42' 36'' longitud oeste, en el extremo sureste de la Isla Mujeres.
- ✓ Oeste: 118° 27' 24'' longitud oeste, en la Roca Elefante de la Isla de Guadalupe

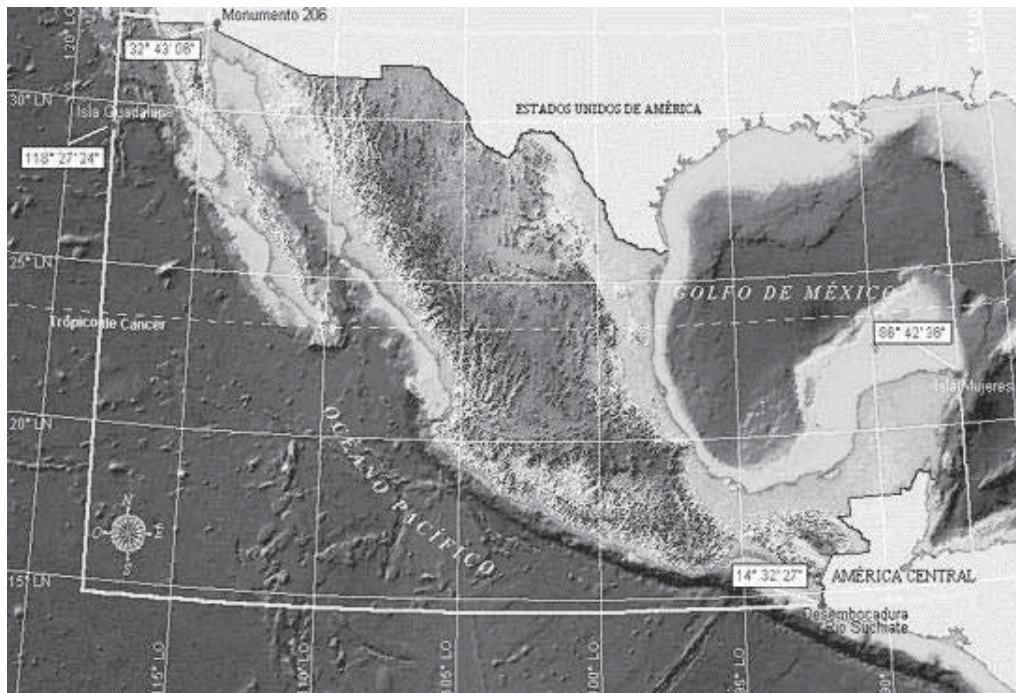


Figura 2.9 *Coordenadas extremas del territorio nacional, la localización geográfica de cualquier estado o municipio deberá estar comprendida en éste contexto geográfico*

2.4.3 Proyecciones cartográficas comúnmente utilizadas en México

Por definición, la *Cartografía* trata sobre la elaboración de mapas e incluye todas las operaciones comprendidas, desde los reconocimientos de campo hasta la impresión final. Su objetivo es representar en un mapa una parte más o menos extensa de la superficie terrestre (mayor a 25 km²). Como sabemos, la superficie de la Tierra, es considerada esférica o elipsoidal, por lo cual es necesario aplicar una cierta transformación para lograr trasladarla al plano.

Se denomina *proyección* al método para representar la superficie de la tierra en un plano, ya que por su forma representa muchas deformaciones o desplazamientos. Este método consiste en proyectar la superficie de la tierra sobre una figura geométrica. También una proyección puede definirse como una red de paralelos y meridianos sobre la cual puede ser dibujado un mapa.

Para trazar las proyecciones se emplean actualmente cálculos matemáticos muy precisos, pero la idea general se basa en la proyección de las sombras de los meridianos y paralelos de una

esfera sobre una superficie que puede convertirse en plana sin deformaciones, tal como la superficie cilíndrica o la cónica.

En México se utilizan, de manera oficial, dos proyecciones una cónica y otra cilíndrica.

- a. *Proyección Cónica a Lambert.* Se basa en proyectar a la superficie de la tierra en un cono, cuyo vértice coincide con la línea del eje de rotación a la misma, se utiliza para elaborar cartas en escala 1:1'000,000 o más pequeñas. En éste tipo de proyección, los meridianos asemejan los rayos de una rueda, separados entre sí por distancias iguales (equidistancia) y que convergen hacia los polos. Los paralelos son arcos concéntricos, a igual distancia unos de otros. Se emplea para mapas de países de las latitudes medias (zonas templadas). Esta proyección presenta la configuración y los accidentes geográficos con errores muy pequeños. En el caso de México, se utiliza para representar todo el territorio nacional, o regiones que comprendan varios estados.
- b. *Proyección Universal Transversa de Mercator.* Fue creada por el cartógrafo Mercator, siendo la más utilizada por los marinos. Las direcciones o rumbos magnéticos pueden trazarse en línea recta sobre el papel. Los meridianos y paralelos se cortan en ángulos rectos. Los meridianos están a igual distancia, los paralelos se alejan hacia los polos. Corresponde al tipo cilíndrico, aunque modificado. Es ampliamente utilizada en México para la elaboración de cartas a escala 1:250,000, 1:50,000 y mayores.

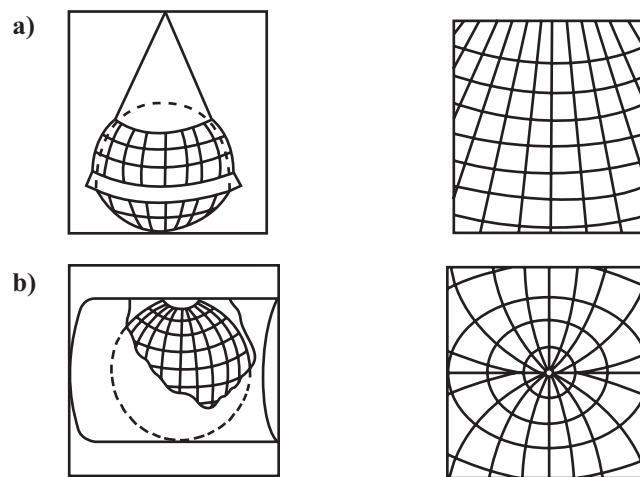


Figura 2.10 Gradícula e ilustración gráfica para las proyecciones utilizadas en México, a) Cónica Conforme a Lambert, b) Universal Transversa de Mercator

2.4.4 Sistema de referencia oficial para México (INEGI)

La Geodesia es la ciencia que estudia y define la dimensión y forma de la Tierra. Tal forma recibe el nombre de Geoide y se genera por la superficie equipotencial del campo de gravedad, la que de manera práctica se relaciona con el nivel medio del mar en reposo.

El problema de la Geodesia es la determinación de la figura de la Tierra y se su Campo gravitatorio externo en función del rompo así como también la determinación del elipsoide medio terrestre a partir de parámetros observados sobre la superficie o desde el exterior.

2.4.4.1 Sistema geodésico de referencia

Los sistemas de referencia geodésicos definen la forma y dimensión de la Tierra, así como el origen y orientación de los sistemas de coordenadas. Los sistemas de referencia geodésicos pueden ser descritos en base a dos modelos matemáticos: el esférico y el elipsóidico, los cuales son obtenidos en base parámetros físicos medidos sobre la superficie terrestre, tales como la aceleración de gravedad.

Los sistemas globales de coordenadas nos permiten definir posiciones sobre la superficie de la Tierra. El más comúnmente usado es el de la latitud, longitud y altura. El primer meridiano y el ecuador son los planos que definen la latitud y la longitud.

Según la normas que define el INEGI para el Sistema Geodésico Nacional, se adopta el conceptualizado por la Asociación Internacional de Geodesia a través del Sistema Geodésico de Referencia (GRS80), y éste deberá estar referido al Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) definido por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) para el año 2000, con datos de la época 2004.0 denominado ITRF00 época 2004.0 asociado al GRS80, el cual es el Marco de Referencia oficial para México.

2.4.4.2 Sistema de alturas y datum vertical

En lo que respecta a las alturas, todo punto perteneciente a un levantamiento geodésico vertical, deberá estar referido al nivel de referencia vertical definido por el Datum Vertical Norteamericano de 1988 (NAV88), debiéndose expresar sus valores en metros.

2.4.4.3 Sistema de coordenadas horizontales y proyección cartográfica

Las coordenadas X (oeste) y Y (norte) para puntos y líneas están expresadas de acuerdo con la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), en las escalas 1:50,000 y 1:250,000, y con la proyección Cónica Conforme de Lambert con paralelos base 17°30' y 20°30' para las escalas 1:1'000,000 y 1:4'000,000. Para esta proyección, el punto de coordenadas 12° de latitud norte y 102° de longitud oeste y con coordenadas de 2,500,000 m en X y 0 m en Y, es considerado como el falso origen.

La UTM es una proyección cilíndrica que en su desarrollo, genera 60 zonas sucesivas para cubrir la totalidad del globo terrestre. Cada zona es de 6 grados de longitud por 80 grados de latitud al norte y al sur. La numeración de las zonas ocurre del 1 al 60 a partir del meridiano 180 grados hacia el Este, en particular a México le corresponden las zonas 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16, incluida la zona económica exclusiva.

Por convención, cada una de las zonas se divide en fajas transversales de 4 grados de latitud, (en la zona en donde se encuentra México, un grado equivale aproximadamente a 110 km) las cuales son identificadas para la primer faja a partir del ecuador, a México le corresponden las fajas D,E,F,G, H e I, como se muestra en la figura 2.11.



Figura 2.11 Zonas y fajas de la proyección UTM para México

2.4.5 Escalas cartográficas comúnmente utilizadas en México

Se puede considerar que cualquier mapa es una representación, en la mayoría de los casos muy reducida del área que representa y por ello, los rasgos, áreas y lugares deben aparecer reducidos en la misma proporción.

La escala es la relación que existe entre la representación gráfica del mapa con respecto a la superficie terrestre Real.

En los diferentes tipos de representación geográfica aparecen cifras que señalan el valor de la escala utilizada en su composición, por ejemplo: si al pie de un mapa se lee escala 1:100,000, quiere decir que tiene una reducción a la cienmilésima parte de la superficie reproducida, es decir, que un metro de longitud en el mapa representa 100,000 metros de longitud verdadera. La escala determina el nivel de detalle, el tamaño y en cierta medida el costo, caracterizando el mapa. Su correcta elección es determinante para representar con éxito la información deseada.

La escala de los mapas puede ser representada de dos maneras:

- *Mediante una representación gráfica:* Como una línea de cierto grosor donde gráficamente cada centímetro en el mapa representa kilómetros en el terreno. En la figura 2.12 se presenta un ejemplo de la representación gráfica de la escala.



Figura 2.12 Ejemplo de la representación gráfica de una escala

- *Mediante una fracción representativa:* Fracción representada = $1/1,000,000$ o también fracción representada = F.R. = $1,000,000$ lo cual estaría significando que las distancias en el mapa multiplicadas por el denominador de la escala, constituyen las distancias reales sobre el terreno, expresadas en la misma unidad de medida empleada en el mapa. El numerador de la fracción representativa es siempre la unidad. Mientras mayor es el denominador, menor será la escala del mapa. En el caso de que el mapa represente una reducción de 1,000,000 veces, cada centímetro que aparezca en el mapa debe corresponder a diez kilómetros en la realidad. En este caso la escala sería: 1 centímetro = 10 kilómetros

En un mapa construido a gran escala es posible incluir numerosos detalles, pero según disminuye la escala, menor es el número de datos que puede contener. Al entender el uso de la escala, se facilita conocer la distancia que separa un punto del otro representado en el mapa lo que permite, por ejemplo calcular el tiempo de su recorrido. En la tabla 2.1 se presenta un resumen de las escalas de la cartografía comúnmente utilizada.

Tabla 2.1 Escalas de cartografía existente en México

Escala de la tabla	Nombre de la carta	1 cm corresponde a	1 cm ² en la carta corresponde a	1 km real corresponde a	Dist. Mínima real observ.
1:1,000	mil	10 m	$0.0001 \text{ km}^2 = 0.01 \text{ ha}$	100 cm	0.25 m
1:5,000	5 mil	50 m	$0.0025 \text{ km}^2 = 0.25 \text{ ha}$	20 cm	1.25 m
1:10,000	10 mil	100 m	$0.0100 \text{ km}^2 = 1.00 \text{ ha}$	10 cm	2.50 m
1:20,000	20 mil	200 m	$0.0400 \text{ km}^2 = 4.00 \text{ ha}$	5 cm	5 m
1:50,000	50 mil	500 m	$0.25 \text{ km}^2 = 25 \text{ ha}$	2 cm	12.5 m
1:200,000	200 mil	2 km	$4 \text{ km}^2 = 400 \text{ ha}$	5 mm	50 m
1:250,000	250 mil	2.5 km	$6.25 \text{ km}^2 = 625 \text{ ha}$	4 mm	62.5 m
1:1,000,000	millón	10 km	$100 \text{ km}^2 = 10,000 \text{ ha}$	1 mm	250 m

Se propone para la elaboración de los atlas de riesgos dos escalas principales; para zonas urbanas (ciudades y áreas metropolitanas) 1:5,000, y una escala menor (1:20,000 ó 1:50,000) para la representación estatal con base a la extensión territorial de la entidad federativa.

Es importante aclarar que la cartografía base que se utilizará tendrá una escala de origen, y que esta escala puede ser diferente a la de su impresión, por lo que debe cuidarse este aspecto ya que puede alterarse la interpretación de un mapa cuando éste solo tenga especificada la escala gráfica y carezca de la escala de origen o de elaboración. En la actualidad con el manejo de los SIGS se puede incrementar o disminuir la escala de visualización fácilmente, siempre y cuando se tenga presente la escala de elaboración que es la que determina la precisión de los rasgos geográficos.

2.4.6 Los símbolos del mapa

Como se ha mencionado anteriormente un mapa o una carta no son una reproducción exacta de la superficie terrestre, sino una representación. El responsable de elaborar un mapa, selecciona aquellos rasgos de la naturaleza o infraestructura que considera deben ser representados de acuerdo

con objetivo que debe cumplir el mapa va a ser dedicado y los representa mediante una simbología. Estos símbolos constituyen el lenguaje visual. Mientras mejor se conozcan los símbolos empleados por los cartógrafos para representar los distintos fenómenos geográficos, mayor cantidad de información se obtendrá del mapa, el cual ampliará los conocimientos de la región, provincia o país.

El INEGI tiene cierta simbología para sus cartas topográficas y temáticas, está puede ser consultada en el documento “Catálogo de símbolos y sus especificaciones para las cartas topográficas”, la cual esta disponible en su página de Internet. Otro trabajo interesante y que da algunas recomendaciones para la utilización de simbología pero más orientando a su uso por medio de los SIGS, por medio de los diccionarios de datos geográficos, es el documento “Guía metodológica para la elaboración de atlas de peligros naturales a nivel de ciudad, identificación y zonificación”, elaborado por el Consejo de Recursos Minerales y la Secretaría de Desarrollo Social.

Es importante mencionar que no existe una norma de simbología para la representación gráfica de los riesgos, sin embargo existen símbolos universales que pueden ser utilizados y que la población conoce e identifica.

2.4.7 La representación del relieve en los mapas

El relieve es la diferencia del nivel entre los distintos puntos de la superficie terrestre. La representación del relieve en los mapas se logra mediante la utilización de distintos métodos. Uno de ellos es el de las *curvas de nivel* que van uniendo los puntos situados a igual altura. Otro es por medio de modelos digitales del terreno, o de elevación (MDT o MDE), que son imágenes compuestas por píxeles (mínima representación gráfica en la pantalla de una computadora) que tienen incorporada información sobre la latitud y longitud, así como sobre las alturas de la zona de representación. Este tipo de representación es muy útil para el análisis espacial mediante SIG de inundaciones deslizamiento de laderas y flujos, entre otros fenómenos.

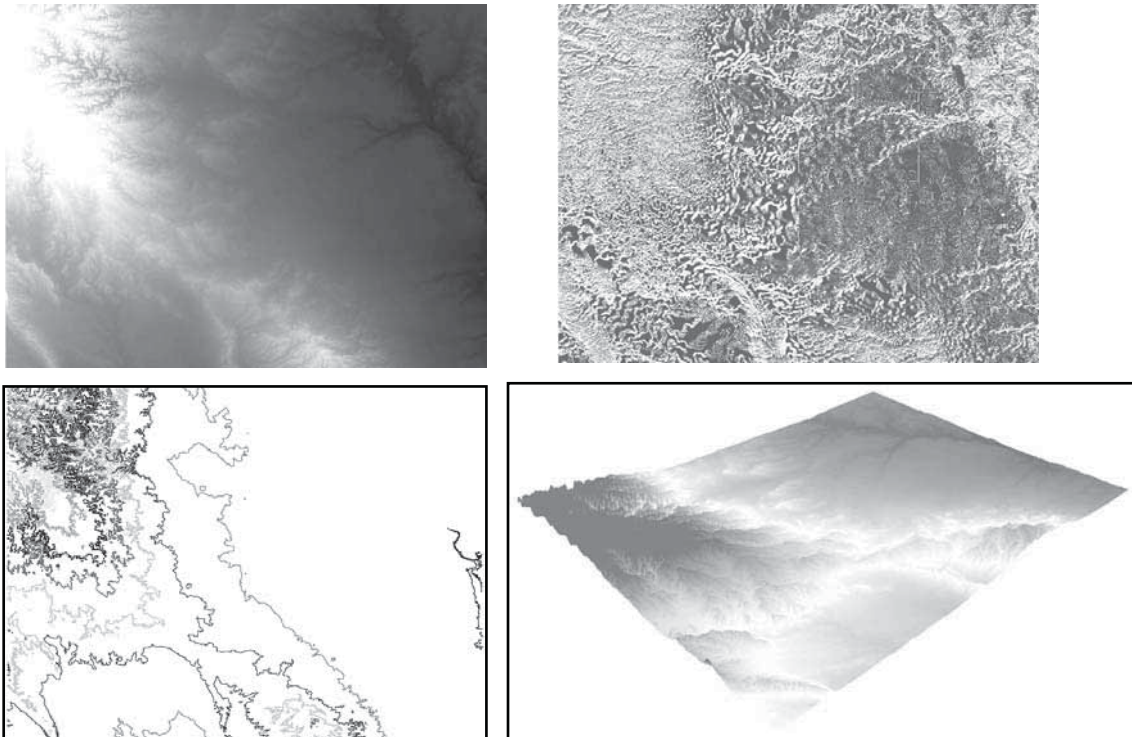


Figura 2.13 Modelo digital del terreno, sombreado del modelo, altimetría y modelo tridimensional

En la figura 2.13 se presenta un modelo digital de elevación con una resolución de 30 metros y su representación de forma vectorial por medio de curvas de nivel a cada 20 metros, también se presenta un relieve de la misma zona, generado por medio de un sombreado del modelo digital del terreno y por último una vista tridimensional de la misma zona. Estos elementos son fundamentales para el análisis del terreno el cual sirve para generar nueva información que sea útil para realizar diferentes análisis sobre peligro.

2.4.7.1 Información Geoestadística básica y fuentes fundamentales de obtención

Se presentará en forma de tablas todos aquellos aspectos básicos en cuestión geoestadística que deberá contemplar un atlas de riesgo, también se hará referencia a las fuentes de información. No existe un modelo único para presentar la información, la recomendación es que esta esté integrada en un sistema de información mediante bases de datos o tablas.

2.4.7.2 Aspectos históricos

Se debe contar con un breve resumen histórico que mencione el año de formación del municipio, así como una breve crónica histórica de los sucesos más importantes que han transcurrido en la región.

Tabla 2.2 Aspectos históricos

Contenido	Observaciones	Fuentes de información
Resumen histórico	Es importante tener un marco histórico de referencia que nos permita conocer el año de conformación del municipio, hasta información relacionada a los sucesos catastróficos históricos que ocurrieron en el lugar	Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) www.inafed.gob.mx Cronistas oficiales Búsquedas bibliográficas específicas Búsquedas hemerográficas regionales

2.4.7.3 Aspectos geoestadísticos básicos

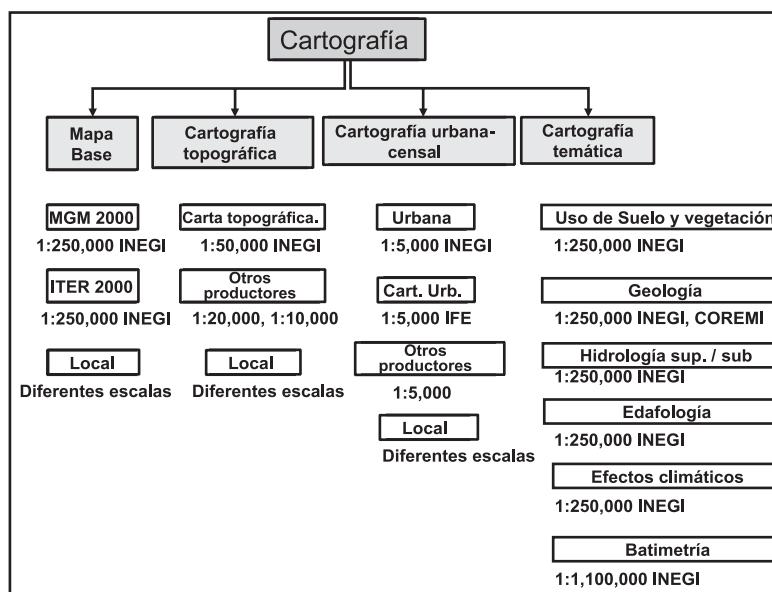
En la tabla 2.3 se presentan a consideración de la presente guía cuales deberán ser los aspectos mínimos en materia de información geográfica y estadística que debe contener un atlas de riesgo, se enumeran aquellos temas, los contenidos y las fuentes más conocidas a nivel nacional (principalmente la institución rectora en el tema, el INEGI), sin embargo es importante señalar que la información geoestadística regional algunas veces no coincide con la generada por el INEGI, queda a criterio de los responsables de elaborar el atlas las fuentes a considerar, siempre y cuando cumplan con el rigor metodológico necesario (el cual deberá ser referido), para llevar a cabo un trabajo de calidad. Gran parte de esta información puede ser consultada en la página del INEGI, en su sección de información estadística:

Tabla 2.3 Aspectos geoestadísticos

Tema	Contenido	Fuentes de Información
Aspectos generales geográficos	Coordenadas geográficas extremas (latitud norte, longitud oeste), altitud, porcentaje territorial, colindancias principales, localidades, clima, aspectos fisiográficos, uso de suelo y vegetación, hidrografía, geología.	INEGI (www.inegi.gob.mx) Cuadernos estadísticos municipales y delegacionales. Principales resultados del XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Sistema Municipal de Bases de Datos. Marco geoestadístico municipal 2002. Información específica regional.
Aspectos generales socio-estadísticos	Población y vivienda, proyecciones, índices de marginación, salud, educación.	INEGI (www.inegi.gob.mx) Cuadernos estadísticos municipales y delegacionales. Principales resultados del XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Sistema Municipal de Bases de Datos. Consejo Nacional de Población (www.conapo.gob.mx/). Instituto Nacional de Salud Pública (www.insp.mx). Secretaría de Educación (www.sep.gob.mx). Información específica regional.
Aspectos generales económicos	Unidades de producción, agricultura, ganadería, industria, finanzas públicas.	INEGI (www.inegi.gob.mx). Cuadernos estadísticos municipales y delegacionales. Sistema Municipal de Bases de Datos. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. (www.sagarpa.gob.mx) Información específica regional.
Infraestructura de comunicación	Carreteras, autopistas, vías de ferrocarril, aeropuertos, puertos.	INEGI (www.inegi.gob.mx). Cuadernos estadísticos municipales y delegacionales. Centros SCT, estatales. Instituto Mexicano del Transporte (www.imt.mx). Información específica regional.

2.4.8 Cartografía recomendada

A continuación se presentan las recomendaciones para la adquisición de cartografía básica, topográfica y temática, para la integración de información geoestadística en un atlas, así como los nombres de los productos y las instituciones o empresas que los elaboran. En la figura 2.14 se presenta, un esquema de los tipos de cartografía existente en el mercado y las escalas usadas.

**Figura 2.14 Tipos de cartografía, escalas e instituciones productoras**

2.4.8.1 Mapa base (INEGI)

Para contar con un mapa base es indispensable el Marco Geoestadístico de la República Mexicana (MGM, 2000) éste es la base utilizada oficialmente por la Administración Pública Federal para diferentes fines. Si el estado no cuenta con una base cartográfica elaborada por organismos estatales o municipales, se debe recurrir a este producto, con el fin de contar con una división territorial, de colindancia y referenciación espacial correcta. Se deberá presentar la ubicación del municipio dentro su estado, así como la ubicación de éste en el contexto de la República Mexicana.

El MGM2000 está disponible en disco compacto, tiene archivos digitales con información vectorial y alfanumérica que representa a las 2,443 áreas geoestadísticas municipales del país y a 32 áreas estatales.

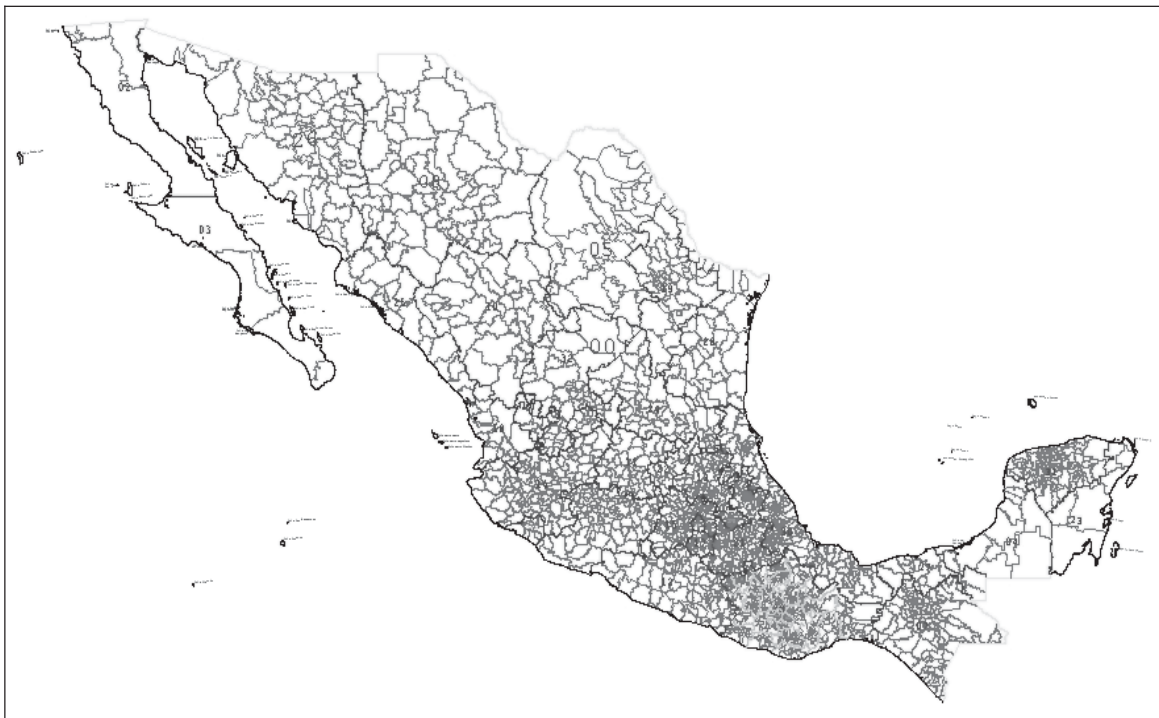


Figura 2.15 Marco Geoestadístico de la República Mexicana (MGM 2000), INEGI

2.4.8.2 Integración Territorial (INEGI)

La Integración Territorial (ITER 2000) representa el número total de localidades existentes en el país, con información referente al XIII Censo de población y vivienda 2000. Este producto sirve para ubicar de forma geoespacial a las localidades (todo lugar que esté habitado) de los estados y de los municipios, además es útil para elaborar análisis espaciales sobre aspectos de población y vivienda, ya que medirán de manera indirecta aspectos de vulnerabilidad física y social.

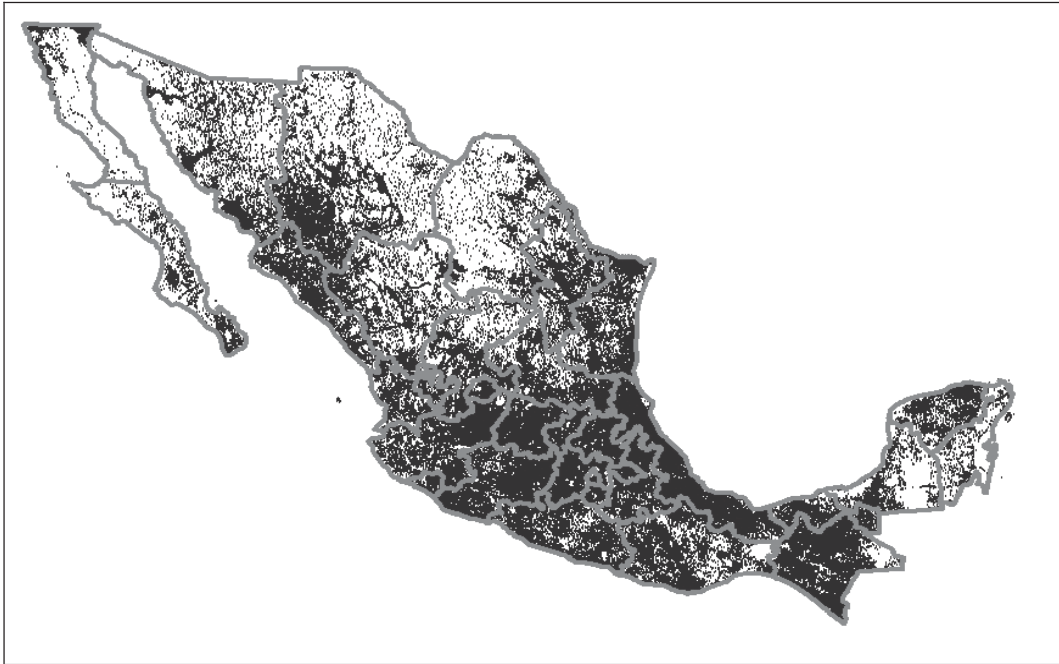


Figura 2.16 Integración territorial de México (ITER 2000), INEGI

2.4.9 ¿Cómo obtener datos geoestadísticos?

Parte indispensable para la elaboración de un atlas de riesgo, es contar con información de diferentes ámbitos, temas, escalas, etc., a diferentes niveles y sobre todo considerar aspectos sustantivos tales como la gestión, administración y difusión, éstas actividades son en sí un aspecto fundamental para una buena integración de cualquier proyecto encaminado a la identificación del riesgo.

En la figura 2.17 se presenta un diagrama de flujo donde se muestran las opciones para obtener datos geoestadísticos y cartografía. Es importante considerar que de acuerdo con la bibliografía existente, se estima que alrededor del 60% de un proyecto para elaborar un atlas se destina a la adquisición de información, por lo que se deberá tener en cuenta que la información geográfica y estadística es costosa y que requiere de cierta infraestructura computacional para su manejo y almacenamiento.

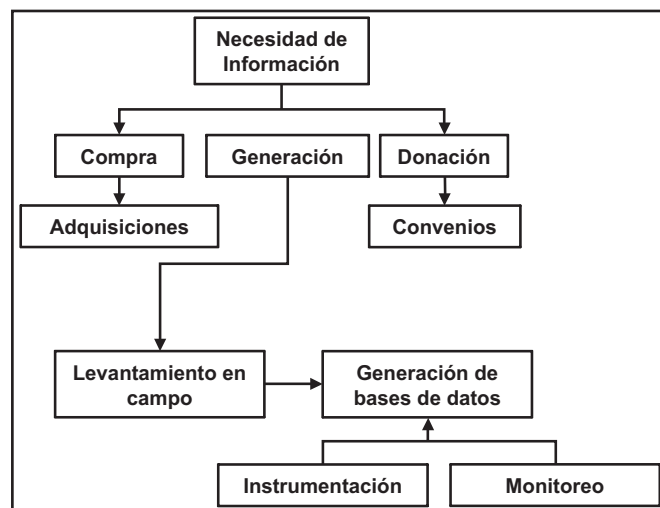


Figura 2.17 Diagrama de flujo para la obtención de información

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta información general sobre las características cartográficas que se deberán tomar en cuenta para la elaboración de atlas estatales de riesgo, además de presentar aquellas fuentes de información indispensables para el diagnóstico del peligro y la identificación de riesgo de desastre a diferentes niveles de detalle.

En México existen diversas normas sobre la producción y manejo de información geográfica y estadística, todas ellas elaboradas por el INEGI y consensuadas con instituciones y organismos de la administración pública federal y entidades federativas, resulta pues indispensable contemplar éstas para contar con información homogénea, compatible y de calidad, que permitirá que los atlas cuenten con una base sólida y que el resultado de los mismos pueda integrarse de manera transparente a un sistema que contenga estudios sobre riesgo a nivel nacional.

Como forma de consolidar un diagnóstico de peligro, vulnerabilidad y riesgo que pueda ser actualizado de manera constante se sugiere contar con un departamento específico que se haga cargo de su desarrollo, mantenimiento y actualización, para esto es necesario contar con especialistas en sistemas de información con una capacitación constante, ya que la tecnología en esta materia evoluciona de manera constante.

Es importante mencionar 3 aspectos fundamentales en la elaboración de un atlas de riesgos:

1. El desarrollo de un atlas de riesgo, es una tarea difícil que involucra la participación de muchas instituciones y en especial de los estados.
2. El nivel de detalle sobre el análisis de riesgo, estará en función de la información geográfica y estadística con que se cuente, así como de las metodologías que se apliquen para su valoración.
3. La integración de un atlas de riesgo se podrá hacer en varias etapas, siempre y cuando el objetivo sea contar con información de calidad sobre el riesgo de desastre para una zona.

Finalmente es importante mencionar que con la aplicación, calibración y utilización de estas recomendaciones sobre aspectos geoestadísticos y recursos tecnológicos de información por parte de las entidades encargadas de la protección civil, seguramente surgirán dudas específicas, así como correcciones y sugerencias que permitirán mejorarlas.

GLOSARIO

El presente glosario fue elaborado por el INEGI como parte de las acciones encaminadas a contar un mismo marco de referencia para la nomenclatura a utilizar por los productores y usuario de información geográfica del País, éste fue comentado y revisado en la mesa de normatividad dentro del Grupo de desarrolladores y usuarios de información geográfica de la administración publicación.

Acceso a la información Geográfica: Políticas, normas, mecanismos o formas utilizadas por la Unidad Administrativa o por el Estado para que los usuarios de los datos y productos generados por ésta, puedan ser obtenidos por sus usuarios reales y potenciales, internos y externos.

Ejemplo: Uso de Internet, a través de agencias de ventas, por convenio o contrato, a través de nodos de Clearinghouse, etc.

Adquisición o captura de datos o de información geográfica: Compilación de datos e información geográfica mediante la aplicación de métodos directos o indirectos, sobre la base de una determinada tecnología

Ejemplos: Trabajos directos de campo, interpretación aerofotográfica o satelital, investigación sobre el terreno, estudios e investigaciones geográficas, muestreos de campo, levantamientos batimétricos, meteorológicos, hidrográficos, topográficos y geodésicos, recopilación de información documental diversa, procesos de conversión digital, etc.

Aguas continentales: Datos e información geográfica de cualquier índole que se refiera al agua localizada en el subsuelo, el suelo o la superficie terrestre.

Ejemplo: Lagos, lagunas ríos, arroyos, corrientes, superficiales o subterráneos, pozos de agua, manantiales, contaminación de las aguas, etc.

Área Geográfica Estatal: Espacio geográfico que se localiza en una misma entidad federativa y que incluye dos o más municipios vecinos.

Área Geográfica Regional: Espacio geográfico que se localiza en dos o más entidades federativas vecinas. Se dice también de aquellas regiones que presentan características geográficas uniformes con respecto a un determinado criterio (clima, fisiografía, geología, etc.)

Área Geográfica Municipal: Espacio geográfico ubicado en un mismo municipio y que comprenda dos o más localidades próximas, sin discontinuidades

Área Geográfica Local: Espacio geográfico relativo a una localidad y su entorno inmediato.

Atmósfera: Datos e información geográfica referidos al medio atmosférico nacional.

Ejemplo: Climas, precipitación, temperatura, humedad, vientos, ciclones, huracanes, nevadas, contaminación del aire, etc.

CCL, proyección: Cónica Conforme de Lambert, es una proyección cartográfica cuya concepción geográfica es de tipo cónico desarrollable.

Clasificadores de Información Geográfica: Sistemas que permiten la organización conceptual y ordenamiento de los datos e información geográfica con arreglo a determinados criterios establecidos, a fin de facilitar su procesamiento y uso posterior por parte de los usuarios.

Clearinghouse: Término en Inglés que denota la integración de Metadatos en un nodo de Internet con norma específica para ponerlo accesible a los interesados.

Dato geográfico: Unidad básica de información geográfica, caracterizada por tener una ubicación en el espacio con respecto a un determinado sistema de referencia, y por uno a más atributos asociados.

Difusión de Información Geográfica: Acciones y formas empleadas para publicitar los datos e información geográfica y facilitar su distribución y conocimiento por parte de los usuarios.
Ejemplos: difusión mediante ventas, donaciones, intercambio, suscripciones, publicidad en medios, promociones, eventos, etc.

Equipamiento informático: Es el parque de infraestructura computacional con que cuentan los generadores de información geográfica.
Ejemplo: Graficador de plumas, graficador de inyección, impresora, servidor, estación de trabajo, computadora personal, etc.

Equipamiento geográfico: Conjunto de equipos, máquinas, herramientas y dispositivos específicos empleados en la generación de información geográfica.
Ejemplo: Distanciómetros, equipos GPS, estaciones totales, equipo fotogramétrico, prensas litográficas, laboratorios diversos, etc.

Formatos (para captura de la información geográfica o para su procesamiento): Documentos estructurados para capturar datos e información geográfica de una manera estandarizada o para su procesamiento. Se dice también de los formatos de datos referidos a presentaciones vectoriales, ráster y alfanuméricas en el medio digital.

Gateway: Nodo de Web donde residen Metadatos.

Geodesia: Ciencia que estudia la forma y dimensiones de la tierra o de partes importantes de ella, y con la que pueden obtenerse datos que permiten fijar con exactitud los puntos de control, que constituyen la base estructura y fundamental de las cartas y mapas.

Información Complementaria: Gráficas, mapa, datos, información geográfica o estadística empleados para auxiliar y mejorar la comprensión de un producto geográfico, ampliando y enriqueciendo su contenido.
Ejemplo: Registros climatológicos, muestras de laboratorio, fotografías ilustrativas, documentos alusivos, etc.

Información Geográfica: Conjunto de datos, símbolos y representaciones organizados para conocer y estudiar las condiciones ambientales y físicas del territorio nacional, la integración de ésta en infraestructura, recursos naturales y la zona económica exclusiva.

Información Geográfica Analógica: Todo rasgo geográfico representado con normas cartográficas para su integración en un mapa impreso a cierta escala.
Ejemplo: Toda la cartografía elaborada por métodos tradicionales y comúnmente con formas de presentación impresa en papel.

Información Geográfica Digital: Todo rasgo geográfico con ubicación geográfica, representado digitalmente y codificado para su identificación según una convención determinada.

Ejemplo: Cartografía digital, ortofotos digitales, registros toponímicos digitales, archivos DXF, archivos en formato ASCII, etc.

Infraestructura: Datos e información geográfica que se refieren a cualquier obra hecha por el hombre ubicada en alguno de los 6 ámbitos geográficos generales del territorio nacional incluyendo la Zona Económica Exclusiva.

Ejemplo: Carreteras, localidades, puentes, presas, tendidos eléctricos, redes de comunicación telefónica, faros, puertos, límites político administrativos, demarcaciones geográficas de cualquier tipo, plataformas petroleras, etc.

Información geo-referenciada: Cualquier tipo de información que pueda ser ubicada mediante un conjunto de coordenadas geográficas con respecto a un determinado sistema de referencia.

Levantamiento Geodésico: Conjunto de procedimientos y operaciones destinados a determinar las posiciones relativas tridimensionales de puntos sobre la superficie terrestre, inclusive su campo gravimétrico, tomando en consideración la curvatura terrestre.

Localidad: Todo lugar que esté habitado.

Mares: Datos e información de las masas de agua adyacentes al continente (mares y océanos), intercomunicadas con los vastos cuerpos de agua salada que ocupan las depresiones de la tierra, incluyen el suelo y subsuelo marinos, la información sobre recursos naturales en dichas áreas y la infraestructura hecha por el hombre como estructuras artificiales, tendido de cables y tuberías etc.

Ejemplo: Cartografía batimétrica, náutica, de pesca, oceanográfica; tendido de ductos y cables submarinos; emplazamiento de plataformas de perforación; estudios gravimétricos, geomagnéticos y sísmicos; descripción general de hábitats y especies marinas; distribución de sedimentos del fondo marino; contaminación marina; etc.

Mercator, proyección: Proyección de Mercator, basada en un cilindro desarrollable, la más comúnmente empleada en la cartografía marina.

Metadato: Información que describe en forma resumida la información o características de un dato.

Normatividad: Disposiciones de carácter técnico que tiene como propósito establecer estándares o lineamientos para decidir la generación de productos geográficos, y para uniformar dicha información en cualquiera de sus procesos de captura, organización, procesamiento, mantenimiento, representación, transferencia, difusión, manejo y acceso de los datos, así como productos geográficos.

Ejemplo: Sistemas de referencia geodésica, escalas, formatos, glosarios, normas técnicas referentes a cualquier materia geográfica, sistemas de clasificación climática o de suelos, etc.

Procesamiento de Información Geográfica: Organización, integración, estructuración y tratamiento de información geográfica mediante métodos analógicos o digitales aplicados a los datos e información capturada.

Productos Geográficos: El resultado final de la ejecución de un proyecto geográfico previamente concebido.

Ejemplo: Un estudio hidrológico, un mapa, una serie cartográfica, una base de datos, etc.

Propietario de Información Geográfica: Aquella persona, empresa, institución o dependencia etc. reconocida como tal a través de un certificado de registro emitido por autoridad competente. (Instituto Mexicano de Derechos de Autor y/o Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial).

Proyecto Geográfico: Conjunto de documentos, escritos, diseños y cálculos que definen en forma integrada una propuesta de hacer algo en materia de geografía y que a partir de ello habrá de crearse.

Ejemplo: Un proyecto de estudio o investigación geográfica, el proyecto de un mapa o una serie cartográfica, el proyecto de conformación de una base de datos geográfica, etc.

Registros oficiales de información geográfica: Datos e información geográfica contenida en Registros Administrativos constituidos por una disposición jurídica, que tengan el atributo de la trascendencia legal, en virtud de que los actos registrales fueron realizados por un órgano o autoridad competente.

Ejemplo: Los datos capturados en el Registro Agrario Nacional, los nombres geográficos normalizados, los límites político administrativos. etc.

Representación de Información Geográfica: Cualquier forma utilizada para presentar los datos e información geográfica sobre cualquier material y medio, sea éste analógico o digital.

Símbolos de Información Geográfica: Gráficos convenidos para representar un rasgo geográfico.

Ejemplo: Símbolos de la carta topográfica.

Socioeconomía: Datos estadísticos del ser o quehacer humano representado geográficamente.

Ejemplo: Características de la población, indicadores económicos, industriales, pecuarios, etc.

Subsuelo: Datos e información geográfica referidos al estrato inmediatamente por debajo de la superficie terrestre, a profundidades variables después de las inmediatas que corresponden a la Edafología.

Ejemplo: Geología estructural profunda, tectónica, minería subterránea, etc.

Suelo: Datos e información geográfica referente al estrato donde se sustenta la vegetación y es originada por la interacción del clima sobre la roca madre.

Ejemplo: Edafología, uso del suelo, Vegetación, contaminación ambiental, etc.

Tratamiento de la Información Geográfica: Conjunto de operaciones realizadas sobre los datos e información geográfica con arreglo a determinados criterios, metodologías y normas, a fin de obtener un cierto producto geográfico.

UTM, Proyección: Universal Transversal de Mercator, es una proyección cartográfica cuya concepción geográfica es de tipo cilíndrico desarrollable.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Burrough, P. A., McDonell, R.A.(1998), "Principles of geographical information systems", Oxford University Press, New York, (333 pp.)
- Caire, J. (2002), "Cartografía básica", Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México D.F., (289 pp.)
- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (2000), "Ley General de Protección Civil", Estados Unidos Mexicanos, 40 artículos
- Dirección General de Geografía (2004) "Sistema Geodésico Nacional (Versión 1.4)", México D.F., INEGI, (9 pp.)
- Huxhold, W., Levinsohn A. G. (1995), "Managing geographic information system projects", Oxford University Press, New York, (247 pp.)
- INEGI (2003) "Programa nacional de desarrollo de estadística y de información geográfica", Aguascalientes, Ags, (81 pp.)
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., Rhind, D.W. (2001), "Geographic information, systems and science", John Wiley & Sons, Inglaterra, (454 pp.)
- O'Looney, J. (2001), "Beyond maps, GIS and decision making in local government", ESRI Press, Estados Unidos de América, (225 pp.)
- Ordoñez, C., Martínez-Alegría, R. (2003), "Sistemas de información geográfica", Alfaomega Grupo editor, México, (227 pp.)
- Monmonier, M. (1996), "How to lie with maps", 2a edición, The University of Chicago Press, Estados Unidos de América, (207 pp.)
- Monmonier , M. (1997), "Cartographies of danger, mapping hazards in America", The University of Chicago Press, Estados Unidos de América, (363 pp.)
- Secretaría de Desarrollo Social, Consejo de Recursos Minerales (2004), "Guía Metodológica para la Elaboración de Atlas de Peligros Naturales a Nivel de Ciudad, Identificación y Zonificación", Habitat, México, (101 pp.)
- Secretaría de Gobernación, Subsecretaría de Protección Civil y de Prevención y Readaptación Social (1991), "Guía técnica para la preparación de mapas de ubicación geográfica de riesgos", Estados Unidos Mexicanos, (69 pp.)
- Secretaría de Gobernación, Subsecretaría de Protección Civil (1998), "Guía técnica para la implementación del plan municipal de contingencias", Estados Unidos Mexicanos (46 pp.)
- Zepeda R. O. (2003), "Análisis de contenidos de atlas estatales y municipales de la República Mexicana", Informe interno, CENAPRED, (10 pp.)
- Intituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
<http://www.inegi.gob.mx> <<http://www.inegi.gob.mx>>
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres
<http://www.eird.org/>



Fenómenos Geológicos

III. INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

Carlos A. Gutiérrez Martínez

RESUMEN

Empleando el procedimiento que aquí se presenta será posible estimar el nivel de peligro sísmico en dos niveles, básico (Título 3.3) y detallado (Título 3.4), para la integración del apartado correspondiente en un Atlas de Peligros a nivel estatal o municipal.

En el primer nivel se pueden identificar índices del grado de peligro de manera sencilla, en función de mapas regionales incluidos en este documento. Con base en esos resultados se podrán establecer criterios generales para realizar inspecciones y evaluaciones de la seguridad de las edificaciones, recomendaciones, campañas de divulgación, etc., que contribuyan a la mitigación del riesgo sísmico.

Asimismo, para una mejor estimación del peligro sísmico se propone una lista de estudios que, realizados con las directrices sugeridas, producirán resultados útiles para la elaboración y mejoramiento de normas técnicas para el diseño de obras civiles y la planeación del uso de suelo, particularmente en valles aluviales.

Como complemento se describen, de manera breve, los elementos teóricos indispensables.

Para aquellos casos en que la elaboración del Atlas municipal o estatal se encargue de manera total o parcial a consultores externos, la presente metodología puede servir, además de fuente de información, como referencia técnica para la realización de los estudios señalados.

3.1 INTRODUCCIÓN

3.1.1 Antecedentes

La sismicidad es uno de los fenómenos derivados de la dinámica interna de la Tierra que ha estado presente en la historia geológica de nuestro planeta, y que seguramente continuará manifestándose de manera similar a lo observado en el pasado.

Los sismos no pueden predecirse, es decir, no existe un procedimiento confiable que establezca con claridad la fecha y el sitio de su ocurrencia, así como el tamaño del evento. Sin embargo, los sismos se presentan en regiones bastante bien definidas a nivel regional y se cuenta con una estimación de las magnitudes máximas, en función de los antecedentes históricos y estudios geofísicos.

Durante el siglo pasado ocurrieron 71 temblores en el territorio nacional y sus alrededores inmediatos con magnitud mayor o igual que 7; 55 de ellos (77%) con profundidades menores de 40 km, es decir, muy cerca de la superficie terrestre.

Por lo anterior, es claro que el grado de exposición de la población y sus obras civiles a los sismos es alto y, con fines preventivos, resulta indispensable conocer con la mayor claridad cuál es el nivel de peligro de un asentamiento humano o área específica, la distribución geográfica de la influencia del fenómeno, la frecuencia de ocurrencia, etc.

Ante la gran cantidad de información disponible acerca de daños por temblor en diferentes partes del mundo, se piensa que cada vez hay más temblores. Una revisión somera de un catálogo sísmico mundial o regional, que cubra un periodo considerable (50 ó 100 años), dejará ver que no hay variación en el número de temblores por unidad de tiempo. En realidad, lo que sí muestra un crecimiento importante son, por una parte, las áreas ocupadas por los asentamientos humanos que, en la mayoría de los casos, carecen de una planeación adecuada y se desarrollan sobre terrenos proclives a la amplificación del movimiento sísmico, empleando técnicas constructivas inadecuadas. Asimismo, debe tomarse en cuenta que el número de estaciones de registro sísmico aumenta constantemente, por lo que el número de temblores reportados, sobre todo de magnitudes bajas y moderadas, también crece.

El tener conocimiento acerca de la frecuencia con que se presenta el fenómeno, cuál es el impacto que se tendría o ha tenido, el tamaño del área afectable, entre otros aspectos, permite dar la debida importancia a la generación, actualización y aplicación de reglamentos de construcción, así como de especialistas en construcción, definición y planeación de acciones de prevención y organización de grupos de trabajo para la atención de una posible emergencia. Adicionalmente, se tendrá una base importante para la promoción y el sostenimiento de una cultura de protección civil.

3.2 CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE SISMICIDAD

3.2.1 Zonas sísmicas en México

La *litosfera* está dividida en varias placas, cuya velocidad de desplazamiento es del orden de varios centímetros por año. El territorio mexicano se encuentra afectado por la interacción de cinco placas tectónicas (figura 3.1). En los límites entre placas, donde éstas hacen contacto, se generan fuerzas de fricción que impiden el desplazamiento de una respecto de la otra, generándose grandes esfuerzos en el material que las constituye. Si dichos esfuerzos sobrepasan la resistencia de la roca, o se vencen las fuerzas friccionantes, ocurre una ruptura violenta y la liberación repentina de la energía acumulada. Desde el *foco* (o hipocentro), ésta se irradia en forma de ondas sísmicas, a través del medio sólido de la Tierra en todas direcciones.



Figura 3.1 Placas tectónicas y sus correspondientes velocidades relativas promedio

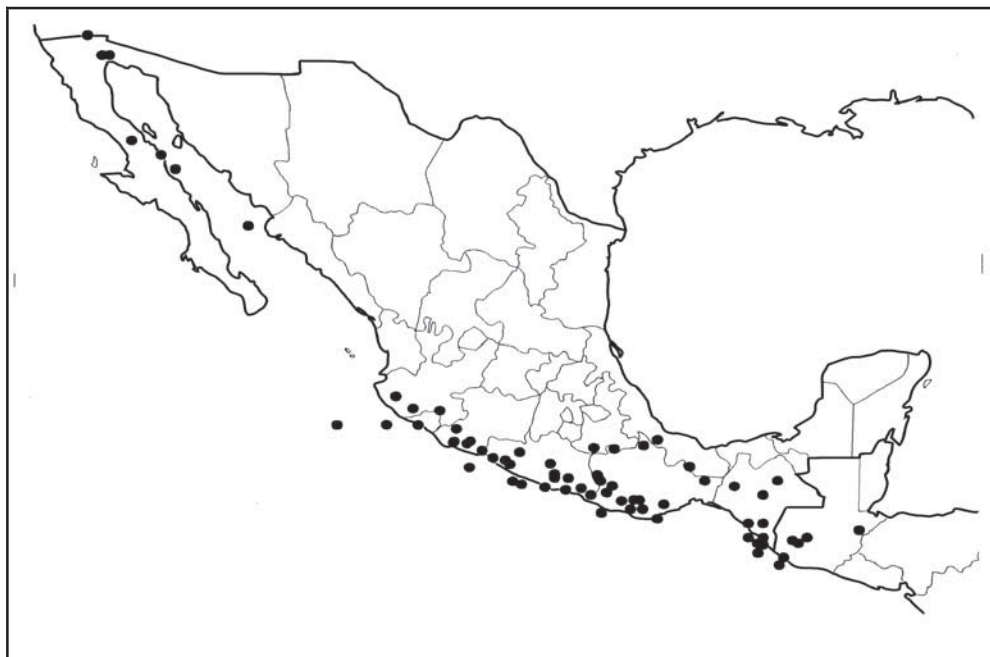


Figura 3.2 *Epicentros de temblores con magnitud 7 ó mayor, ocurridos en o cerca del territorio nacional durante el siglo XX*

Los epicentros de la mayor parte de los terremotos de gran magnitud (mayores o iguales que 7; figura 3.2), que llegan a ocasionar grandes daños, se ubican en las costas de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. También han ocurrido, aunque con menor frecuencia, grandes sismos en el centro y sur de Veracruz y Puebla, norte y centro de Oaxaca y Chiapas, en la zona fronteriza entre Baja California y los Estados Unidos e incluso en el Estado de México y Sonora.

La profundidad típica de los eventos costeros es de 15 a 25 km, mientras que los eventos con epicentros tierra adentro suelen tener profundidades alrededor de 60 ó 70 km.

3.2.2 Intensidad sísmica

La intensidad de un sismo se refiere a un lugar determinado; se asigna en función de los efectos causados *en el hombre, en sus construcciones y, en general, en el terreno natural*. La asignación de un grado de intensidad determinado resulta un tanto subjetiva debido a que depende de la sensibilidad de las personas y de la apreciación que se haga de los efectos. Sin embargo, la asignación cuidadosa de la intensidad sísmica resulta de gran utilidad para estudiar sismos históricos o aquellos que impactan zonas donde se carece de instrumentos de registro.

En la tabla 3.1 se muestra la Escala de Intensidad de Mercalli Modificada Abreviada. Para cada grado se presentan, de manera resumida, los principales efectos asociados.

Tabla 3.1 Escala de Intensidad de Mercalli Modificada Abreviada

I	No sentido, excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
II	Sentido sólo por muy pocas personas en posición de descanso, especialmente en los pisos altos de los edificios. Objetos suspendidos pueden oscilar delicadamente.
III	Sentido muy claramente en interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, pero mucha gente no lo reconoce como un terremoto. Automóviles parados pueden balancearse ligeramente. Vibraciones como al paso de un camión. Duración apreciable.
IV	Durante el día sentido en interiores por muchos, al aire libre por algunos. Por la noche algunos despiertan. Platos, ventanas y puertas agitadas; las paredes crujen. Sensación como si un camión pesado chocara contra el edificio. Automóviles parados se balancean apreciablemente.
V	Sentido por casi todos, muchos se despiertan. Algunos platos, ventanas y similares rotos; grietas en el revestimiento en algunos sitios. Objetos inestables volcados. Algunas veces se aprecia balanceo de árboles, postes y otros objetos altos. Los péndulos de los relojes pueden pararse.
VI	Sentido por todos, muchos se asustan y salen al exterior. Algún mueble pesado se mueve; algunos casos de caída de revestimientos y chimeneas dañadas. Daño leve.
VII	Todo el mundo corre al exterior. Daño insignificante en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras corrientes bien construidas; considerable en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas; se rompen algunas chimeneas. Notado por algunas personas que conducen automóviles.
VIII	Daño leve en estructuras diseñadas especialmente; considerable en edificios corrientes sólidos con colapso parcial; grande en estructuras de construcción pobre. Paredes separadas de la estructura. Caída de chimeneas, rimeros de fábricas, columnas, monumentos y paredes. Muebles pesados volcados. Eyección de arena y barro en pequeñas cantidades. Cambios en pozos de agua. Conductores de automóviles entorpecidos.
IX	Daño considerable en estructuras de diseño especial; estructuras con armaduras bien diseñadas pierden la vertical; grande en edificios sólidos con colapso parcial. Los edificios se desplazan de los cimientos. Grietas visibles en el suelo. Tuberías subterráneas rotas.
X	Algunos edificios bien contruidos en madera, destruidos; la mayoría de las obras de estructura de ladrillo, destruidas junto con los cimientos; suelo muy agrietado. Rieles torcidos. Corrimientos de tierra considerables en las orillas de los ríos y en laderas escarpadas. Movimientos de arena y barro. Agua salpicada y derramada sobre las orillas.
XI	Pocas o ninguna obra de albañilería quedan en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. La tierra se hunde y el suelo se desliza en terrenos blandos. Rieles muy retorcidos.
XII	Destrucción total. Se ven ondas sobre la superficie del suelo. Líneas de mira (visuales) y de nivel, deformadas. Objetos lanzados al aire.

3.2.3 Magnitud sísmica

Para conocer y comparar objetivamente el tamaño de los terremotos se necesita una medida que no dependa, como la intensidad, de la densidad de población ni del tipo de construcción afectada. La manera de evaluar el tamaño real de un sismo se basa en registros sísmicos y está relacionada con la cantidad de energía liberada, la cual es independiente de la ubicación de los instrumentos que lo registran.

En 1932, Charles Richter desarrolló una escala estrictamente cuantitativa, aplicable a sismos ocurridos en regiones habitadas o no, utilizando las amplitudes de las ondas registradas por un sismógrafo. Su escala tiene aplicación para sismos superficiales y relativamente cercanos.

Dada la conveniencia de describir el tamaño de un terremoto empleando un número (magnitud), se ha requerido que el método se amplíe a otros tipos de sismógrafos usados en el

mundo y a las diferencias en profundidad y tamaño de los temblores. Consecuentemente, hay varias escalas de magnitud, por ejemplo, la de ondas superficiales (Ms), magnitud de ondas de cuerpo (mb) o la magnitud de momento sísmico (Mw) que, a diferencia de las otras, expresa siempre el tamaño real del temblor por grande que éste sea.

Los medios de comunicación usualmente proporcionan el dato de magnitud de cualquier sismo acompañado con el apellido Richter, por haber sido esa la primera escala de magnitud.

La diferencia de un grado de magnitud entre dos sismos cualesquiera implica, en términos de energía liberada, una diferencia aproximada de 32 veces (tabla 3.2).

Tabla 3.2 Equivalencia entre magnitudes

Un temblor de magnitud 8 equivale a	32 de magnitud 7
	1,000 de magnitud 6
	32,000 de magnitud 5
	1'000,000 de magnitud 4

Por tanto, es fácil notar que un sismo de magnitud 4, como los que llegan a ocurrir varias veces por semana a lo largo de la costa occidental de México, no es la mitad de uno de magnitud 8, cuyo periodo de repetición en una determinada región puede ser de varias décadas.

3.2.4 Instrumentación sísmica

Para registrar el movimiento del terreno y de las estructuras bajo la acción de las ondas sísmicas, se emplean sismógrafos y acelerógrafos. Los registros obtenidos, mostrando el carácter, duración y amplitudes del movimiento, son conocidos como sismogramas y acelerogramas, respectivamente.

El *sismógrafo* es un instrumento de gran sensibilidad que produce una traza que representa la velocidad de movimiento del terreno en el sitio de registro, ya sea a causa de un sismo cercano muy pequeño o de uno grande lejano. Por otra parte, un *acelerógrafo* permite registrar fielmente las aceleraciones a que se ve sometido el terreno, en direcciones horizontal y vertical, ante el paso de ondas sísmicas producidas por un sismo de gran magnitud a una distancia relativamente corta. Sus valores se expresan usualmente empleando porcentajes o fracciones del valor de la aceleración gravitatoria g (981 cm/s^2).

La información acerca de la instrumentación y los registros obtenidos por distintas redes operadas en México desde 1958, se encuentra conjuntada en la *Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes*, que actualmente cuenta con alrededor de 14,000 registros generados por más de 1,500 temblores. Se recomienda ampliamente la consulta de este banco de información, especialmente por parte de ingenieros o arquitectos.

3.2.5 Tsunamis

Los maremotos, también conocidos como tsunamis, son consecuencia de sismos tectónicos de gran magnitud cuyo origen se encuentra bajo el fondo del océano. Debido al movimiento vertical del piso oceánico, la perturbación generada en el agua llega a desplazarse con velocidades de hasta 900 km/h en mar abierto, sin que sea posible percibir cambios de nivel. Sin embargo, al llegar a la costa su velocidad disminuye notablemente pero su altura puede aumentar hasta alcanzar unos 30 metros, como sucedió en Japón a finales del siglo XIX.

En el caso de México, se tienen datos acerca de tsunamis ocurridos en la costa del Pacífico a partir del siglo XVIII, según se muestra en el catálogo incluido más adelante.

3.2.6 Licuación de arenas

En aquellos sitios donde el terreno está constituido por depósitos limosos y/o arenosos de espesor considerable, poco consolidados, con nivel freático a pocos metros de profundidad y cercanos a zonas generadoras de sismos someros de magnitud moderada o grande, puede presentarse el fenómeno de licuación de arenas.

Este fenómeno ocurre cuando la presión del fluido contenido en los espacios intergranulares aumenta repentinamente como consecuencia de la presión inducida por el paso de ondas sísmicas, haciendo que el contacto entre los granos disminuya a tal grado que el cuerpo sedimentario llega a comportarse, por unos instantes, como un líquido denso. Lo anterior ocasiona deslizamientos en laderas o que los edificios pierdan la verticalidad en mayor o menor grado aunque sin sufrir, en muchos casos, daño considerable en su estructura (figura 3.3).

El aumento repentino de presión en el interior del cuerpo arenoso, provoca expulsión de fluido y material térreo hacia la superficie, formando estructuras con pocos centímetros de altura, conocidas como *volcanes de arena* (figura 3.4).



Figura 3.3 Edificios inclinados por licuación de arenas



Figura 3.4 Volcán de arena en un campo de cultivo, evidencia de licuación

3.3 FUENTES ESENCIALES DE INFORMACIÓN

En este capítulo se mencionan algunos de los principales centros de investigación y observatorios sismológicos donde se pueden consultar localizaciones de temblores día a día, parámetros de aceleración del terreno o bien, información estadística, histórica, impacto en asentamientos humanos, preguntas más frecuentes acerca del fenómeno, etc.

Asimismo, se presentan los mapas básicos con los que se puede valorar, aunque de manera elemental, el nivel de peligro sísmico para una determinada región. De dicha valoración pueden derivarse criterios e iniciativas que influyan, a corto o largo plazo, en la mitigación del riesgo.

Se recomienda coleccionar la información acerca de epicentros, magnitudes, profundidades, etc. disponible en las fuentes en seguida mencionadas y presentarla en forma de tablas y mapas.

3.3.1 Observatorios Sismológicos y Centros de Investigación

3.3.1.1 Servicio Sismológico Nacional (SSN)

Dependiente del Instituto de Geofísica de la UNAM, cuenta con tres redes de estaciones sismográficas distribuidas principalmente en las regiones centro y sur del país. Es el organismo encargado de calcular las localizaciones epicentrales, profundidades y magnitudes de los sismos ocurridos, esencialmente con magnitud superior a 3. Emite boletines con información preliminar cada semana y un boletín mensual. Cuenta con página de Internet (<http://www.ssn.unam.mx>), donde se pueden consultar catálogos de sismos, artículos de divulgación, reportes especiales sobre sismos de magnitud grande, preguntas frecuentes, etc.

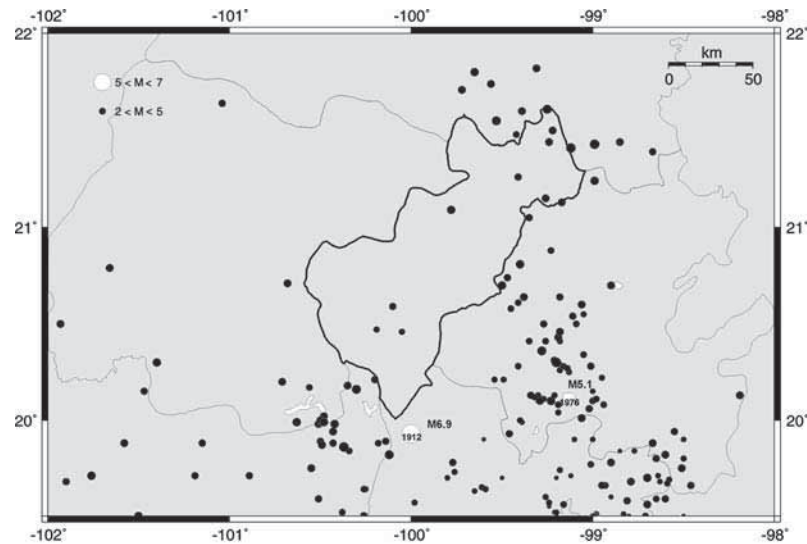


Figura 3.5 Sismicidad local en la región del estado de Querétaro con base en la información generada por el Servicio Sismológico Nacional

3.3.1.2 Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE)

Realiza investigación básica y aplicada en Oceanología, Física y Ciencias de la Tierra. Con respecto a este último rubro, se encarga de la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM) y reporta principalmente la actividad en la región norte de la península de Baja California y la parte noroccidental del estado de Sonora. Cuenta con datos de sismos ocurridos desde 1980 accesibles a través de un catálogo. Tiene acceso vía Internet (<http://sismologia.cicese.mx/resnom>).

3.3.1.3 Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima

Aunque tiene como función principal la de valorar las diferentes manifestaciones del volcán de Fuego de Colima, paralelamente lleva a cabo diversos proyectos relacionados con la sismicidad y el peligro sísmico en el estado de Colima, así como parte de Jalisco y Michoacán. Se tiene acceso a través de Internet en la dirección electrónica <http://www.ucol.mx/acerca/coordinaciones/cgic/ov/>

3.3.1.4 Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)

Emite boletines acerca de los sismos de gran magnitud o aquellos que hayan causado daños o efectos importantes. Publica también datos de aceleración registrados en estaciones de la línea de atenuación Acapulco–DF y en estaciones de la ciudad de México. (<http://www.cenapred.unam.mx>).

A través de esta dirección electrónica, o en su biblioteca, pueden consultarse diversas publicaciones sobre el tema, entre otras, el fascículo Sismos y el Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en la República Mexicana.

3.3.1.5 Earthquake Hazard Program. United States Geological Survey (NEIC-USGS)

Presenta localizaciones de sismos en diferentes partes del mundo, antecedentes sísmicos de una zona en particular, resúmenes de daños y efectos, etc. (<http://neic.usgs.gov>). Los valores de magnitud, localización epicentral y profundidad pueden variar con respecto a los asignados por el

SSN para sismos mexicanos, debido esencialmente al empleo de fórmulas o procedimientos distintos para su cálculo.

3.3.1.6 Southern California Earthquake Data Center

Reporta las localizaciones de sismos ocurridos en la parte norte de la Península de Baja California y el estado de California, en los Estados Unidos. Presenta catálogos sísmicos a partir de 1932 (<http://www.scecdc.scec.org>).

3.3.2 MAPAS

3.3.2.1 Regionalización sísmica de la CFE

Fuente de Información

En el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) Capítulo Diseño por Sismo, se encuentra publicado el mapa de Regionalización Sísmica de México (figura 3.6).

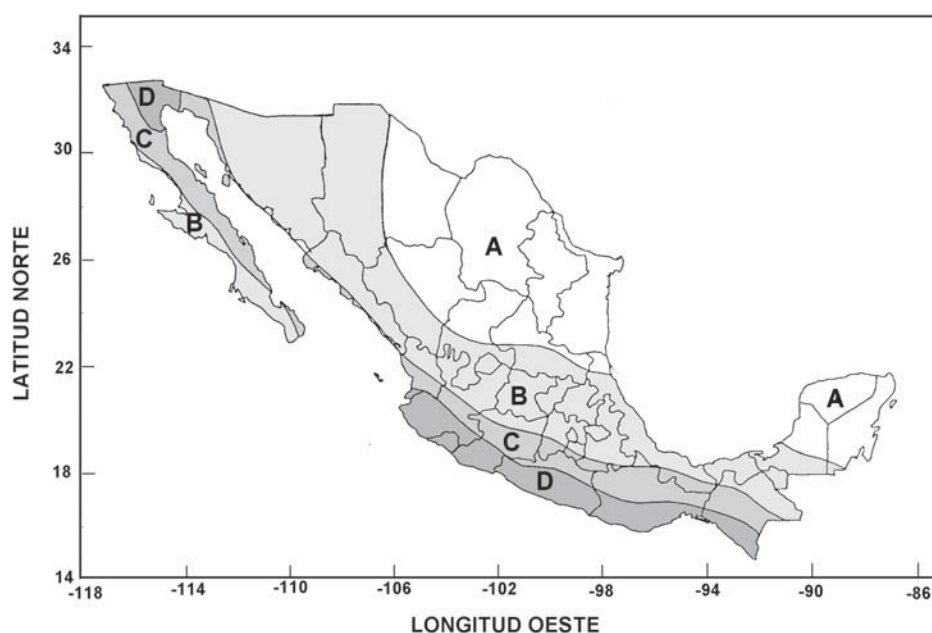


Figura 3.6 Regionalización Sísmica de México

Descripción y alcance

Este mapa permite conocer, en términos generales, el nivel de peligro sísmico que tiene un área determinada. Para ello, el territorio nacional se encuentra clasificado en cuatro regiones, de la A a la D, las cuales representan un nivel creciente de peligro.

Esta clasificación del territorio se emplea en los reglamentos de construcción para fijar los requisitos mínimos que deben seguir los proyectistas, diseñadores y constructores en las edificaciones y otras obras civiles de tal manera que éstas resulten suficientemente seguras ante los efectos producidos por un sismo.

La zona A es aquella donde no se tienen registros históricos de sismos y donde las aceleraciones del terreno se esperan menores al 10% de g . En la zona D ocurren con frecuencia temblores de gran magnitud ($M > 7$) y las aceleraciones del terreno pueden ser superiores al 70% de g . Los niveles de sismicidad y de aceleración propios de las zonas B y C están acotados por los valores correspondientes de A y D, los temblores grandes son poco frecuentes (por ejemplo, el sismo de junio de 1999, con epicentro al sur de Puebla) y se estima que las aceleraciones se mantendrán por debajo del 70% de g .

Aplicación

Ubique su ciudad o municipio en el mapa para asignarle el nivel de exposición correspondiente; la zona A corresponde a la zona de menor peligro, B a medio-bajo, C medio-alto y la D a la de mayor peligro. Se cuenta con una lista donde se han clasificado todos los municipios de la República Mexicana en función de esta regionalización. En caso de que no sea evidente la ubicación del municipio en cuestión con respecto a este mapa, es posible consultar el listado de clasificación municipal según la regionalización sísmica a través de la página de *internet* del CENAPRED (<http://www.cenapred.unam.mx>).

Asimismo, se recomienda consultar el Manual de Obras Civiles de la CFE donde se expresa con detalle la clasificación de suelos para cimentación, parámetros específicos para suelos firme, de transición y suave, clasificación de construcciones según su destino o estructuración, etc. y concentrar toda la información particular para el estado o municipio.

3.3.2.2 Mapas de peligro

Fuente de información

Los mapas de peligro por sismo que se muestran a continuación, son algunos de los resultados que se obtienen del programa Peligro Sísmico en México (PSM, 1996), que constituye un sistema de información cuantitativa sobre el peligro sísmico en la República Mexicana en cuya elaboración participaron el Instituto de Ingeniería de la UNAM, Instituto de Investigaciones Eléctricas y la Comisión Federal de Electricidad, además del CENAPRED.

Descripción y alcance

PSM genera los siguientes tipos de resultados:

- Mapas de valores de la intensidad sísmica seleccionada asociados a un periodo de retorno dado.
- Para cualquier sitio dentro de la República Mexicana, la curva intensidad vs. tasa de excedencia para el parámetro de intensidad seleccionado.
- Para cualquier sitio dentro de la República Mexicana, el espectro de respuesta cuyas ordenadas tienen un periodo de retorno constante dado.
- Información sobre las relaciones de atenuación utilizadas para el cálculo del peligro sísmico.

Con el propósito de facilitar la definición de niveles de peligro para un sitio dado, se muestran los mapas más representativos (figuras 3.7 a 3.11). Estos representan aceleraciones máximas para terreno firme con diferentes periodos de retorno (tiempo medio, medido en años, que tarda en repetirse un sismo con el que se exceda una aceleración dada).

Conocer solamente las magnitudes de los temblores no da una idea clara del impacto que éstos producirían, ya que pueden presentarse a diferentes profundidades y distancias de los asentamientos humanos. Los mapas de peligro, como los presentados anteriormente, aunque no son directamente aplicables con fines de protección civil, permiten conocer la distribución de las intensidades en términos de aceleración del terreno para un determinado periodo de retorno, elementos fundamentales para especialistas en el diseño de nuevas construcciones y modificación o refuerzo de obras civiles existentes.

En caso de que un estado o municipio lleve a cabo estudios de riesgo para obras en particular, es posible solicitar mapas específicos a alguna de las instituciones participantes en su elaboración (el sistema también es capaz de generar mapas para periodos estructurales fundamentales hasta de 3 s).

Es sumamente recomendable que el empleo de esta información se lleve a cabo con la asesoría o participación directa de un ingeniero civil capacitado para el diseño de obras sismorresistentes.



Figura 3.7 Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 10 años

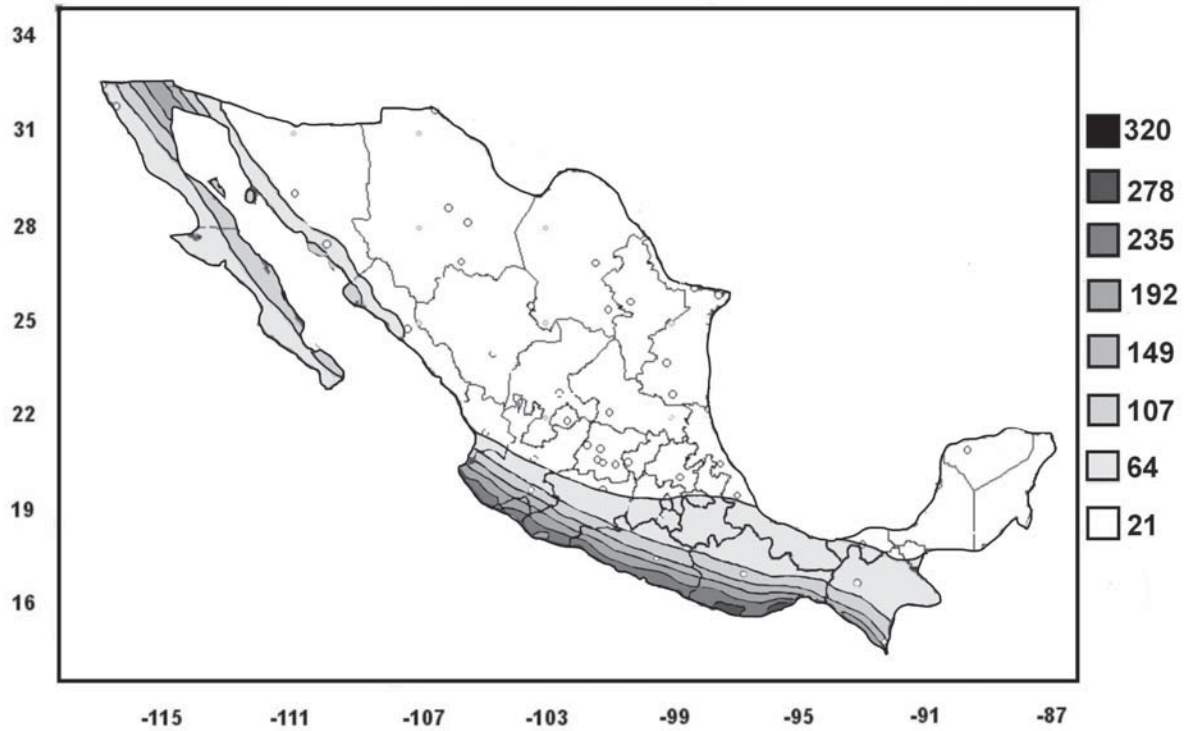


Figura 3.8 Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 50 años



Figura 3.9 Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 100 años

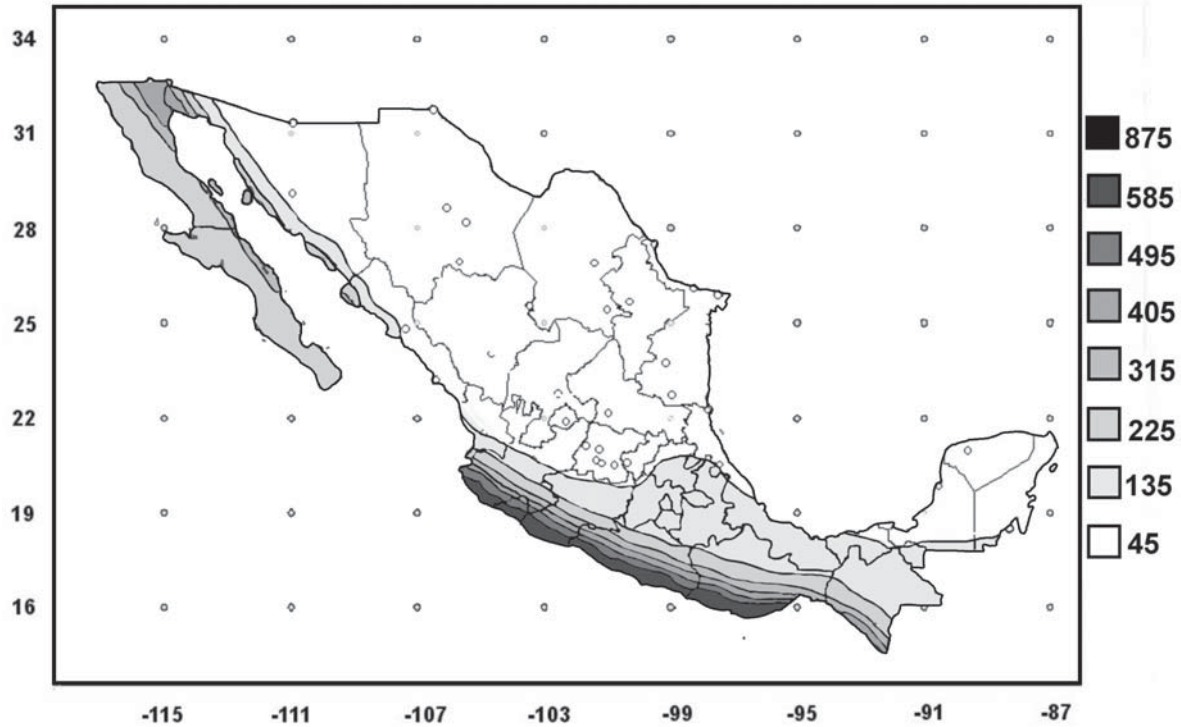


Figura 3.10 Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 500 años

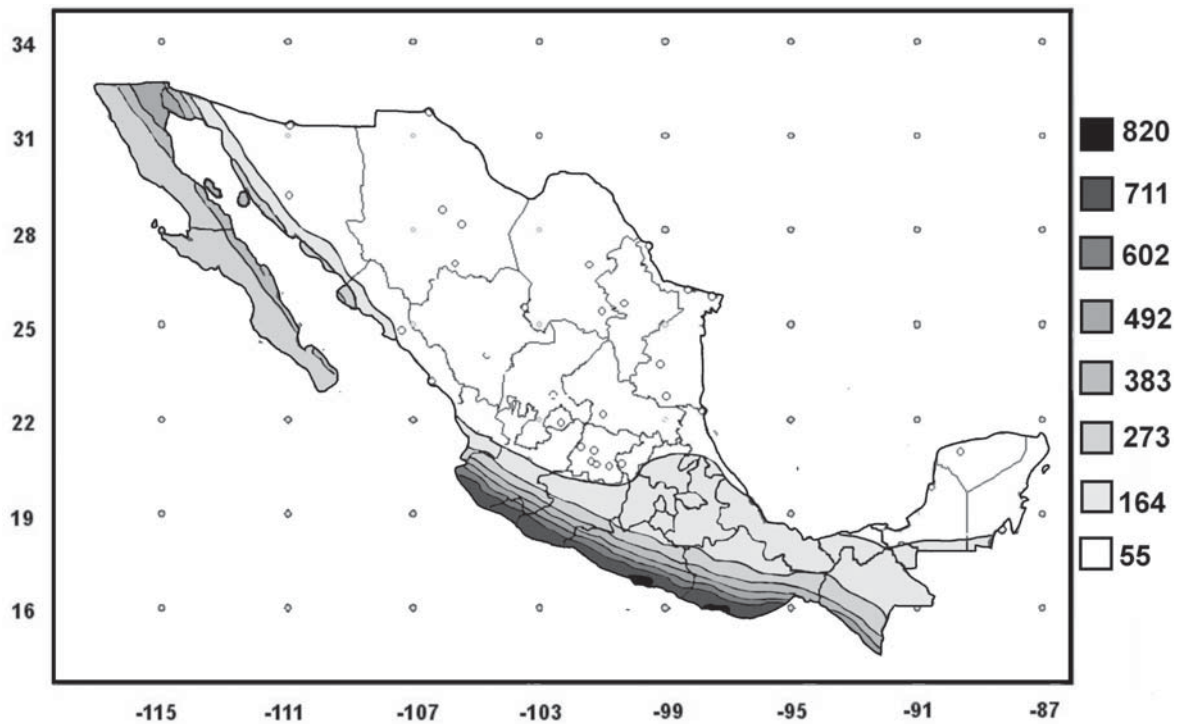


Figura 3.11 Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 1000 años

Aplicación

Se recomienda ubicar, de manera aproximada, el municipio o sitio bajo estudio y elaborar una tabla con los correspondientes valores de aceleración para los diferentes periodos de retorno presentados (10, 50, 100, 500 y 1000 años). Como referencia general se señala que con una aceleración de 150 cm/s^2 (gal) o mayor se pueden presentar daños, de algún tipo, en las construcciones.

De esa manera se podrá determinar si para periodos de retorno de 100 años o menos se alcanzan o superan aceleraciones del terreno de 150 gal. En ese caso, habrá que dar alta prioridad a la aplicación, actualización o creación de un reglamento de construcción para el propio estado o municipio.

La aplicación de la información derivada de estos mapas, junto con las características estructurales y estado físico de las construcciones, permitirá que especialistas emitan recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad de las obras civiles, aspecto que se aborda ampliamente en capítulos posteriores.

3.3.2.3 Peligro por tsunami

Fuente de información

Este mapa fue publicado en el Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México, (CENAPRED, 2001). Se recomienda la consulta del catálogo de tsunamis ocurridos en México a partir del S. XVIII, incluido en dicha publicación, donde se presentan datos para localidades específicas.



Figura 3.12 *Áreas costeras susceptibles de afectación por tsunamis generados localmente o a distancias hasta de miles de kilómetros*

Descripción y Alcance

A la secuencia de olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un sismo, se le denomina tsunami o maremoto. En mar abierto, no es posible percibir el desplazamiento de dicha secuencia de olas. Sin embargo, al acercarse a la costa su altura aumenta significativamente, pudiendo alcanzar varios metros y provocar grandes pérdidas humanas y materiales.

En el mapa que se muestra simplemente se señalan las zonas que, con periodos de retorno muy variables, pueden estar sujetas a la influencia de olas de gran tamaño. El ancho de la franja de color no indica el área de influencia tierra adentro. La penetración de las olas sobre el continente, dependerá básicamente de la topografía en el área inmediata a la línea de costa. Las olas asociadas a maremotos pueden incluso penetrar a lo largo de ríos y arroyos.

Aplicación

Actualmente, para este fenómeno sólo se tienen mapas de peligro para tres ciudades costeras: Ensenada, Zihuatanejo y Salina Cruz (Ver *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastre en México*, CENAPRED, 2001).

La altura máxima esperada para olas que impacten la franja inmediata a la línea de costa en la zona receptora de tsunamis lejanos es de 3 m. Para las zonas generadoras de sismos locales, la altura máxima reportada varía entre 7 y 11 m. En vista de esto último, y en tanto se carezca de mapas similares para el resto de los asentamientos costeros se recomienda establecer, de manera preliminar, la cota de 10 m como la *altura del peor escenario esperable de desastre*. Ésta deberá incluir desembocaduras de ríos, en vista de que el oleaje anormal puede avanzar a lo largo de los cauces.

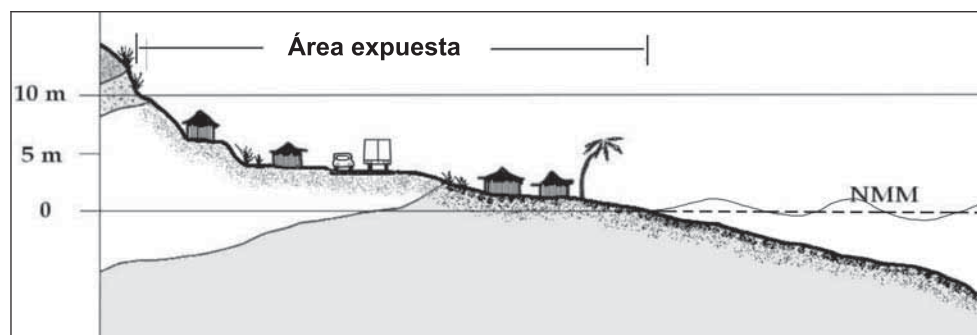


Figura 3.13 *Determinación del área susceptible de impacto por maremoto, en cualquier sitio costero, considerando el peor escenario posible ante la carencia de un mapa de peligro o riesgo específico. El área expuesta varía en función de la topografía local*

La referencia de máxima penetración de un tsunami en México, conocido como la *Ola Verde* de Cuyutlán, en las costas de Colima, es de 1 km y corresponde a un sismo ocurrido el 22 de junio de 1932, con magnitud 6.9. Este dato, junto con la cota máxima mencionada y el mapa mostrado en la figura 3.12, permitirá configurar mapas de áreas afectables en regiones o municipios costeros que sirvan de base para iniciar acciones preventivas.

Aunque la frecuencia de ocurrencia de los maremotos es relativamente baja (no todos los sismos con epicentro en zona marina los generan), el daño que pueden producir, y que en algunos casos se suma al ocasionado por el sismo, puede alcanzar niveles considerables.

3.3.3 Investigaciones bibliográficas recomendadas

3.3.3.1 Mapas de intensidades sísmicas

Consultar los catálogos de mapas de intensidades de Mercalli (Figueroa, 1986), con información a partir de 1845, para determinar, al menos de manera aproximada, cuántas veces ha sido afectada una región con un cierto grado de intensidad, o bien, cuál es la intensidad máxima conocida en dicha región. Cabe aclarar que los catálogos mencionados no contienen mapas para la totalidad de sismos de gran magnitud ocurridos a partir de ese año. Sin embargo, se cuenta con datos acerca de 52 eventos, cuya distribución epicentral se considera representativa de las regiones sismogénicas en México.

Se recomienda poner especial atención en la cuantificación de intensidades mayores a VII en el sitio de interés, dado que a partir de ese nivel comúnmente se observan daños de leves a graves en las construcciones ordinarias, particularmente en vivienda rural, licuación de arenas y/o deslizamientos en laderas.

3.3.3.2 Referencias históricas sobre sismos

Consultar las descripciones sobre los daños y efectos producto de sismos históricos (Acosta y Suárez, 1996). Se recomienda elaborar una tabla donde se sinteticen los daños más frecuentes (por ejemplo: daños en torres de iglesias, agrietamiento del terreno natural, deslizamientos de tierra, etc.). Dicha síntesis permitirá estimar posibles consecuencias en edificaciones antiguas y recientes, carreteras, etc., sobre todo en aquellas zonas donde los sismos se repiten con poca frecuencia y algunas construcciones no hayan sido puestas a prueba por sacudidas fuertes.

3.3.4 Catálogos de sismos y tsunamis

Se presentan los catálogos de sismos de gran magnitud ocurridos en México, a partir del siglo XIX y para tsunamis, a partir del siglo XVIII. Para el caso del catálogo de sismos del siglo XIX, es probable que se encuentre incompleto debido a la escasa cobertura instrumental en esa época, aunque se considera que todos los eventos con magnitudes de 7.5 o mayores, se encuentran presentes. No obstante lo anterior, presenta información que confirma la actividad frecuente en zonas sismogénicas conocidas (como la costa del Pacífico) o bien aquella que constituye antecedentes muy relevantes de actividad sísmica con epicentros tierra adentro, como son los casos del sismo de Bavispe, Sonora, y de Jalisco en 1875 que causó graves daños en la zona central del estado.

Tabla 3.3 Catálogo de Temblores de Gran Magnitud en México (siglo XIX)

Fecha	Región	Lat °N	Long ° W	Magnitud
1806 Mar 25	Costa de Colima-Michoacán	18.9	103.8	
1818 May 31	Costa de Colima-Michoacán	19.1	103.6	7.5
1820 May 4	Costa de Guerrero	17.2	99.6	7.7
1837 Nov 22	Jalisco	20.0	105.0	7.6
1845 Mar 9	Oaxaca	16.6	97.0	7.7
1845 Abr 7	Costa de Guerrero	16.6	99.2	7.5
1854 May 5	Costa de Oaxaca	16.3	97.6	7.9
1858 Jun 19	Norte de Michoacán	19.6	101.6	7.7
1864 Oct 3	Puebla-Veracruz	18.7	97.4	7.5
1870 May 11	Costa de Oaxaca	15.8	96.7	7.3
1872 Mar 27	Costa de Oaxaca	15.7	96.6	7.9
1874 Mar 16	Guerrero	17.7	99.1	7.4
1875 Feb 11	Jalisco	21.0	103.8	7.3
1875 Mar 9	Costa de Jalisco-Colima	19.4	104.6	7.5
1879 May 17	Puebla	18.6	98.0	7.4
1882 Jul 19	Guerrero-Oaxaca	17.7	98.2	7.0
1887 May 3	Bavispe, Sonora	31.0	109.2	7.5
1887 May 29	Guerrero	17.2	99.8	7.3
1889 Sep 6	Costa de Guerrero	17.0	99.7	7.2
1890 Dic 2	Costa de Guerrero	16.7	98.6	7.0
1894 Nov 2	Costa de Oaxaca-Guerrero	16.5	98.0	7.2
1897 Jun 5	Costa de Oaxaca	16.3	95.4	7.4
1899 Ene 24	Costa de Guerrero	17.1	100.5	7.4
				7.9

Tabla 3.4 Catálogo de temblores de gran magnitud en México (siglos XX y XXI)

Fecha	Lat °N	Long °W	Prof (km)	M max	Ms	Región
1900 Ene 20	20.000	105.000	33	7.4	7.3	Jalisco
1901 Dic 09	26.000	110.000	S	7.0	7.0	Golfo de California
1902 Ene 16	17.620	99.720	S	7.0	7.0	Guerrero
1902 Abr 19	14.900	91.500	25	7.5	7.4	Guatemala. 70 km de la frontera con México
1902 Sep 23	16.500	92.500	25	7.7	7.7	Chiapas
1902 Dic 12	29.000	114.000	S	7.1	7.0	Baja California Norte
1903 Ene 14	15.000	93.000	S	7.6	7.6	Costa de Chiapas
1907 Abr 15	16.700	99.200	33	7.6	7.6	Costa de Guerrero
1907 Oct 16	28.000	112.500	10	7.1	7.1	Golfo de California
1908 Mar 26	16.700	99.200	33	7.5	7.5	Costa de Guerrero
1908 Mar 27	17.000	101.000	33	7.0	7.0	Costa de Guerrero
1909 Jul 30	16.800	99.900	33	7.2	7.2	Costa de Guerrero
1911 Jun 07	17.500	102.500	33	7.6	7.6	Jalisco
1911 Dic 16	16.900	100.700	50	7.5	7.5	Costa de Guerrero
1912 Dic 09	15.500	93.000	S	7.0	7.0	Costa de Chiapas
1914 Mar 30	17.000	92.000	150	7.2	-	Chiapas
1915 Nov 21	32.000	115.000	10	7.0	7.0	Baja California Norte
1916 Jun 02	17.500	95.000	150	7.0	-	Sur de Veracruz
1921 Feb 04	15.000	91.000	120	7.4	-	Guatemala. 120 km de la frontera con México
1925 Nov 16	18.00	107.000	S	7.0	-	A 260 km. de las costas de Jalisco
1925 Dic 10	15.500	92.500	S	7.0	7.0	Chiapas
1928 Mar 22	15.670	96.100	33	7.5	7.3	Oaxaca
1928 Jun 17	16.330	96.700	33	7.6	7.6	Oaxaca
1928 Ago 04	16.830	97.610	33	7.4	7.4	Oaxaca
1928 Oct 09	16.300	97.300	33	7.5	7.4	Oaxaca
1931 Ene 15	16.340	96.870	40	7.8	7.6	Oaxaca
1932 Jun03	19.570	104.420	33	8.2	8.2	Jalisco
1932 Jun 18	19.500	103.500	33	7.8	7.8	Jalisco
1934 Nov 30	19.000	105.310	33	7.0	7.0	Costa de Jalisco
1934 Dic 31	32.000	114.750	S	7.1	7.1	Baja California Norte
1935 Dic 14	14.750	92.500	S	7.3	7.2	Costa de Chiapas
1937 Jul 26	18.450	96.080	85	7.3	7.2	Oaxaca-Veracruz
1937 Dic 23	17.100	98.070	33	7.4	7.3	Oaxaca - Guerrero
1940 May 19	32.700	115.500	S	7.1	7.1	Baja California Norte
1941 Abr 15	18.850	102.940	33	7.6	7.5	Michoacán
1942 Ago 06	14.800	91.300	50	7.9	7.7	Guatemala. 80 km de la frontera con México
1943 Feb 22	17.600	101.100	33	7.4	7.3	Guerrero
1944 Jun 28	15.000	92.500	S	7.1	7.1	Chiapas
1948 Ene 06	17.000	98.000	80	7.0	7.0	Oaxaca
1950 Sep 29	19.000	107.000	60	7.0	6.6	A 200 km de las costas de Jalisco
1950 Oct 23	14.300	91.800	33	7.2	7.2	Guatemala. 50 km de la frontera con México
1950 Dic 14	17.220	98.120	33	7.2	7.1	Oaxaca
1951 Dic 12	17.000	94.500	100	7.0	-	Oaxaca-Veracruz
1954 Abr 29	28.500	113.000	S	7.0	7.0	Golfo de California
1957 Jul 28	17.110	99.100	33	7.8	7.5	Guerrero
1962 May 11	17.250	99.580	33	7.2	7.0	Guerrero
1962 May 19	17.120	99.570	33	7.1	6.9	Guerrero
1964 Jul 06	18.030	100.770	55	7.2	-	Guerrero
1965 Ago 23	16.178	95.877	12	7.6	7.6	Oaxaca
1968 Ago 02	16.600	97.800	16	7.3	7.2	Oaxaca
1970 Abr 29	14.463	92.683	44	7.3	7.1	Costa de Chiapas
1973 Ene 30	18.412	103.019	24	7.6	7.3	Costa de Michoacán
1973 Ago 28	18.248	96.551	82	7.3	7.1	Oaxaca-Veracruz
1976 Feb 04	15.262	89.198	13	7.5	7.5	Guatemala. 150 km de la frontera con México
1978 Nov 29	16.013	96.586	23	7.6	7.6	Oaxaca
1979 Mar 14	17.750	101.263	25	7.4	7.4	Guerrero
1980 Oct 24	18.174	98.222	65	7.1	-	Oaxaca-Puebla
1981 Oct 25	18.088	102.061	21	7.3	7.3	Costa de Guerrero
1982 Jun 07	16.516	98.339	19	7.0	7.0	Oaxaca-Guerrero
1983 Dic 02	14.032	91.956	35	7.0	-	Guatemala. 70 km de la frontera con México
1985 Sep 19	18.419	102.468	15	8.1	8.1	Costa de Michoacán

Continúa...

Tabla 3.4 Continuación. Catálogo de temblores de gran magnitud en México (siglos XX y XXI)

Fecha	Lat °N	Long °W	Prof (km)	M max	Ms	Región
1985 Sep 21	17.828	101.681	17	7.6	7.6	Costa de Michoacán
1986 Abr 30	18.361	103.045	22	7.0	7.0	Costa de Michoacán
1993 Sep 10	14.800	92.687	34	7.2	7.2	Costa de Chiapas
1995 Sep 14	16.752	98.667	21	7.3	7.2	Oaxaca-Guerrero
1995 Oct 09	18.993	104.245	25	8.0	7.3	Colima-Jalisco
1995 Oct 21	16.811	93.474	160	7.1	-	Chiapas
1996 Feb 25	15.880	97.980	15	7.1	6.9	Costa de Oaxaca
1997 Ene 11	18.340	102.580	40	7.1	6.9	Michoacán
1999 Jun 15	18.133	97.539	63	7.0	6.5	Puebla
1999 Sep 30	16.010	97.000	42	7.5	7.5	Oaxaca
2003 Ene 22	18.600	104.22	10	7.6	7.3	Costa de Colima

En la tabla 3.4 se presenta para cada evento el valor máximo de magnitud de una de las tres escalas más usadas en la investigación sismológica, Mb (magnitud de ondas de cuerpo), Ms (magnitud de ondas superficiales) o Mw (magnitud de momento sísmico), de acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional. Además, se presentan de manera particular las magnitudes Ms para la mayoría de los eventos, en vista de que son las más utilizadas en estimaciones de riesgo sísmico y generalmente reportadas en los medios de difusión como valores de la escala Richter.

Debe tomarse en cuenta que pueden encontrarse diferencias menores en localización geográfica, profundidad o valores de magnitud con respecto a otros catálogos, sin que deban interpretarse necesariamente como errores. Los parámetros sísmicos, especialmente aquellos de las primeras décadas, fueron determinados con un número escaso de instrumentos, que aún no contaban con todos los atributos tecnológicos actuales.

S significa superficial, es decir con profundidad menor de 40 km.

Las fechas corresponden a tiempo del meridiano de Greenwich (tiempo local + 6 horas; tiempo local + 5 en horario de verano).

Cabe señalar la posibilidad de consultar, a través de la página del SSN, (<http://www.ssn.unam.mx>), o bien solicitar directamente a dicha dependencia, un listado que concentre la actividad sísmica en un área geográfica específica (por ejemplo, un cuadrado de 100 km de lado o en un radio determinado).

Esto permitirá complementar la historia sísmica y estimar la influencia, no sólo de los grandes temblores sino la de eventos locales de magnitud menor que si bien llegan a ser sentidos por la población y no representan necesariamente un peligro mayor, sí ameritan campañas informativas y permiten despejar dudas en cuanto a antecedentes sísmicos de la región. Por ejemplo, si se presentan sismos locales en Tabasco o el sur de Tamaulipas, los pobladores podrían alarmarse y afirmarían que ahí *nunca ha temblado*. Una consulta de este tipo para la zona en cuestión mostrará que años o décadas atrás se ha registrado sismicidad de bajo nivel.

Tabla 3.5 Catálogo de tsunamis a partir del Siglo XVIII

Fecha	Epicentro del sismo (° N, ° W)	Zona del sismo	Magnitud del sismo	Lugar de registro del tsunami	Altura máxima de olas (m)
1732 Feb 25	No definido	Guerrero	-	Acapulco	4.0
1754 Sep 1	No definido	Guerrero	-	Acapulco	5.0
1787 Mar 28	No definido	Guerrero	>8.0 (?)	Acapulco	3.0-8.0
1787 Abr 3	No definido	Oaxaca	-	Pochutla y Juquila	4.0 (*)
1820 May 4	17.2°, 99.6°	Guerrero	7.6	Acapulco	4.0
1833 Mar 10	No definido	Guerrero	-	Acapulco	(*)
1834 Mar 11	No definido	Guerrero	-	Acapulco	(*)
1845 Abr 7	16.6°, 99.2°	Guerrero	-	Acapulco	-
1852 Nov 29	No definido	Baja California	-	Río Colorado	3.0 (*)
1852 Dic 4	No definido	Guerrero	-	Acapulco	-
1870 May 11	15.8°, 96.7°	Oaxaca	7.9	Puerto Ángel	(*)
1875 Feb 23	No definido	Colima	-	Manzanillo	(*)
1907 Abr 15	16.7°, 99.2°	Guerrero	7.9	Acapulco	2.0
1909 Jul 30	16.8°, 99.8°	Guerrero	7.5	Acapulco	-
1925 Nov 16	18.0°, 107.0°	Jalisco	7.0	Zihuatanejo	7.0-11.0
1928 Mar 22	15.7°, 96.1°	Oaxaca	7.7	Puerto Ángel	(*)
1928 Jun 16	16.3°, 96.7°	Oaxaca	8.0	Puerto Ángel	-
1932 Jun 3	19.5°, 104.3°	Jalisco	8.2	Manzanillo San Pedrito Cuyutlán San Blas	2.0 3.0 - -
1932 Jun 18	19.5°, 103.5°	Jalisco	7.8	Manzanillo	1.0
1932 Jun 22	19.0°, 104.5°	Jalisco	6.9	Cuyutlán Manzanillo	9.0-10.0 -
1932 Jun 29	No definido	Jalisco	-	Cuyutlán	(*)
1948 Dic 4	22.0°, 106.5°	Nayarit	6.9	Islas Mariás	2.05-5.0
1950 Dic 14	17.0°, 98.1°	Guerrero	7.3	Acapulco	0.3
1957 Jul 28	16.5°, 99.1°	Guerrero	7.7	Acapulco Salina Cruz	2.6 0.3
1962 May 11	17.2°, 99.6°	Guerrero	7.0	Acapulco	0.8
1962 May 19	17.1°, 99.6°	Guerrero	7.2	Acapulco	0.3
1965 Ago 23	16.3°, 95.8°	Oaxaca	7.8	Acapulco	0.4
1973 Ene 30	18.4°, 103.2°	Colima	7.5	Acapulco Manzanillo Salina Cruz La Paz Mazatlán	0.4 1.1 0.2 0.2 0.1
1978 Nov 29	16.0°, 96.8°	Oaxaca	7.8	P. Escondido	1.5 (*)
1979 Mar 14	17.3°, 101.3°	Guerrero	7.6	Acapulco Manzanillo	1.3 0.4
1981 Oct 25	17.8°, 102.3°	Guerrero	7.3	Acapulco	0.1
1985 Sep 19	18.1°, 102.7°	Michoacán	8.1	Lázaro Cárdenas Ixtapa-Zihuatanejo Playa Azul Acapulco Manzanillo	2.5 3.0 2.5 1.1 1.0
1985 Sep 21	17.6°, 101.8°	Michoacán	7.6	Acapulco Zihuatanejo	1.2 2.5
1995 Oct 9	18.9°, 104.1°	Col-Jalisco	7.6	Manzanillo Barra de Navidad Melaque Cuastecomate La Manzanilla Boca de Iguanas El Tecuán Punta Careyes Chamela San Mateo Pérula Punta Chalacatepec	2.0 5.1 4.5 4.4 0.4 5.1 3.8 3.5 3.2 4.9 3.4 2.9

(*) Tsunami probable

Al igual que en el caso de los sismos, se considera que el catálogo de tsunamis mexicanos se encuentra incompleto para épocas antiguas, esencialmente debido a falta de instrumentos de registro y la escasez de población en algunas regiones. Puede observarse que, para tsunamis recientes, la precisión en la determinación de la altura de las olas es alta y, para un mismo evento, el tamaño de éstas puede variar en distancias relativamente cortas (por ejemplo, para el sismo del 9 de octubre de 1995).

3.4 ESTUDIOS DE SITIO

3.4.1 Introducción

Los mapas anteriormente presentados muestran información de carácter general que permite definir criterios básicos para el diseño de obras civiles, definición de áreas de reserva para desarrollo urbano, planeación de acciones preventivas, etc., logrando de esa manera un diagnóstico global del nivel de peligro sísmico en la región.

Sin embargo, en aquellas zonas con grandes espesores de sedimentos blandos, usualmente valles aluviales, con alta densidad de construcción y/o rápido crecimiento urbano, es altamente recomendable valorar con precisión el nivel de peligro sísmico, en vista de que el movimiento sísmico es amplificado significativamente. La evidencia más clara de este fenómeno, conocido mundialmente como efecto de sitio, ha sido el nivel de daño producido en la Ciudad de México, como consecuencia de los sismos de septiembre de 1985, a pesar de encontrarse aproximadamente a 400 km. de distancia de los epicentros.

Se conoce como efecto de sitio a la respuesta sísmica del terreno con características significativamente distintas en amplitud, duración o contenido de frecuencias de un área relativamente reducida, con respecto al entorno regional. En otras palabras, podría decirse que el efecto de sitio es aquella condición bajo la cual se llegan a observar intensidades sísmicas notablemente distintas y bien localizadas sin que haya una correlación con la atenuación normal de la energía sísmica con la distancia (figuras 3.14 y 3.15)

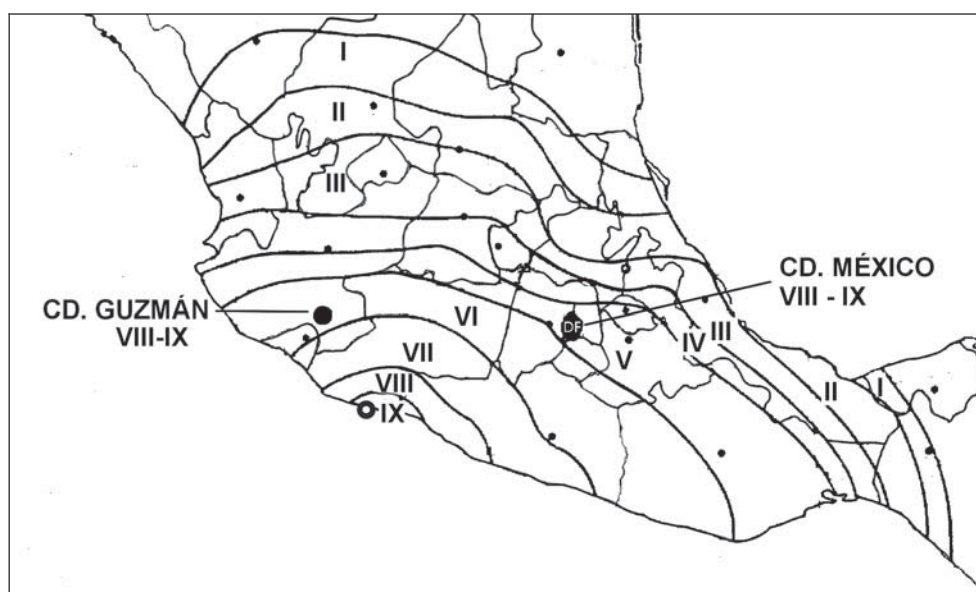


Figura 3.14 Isosistas del 19 de septiembre de 1985

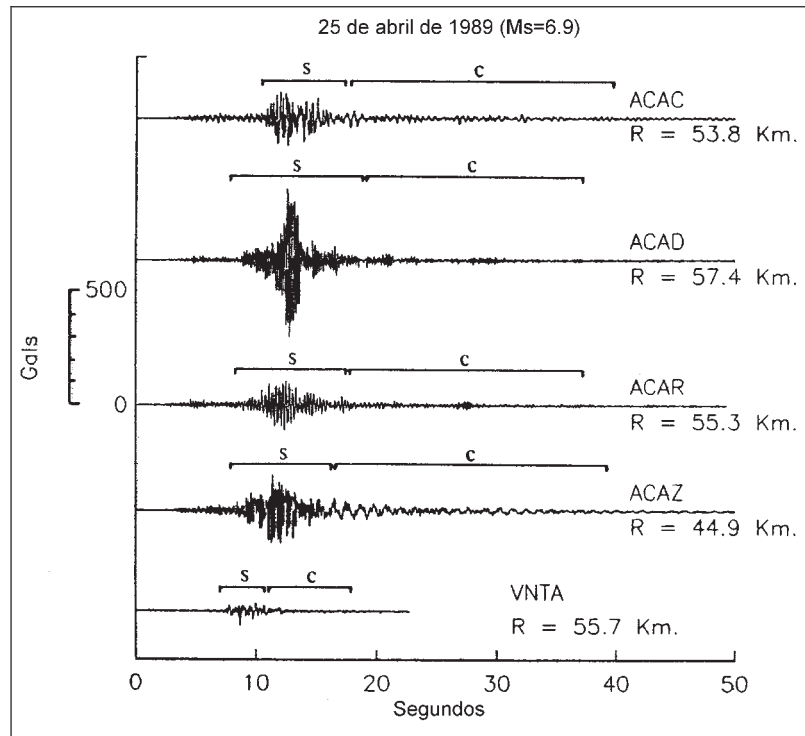


Figura 3.15 *Acelerogramas obtenidos en el área de Acapulco, durante el mismo sismo, en diferentes tipos de suelo. Las distancias epicentrales para cada sitio son similares*

Los mapas para estimación de peligro sísmico a nivel regional (regionalización sísmica o mapas de aceleraciones máximas para distintos periodos de retorno), no señalan aquellos lugares proclives a la amplificación del movimiento del terreno. Así, para conocer de manera cuantitativa la respuesta del terreno ante la excitación sísmica, es necesario llevar a cabo estudios específicos, los cuales se describen a continuación.

Es necesario aclarar que estos estudios requieren la participación o asesoría de especialistas en cada materia, tanto por la necesidad de manejar instrumentos para la adquisición de datos, como por el análisis de la información e interpretación de resultados.

3.4.2 Estudios de geología superficial

Para atender este rubro será necesario recopilar mapas de geología superficial, por ejemplo del INEGI o del Consejo de Recursos Minerales (COREMI), escala 1:50,000 o mayor (1:5,000). Para los sitios o áreas de mayor interés será indispensable verificar la información geológica, de acuerdo con el uso que se le destine.

Para definir espesores y algunas propiedades de capas superficiales, es recomendable emplear información de pozos geotécnicos o de aquellos perforados para suministro de agua. Dicha información puede ser colectada a partir de datos de las instancias municipales o estatales encargadas de la explotación de mantos acuíferos, por ejemplo. En caso de que la información se considere confiable y razonablemente distribuida en la zona de interés, se podrá formar un mapa que muestre la variación de espesores y posible configuración de las diferentes capas y sustrato rocoso.

Como parte del reconocimiento de campo, es aconsejable señalar, al menos de manera preliminar, aquellas zonas proclives a sufrir deslizamientos de ladera, caídos o flujos de lodo y escombros. Los dos primeros casos pueden ocurrir como consecuencia de sismos intensos con epicentro a corta distancia (aproximadamente 100 km); los flujos de material térreo ocurren como consecuencia de lluvias abundantes o deshielo.

3.4.2.1 Áreas con potencial de licuación de arenas

Durante el reconocimiento de la geología superficial pueden identificarse fácilmente los cuerpos constituidos por arenas y limos, especialmente aquellos para los que se estime o se conozca un espesor de al menos 10 m.

Las condiciones esenciales para que se llegue a presentar el fenómeno de licuación en este tipo de depósitos, además del espesor ya mencionado, es que se tenga un nivel freático a poca profundidad (menos de 3 m.), que el grado de compactación sea bajo, equivalente a 20 golpes en pruebas de penetración estándar (G. de Vallejo, 2002) y que el sitio en cuestión se ubique a menos de 200 km de posibles epicentros de sismos con magnitudes mayores o iguales que 6.

Considerando lo anterior, a reserva de que se consulten métodos cuantitativos en la literatura geotécnica, y que requieren pruebas de laboratorio, se pueden identificar y reportar áreas susceptibles a la licuación por efecto de sismo.

Con base en numerosos casos a nivel mundial, se ha podido identificar que a partir del grado VI de la escala de Mercalli, o en terrenos sujetos a aceleraciones de 0.1 g o mayores, existe la posibilidad de que se produzca el fenómeno de licuación. Así, los antecedentes de intensidades observadas en la región, o las aceleraciones máximas del terreno presentadas para distintos periodos de retorno, representan información valiosa para estimar el potencial de licuación en un sitio dado.

3.4.3 Zonificación geotécnica de valles aluviales

Con base en datos de geología superficial, clasificación de materiales en función de sus propiedades geotécnicas, espesores de capas, etc., es posible definir la zonificación geotécnica de un área.

Debido a la complejidad del medio geológico y las diferentes aplicaciones y finalidades de los mapas geotécnicos, no existe un procedimiento estándar para su elaboración (G. de Vallejo, 2002)

Sin embargo, el mapa de zonificación debe incluir, al menos:

- Delimitación de zonas de terreno firme, zonas blandas y aquellas consideradas de transición
- Descripción litológica de cada unidad (tipos de rocas o sedimentos que las componen, por ejemplo rocas volcánicas, gravas, arcillas, cuerpos de arena, etc)
- Profundidades del nivel freático

- Propiedades (resistencia a la penetración, densidad, plasticidad, grado de fracturamiento y de alteración, etc.).

El mapa de zonificación deberá estar acompañado de información respecto de las investigaciones realizadas, metodologías y criterios empleados en su elaboración, clasificación geológica y geotécnica de los materiales, columnas de sondeos, fotografías, etc.

De tal manera, será posible conocer las zonas que pueden ser susceptibles a la amplificación del movimiento sísmico o bien, identificar áreas aptas para distintos usos o realización de obras.

Idealmente, se pueden encontrar mapas de zonificación geotécnica en las normas técnicas complementarias de los reglamentos de construcción, ya sea en la sección de diseño por sismo o de diseño y construcción de cimentaciones (p. ej. el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal).

3.4.4 Microzonificación sísmica

De acuerdo con datos y experiencias derivados de sismos recientes en diversos lugares del mundo, se ha observado que los daños se acentúan notablemente en aquellas ciudades ubicadas en valles aluviales con grandes espesores de sedimentos blandos, principalmente arcillas, arenas y limos. Aunque la distancia al epicentro sea de varios cientos de kilómetros, como es el caso de la ciudad de México con respecto a los temblores costeros, los efectos en las construcciones y el terreno se acentúan debido a la amplificación de las ondas sísmicas, ocasionada por el contraste de densidades y velocidades de propagación para las ondas sísmicas entre el cuerpo sedimentario y el basamento rocoso (figura 3.16).

Por lo anterior, resulta indispensable conocer con detalle la respuesta sísmica del cuerpo sedimentario y calcular las implicaciones que ésta representa para los distintos tipos constructivos posibles. Para ello habrá que tomar en cuenta la zonificación geotécnica mencionada y diseñar programas de observación instrumental de señales sísmicas.

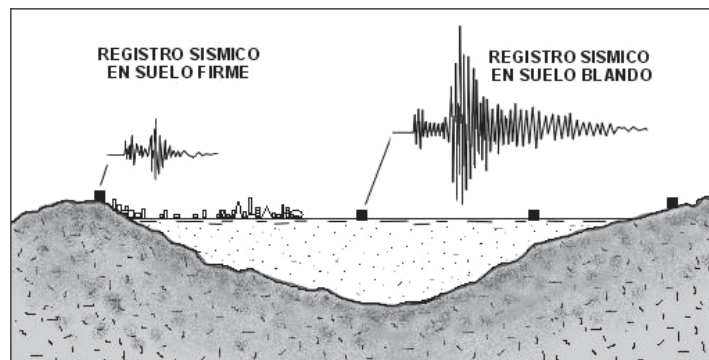


Figura 3.16 *Diferencias de amplitud en registros sísmicos obtenidos en distintos tipos de suelo para el mismo temblor*

A continuación, se mencionan los procedimientos que proporcionan información para una valoración detallada del efecto de sitio. Por su naturaleza, requieren de la intervención de grupos universitarios de investigación en ingeniería sísmológica o ingenieros consultores con experiencia.

3.4.4.1 Evaluación de amplificación relativa usando movimientos fuertes

Una de las técnicas experimentales más efectivas en la valoración del efecto de sitio, implica el uso de acelerógrafos y/o sismógrafos ubicados en terrenos blando y firme, para registrar eventos con magnitudes moderadas y grandes, de tal manera que se pueda hacer una comparación de los propios registros sísmicos y, sobre todo, de los espectros de amplitudes de Fourier para conocer la respuesta sísmica de los diferentes tipos de terreno.

En este caso se elige un sitio de referencia, necesariamente en terreno firme (rocoso) que sirva de base de comparación para los registros y espectros obtenidos a partir de estaciones en terreno blando.

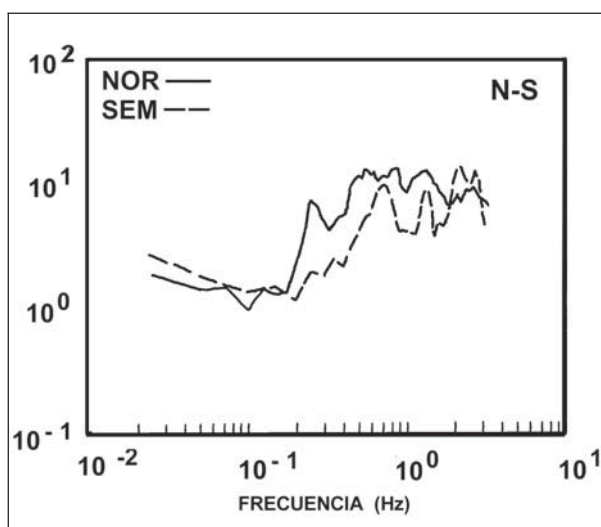


Fig. 3.17 Razones de espectros de amplitud de Fourier para dos sitios de suelo blando en Ciudad Guzmán, Jalisco calculadas a partir de uno de los componentes horizontales de registros sísmicos de magnitud moderada. En el eje vertical se observa el número de veces que la señal sísmica se amplifica en función de la frecuencia

Entre otros resultados, se pueden obtener los periodos dominantes de vibración del terreno (parámetros directamente relacionado con la altura de los edificios y su seguridad) y factores de amplificación (número de veces que el movimiento se amplifica en suelo blando con respecto a suelo firme) para una gama relativamente amplia de frecuencias propias del terreno.

Es necesario aclarar que aunque este procedimiento es bastante confiable para la valoración de la respuesta dinámica del terreno, se requiere del registro de varios temblores a fin de confirmar los valores de amplificación y frecuencias dominantes ante la variabilidad de azimut, profundidad, magnitud y distancia epicentral.

3.4.4.2 Evaluación de amplificación relativa usando vibración ambiental

El análisis de la vibración ambiental (microtremores), producto del tránsito de vehículos, funcionamiento de maquinaria, etc. ha sido ampliamente utilizada para conocer las características del terreno ante la excitación sísmica, especialmente en áreas donde se carece de instrumentación

sísmica fija, donde la actividad sísmica es muy escasa o bien en situaciones en que se tiene poco tiempo y dinero para valorar el efecto de sitio.

Una técnica muy conocida es la que planteó Nakamura (1989) y que consiste en el cálculo de cocientes espectrales de componentes horizontales respecto del vertical. Los máximos de dichos cocientes señalan el periodo dominante del terreno, el cual ordinariamente muestra una mayor definición en terrenos altamente compresibles.

Con respecto a la valoración de la amplificación relativa, esta técnica ha mostrado resultados consistentes con aquellos obtenidos con movimientos fuertes en algunos casos (Lermo *et al.*, 1991; Lermo y Chávez-García, 1994b), mientras que en otros la confiabilidad ha resultado ser menor (Gutiérrez y Singh, 1992).

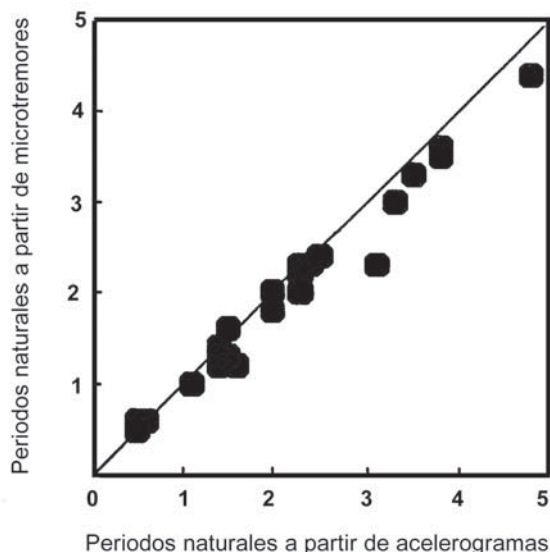
3.4.4.3 Mapa de isoperiodos

Como parte importante de una microzonificación se contempla la elaboración de mapas donde, mediante curvas que unen valores iguales, se exprese la distribución de periodos dominantes del terreno. Comúnmente, los mapas de isoperiodos guardan una cierta correlación con aquellos de geología superficial, mostrando periodos cortos (p. ej. 0.1 ó 0.2 segundos) en terrenos firmes, mientras que en rellenos aluviales llegan a observarse (como es el caso de la Ciudad de México) periodos de 3, 4 ó 5 segundos.

Este tipo de mapas puede integrarse colectando, mediante un acelerógrafo o sismógrafo portátil, señales de vibración ambiental en tantos sitios como sea posible y calculando sus espectros de amplitud de Fourier para obtener los periodos dominantes.

Aunque un mapa de periodos configurado con el solo análisis de microtremores puede proporcionar una idea más o menos aproximada de la respuesta dinámica, se recomienda especialmente que, al menos en aquellos sitios donde se ubicaron acelerógrafos o sismógrafos, se verifiquen los periodos derivados del análisis de la vibración ambiental con el propósito de minimizar las incertidumbres en análisis posteriores (figura 3.18).

Fig. 3.18 Correlación de periodos dominantes obtenidos con movimientos fuertes y vibración ambiental en la zona de lago de la Ciudad de México. Esta comparación permite verificar el grado de confiabilidad con respecto al uso de la vibración ambiental



El conocer los periodos dominantes del terreno, así como su distribución, resulta de gran utilidad para estimar la coincidencia de éstos con los periodos naturales de los edificios. Cuando ambos periodos son iguales o muy parecidos, se presenta un fenómeno de amplificación del movimiento de la estructura que generalmente se denomina como resonancia, el cual implica desplazamientos y deformaciones mucho más grandes, en comparación con otros edificios donde no hay coincidencia de periodos y, en consecuencia, una mayor probabilidad de daño. Este efecto tuvo una influencia determinante para que muchas edificaciones presentaran daño significativo o colapsaran en 1985, en la Ciudad de México.

3.4.4.4 Prueba de estacionariedad

En vista de que la vibración ambiental es producida esencialmente por la actividad humana, es factible que el nivel de excitación del terreno varíe significativamente a lo largo del día. Con el fin de garantizar la estabilidad de la señal, y en consecuencia la confiabilidad de los espectros calculados, se recomienda realizar una prueba de estacionariedad, eligiendo para ello al menos un sitio que se considere representativo, en términos geotécnicos, del área sujeta a investigación.

En la figura 3.19 se presenta el resultado de una prueba de estacionariedad realizada en zona de lago de la Ciudad de México, para la que se registró vibración ambiental cada hora a lo largo de un día. Aunque las amplitudes para las horas de mínima actividad muestran diferencias importantes, el periodo dominante se muestra estable. De no cumplirse esta condición, los periodos dominantes de una zona resultarían inciertos y, en consecuencia, las valoraciones basadas en vibración ambiental ofrecerían poca confiabilidad.

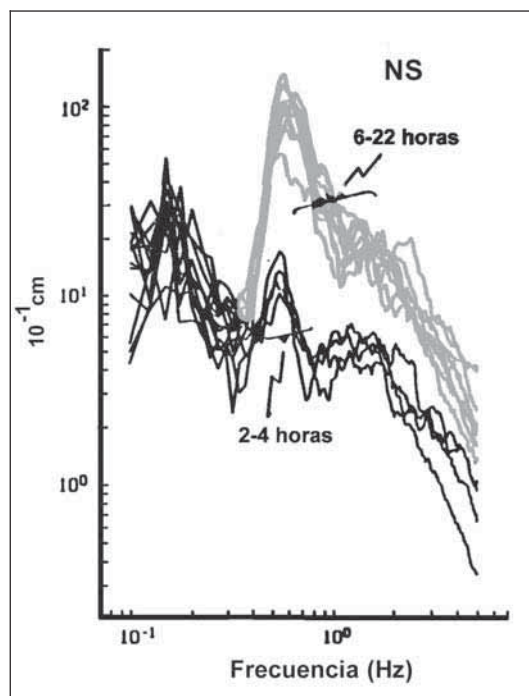


Fig. 3.19 Espectros de amplitud de Fourier, para componentes horizontales de señales de vibración ambiental obtenidas en la ciudad de México. Es claro que los máximos espectrales, asociados al periodo dominante del sitio, no cambian significativamente aun en horas de mínima actividad humana

3.4.4.5 Función de transferencia teórica

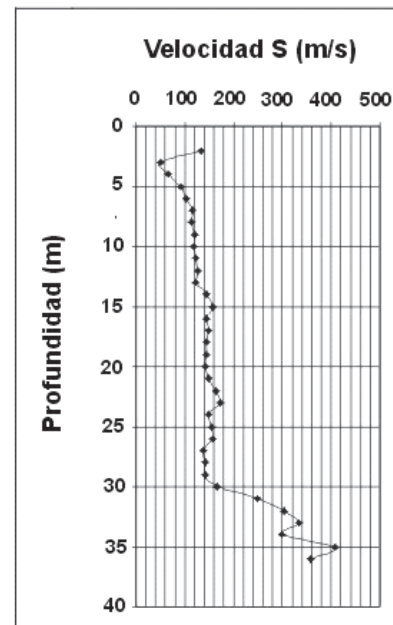
Con base en un modelo unidimensional del terreno, donde se suponen dimensiones laterales infinitas, y con los parámetros característicos tales como el espesor de los estratos, densidad, coeficiente de amortiguamiento y la velocidad de onda de corte, puede calcularse una función de transferencia que representa la respuesta dinámica del suelo en términos de la frecuencia (Thompson, 1950; Haskell, 1953). Actualmente, esto se facilita mediante el empleo de un programa diseñado para computadora personal (Santoyo, 1991).

Los parámetros señalados pueden obtenerse a través de sondeos geotécnicos, pruebas de laboratorio o prospección geofísica (por ejemplo perfiles de refracción). No obstante, la resolución que alcance una estimación de este tipo dependerá, en buena medida, de una adecuada construcción del modelo. Para ello, es altamente recomendable que se incluya el mayor número de estratos que integren el cuerpo sedimentario en estudio, con sus respectivos espesores y velocidades de onda de corte.

Actualmente se cuenta con un sistema de sonda suspendida que, a diferencia de los métodos geofísicos tradicionales (refracción sísmica, *cross-hole*, etc.) no tiene prácticamente limitaciones en cuanto a la profundidad de investigación. Dicho instrumento proporciona de manera precisa las velocidades de onda de corte a lo largo de un pozo, facilitando un cálculo más confiable de la función de transferencia.

Este procedimiento es particularmente recomendable en áreas donde se planea la construcción de edificios de gran altura, hospitales, instalaciones industriales, etc. Con base en ello, se podrá calcular la respuesta específica del terreno, facilitando el diseño sismorresistente.

Figura 3.20 Perfil de velocidades de ondas S. Muestra los valores de velocidades de propagación en las distintas capas. A partir de los 30 m se observa un aumento notable de la velocidad, señalando capas más competentes



En el ejemplo de la figura 3.20, es posible apreciar el comportamiento homogéneo de la formación en los primeros 30 metros y la presencia de capas más resistentes, al menos, entre los 30 y 36 metros.

3.5 ALGUNAS APLICACIONES PARA EL ESTADO DE COLIMA

Clasificación con respecto a la Regionalización Sísmica: ZONA D (Alta exposición)

Información derivada de los mapas de peligro:

Tabla 3.6 Periodos de retorno y aceleraciones máximas

Periodos de Retorno (años)	Aceleraciones Máximas (gal)
10	80-103
50	149-235
100	190-298
500	405-585
1000	492-711

Considere que a partir de 100 ó 150 gal se pueden esperar afectaciones a las construcciones, dependiendo de los materiales y técnicas constructivas empleadas. En este caso, se observa que dichos niveles de aceleración o mayores están contemplados para periodos de retorno relativamente cortos que incluyen el tiempo de vida útil de la mayoría de las construcciones, particularmente la vivienda. De lo anterior se concluye que es fundamental contar con normativas para el diseño y construcción, así como asegurar su aplicación.

Exposición al maremoto:

Las costas del estado están ubicadas en la zona de recepción de eventos lejanos y generación de maremotos locales. El evento de mayor importancia es el del 22 de junio de 1932, que provocó en Cuyutlán olas con altura hasta de 10 m, con influencia tierra adentro hasta un kilómetro. Ninguna instalación portuaria o asentamiento costero cuenta a la fecha con mapas de peligro para este fenómeno. Es aconsejable que los municipios costeros de Manzanillo, Armería y Tecmán empleen el criterio de la cota de 10 m, para señalar la zona afectable.

Tabla 3.7 Resultado de la consulta de mapas de intensidades para los últimos 100 años, en dos sitios representativos del estado, considerando los sismos de mayor magnitud

Fecha	Magnitud	Manzanillo	Cd. Colima
Enero 20, 1900	7.4	-	VIII
Junio 3, 1932	8.2	VIII	VIII
Junio 18, 1932	7.8	VIII-IX	IX
Abril 15, 1941	7.6	VIII	X
Enero 30, 1973	7.6	VIII	VIII
Octubre 8, 1995	8.0	VIII-IX	VII
Enero 22, 2003	7.6	VII-VIII	VIII

Licuación de arenas:

Se cuenta con literatura técnica que reporta la licuación de arenas durante el temblor de octubre de 1995, tanto en terrenos naturales como rellenos artificiales, siendo más notables en estos últimos. Entre los sitios afectados se tienen el puerto interior de San Pedrito, el área de la Central Termoeléctrica de Manzanillo, etc.

Mapas de geología superficial

La ciudad de Colima y Manzanillo cuentan con mapas de geología superficial que muestran la distribución de materiales con respecto a la traza urbana. Se muestra el mapa correspondiente a la ciudad de Colima, con datos obtenidos hasta 1994.

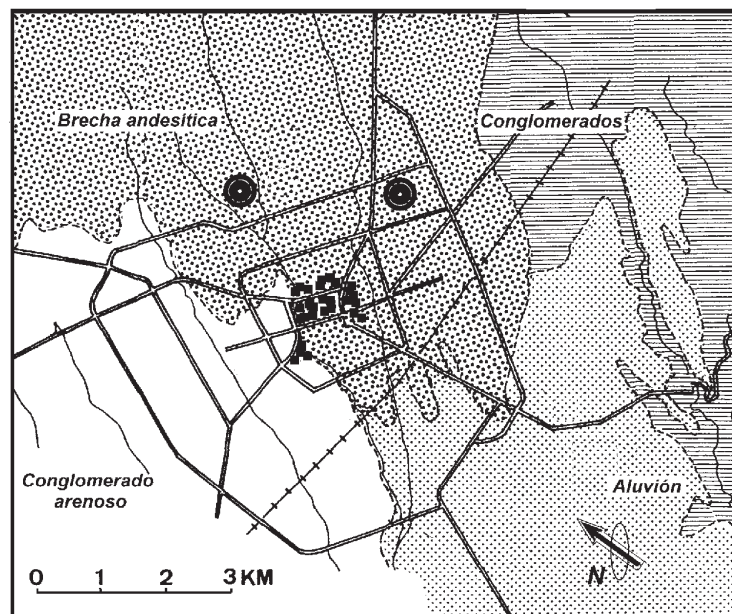


Figura 3.21 Geología superficial del área urbana de Colima

Microzonificación sísmica

Se muestra un mapa de isoperiodos obtenido con vibración ambiental para la ciudad de Colima. Asimismo, se observan sitios donde se obtuvieron valores de amplificación relativa en 1994 y los sitios de dos pozos donde se obtuvieron perfiles de velocidades de propagación de ondas S, como parte del proyecto de microzonificación que el CENAPRED llevó a cabo en 1994 (Gutiérrez, *et al.*, 1996).

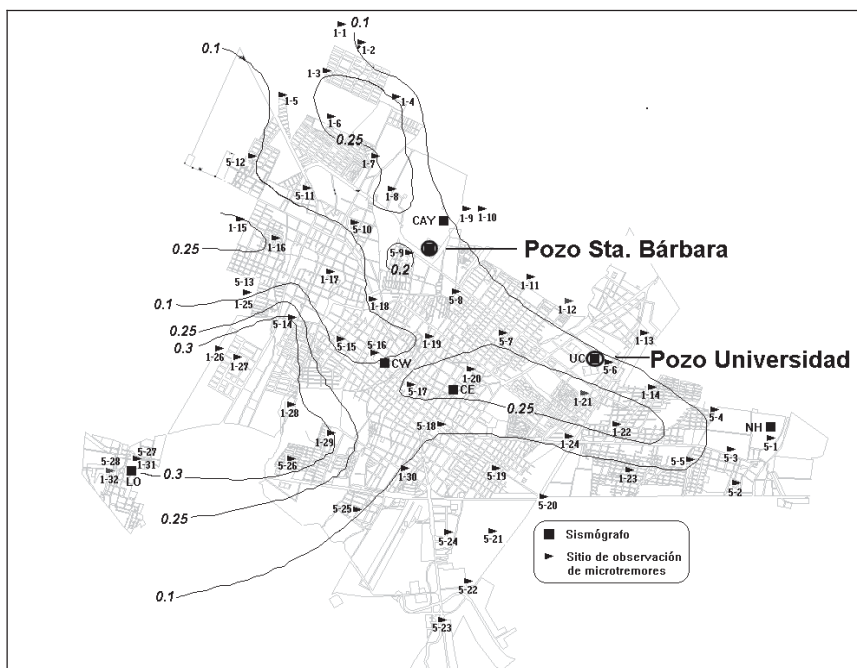


Figura 3.22 Mapa de isoperíodos (segundos) para la ciudad de Colima

Perfil de velocidades de ondas S en la ciudad de Colima

Se presenta el perfil de velocidades de ondas S para el pozo ubicado en el campus de la Universidad de Colima.

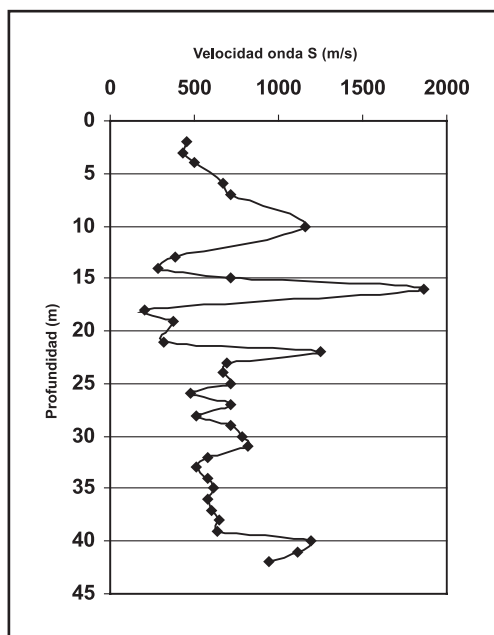


Figura 3.23 Perfil de velocidades de ondas S para el pozo ubicado en el campus de la Universidad de Colima

CONCLUSIONES

El presente documento plantea, por una parte, un procedimiento sencillo que permite a personal no especializado coleccionar, generar y organizar la información esencial para conocer el nivel general de exposición a los efectos de los sismos.

Para estudios de detalle o cuantitativos se explican los procedimientos más adecuados, cuya aplicación requerirá la participación de grupos universitarios de investigación o profesionales con experiencia. En especial, se recomienda que los estudios de microzonificación sísmica sean realizados no sólo mediante el empleo de vibración ambiental (como es el caso de un buen número de ciudades en el país) sino empleando movimientos fuertes, con el fin de lograr mayor confiabilidad.

Se incluye a lo largo del texto la explicación de conceptos básicos para facilitar la comprensión de los temas, homogeneizar el tratamiento de los diversos aspectos relacionados y establecer un lenguaje adecuado, a fin de evitar interpretaciones erróneas.

Ante las particularidades para la identificación, análisis o diagnóstico de fenómenos sísmicos que se puedan presentar en algún municipio o localidad, queda abierta la posibilidad para que sean atendidas con el apoyo del propio CENAPRED o grupos locales de investigación.

GLOSARIO

Acelerógrafo: Instrumento para medir aceleraciones del terreno en función del tiempo. Usualmente registra movimientos producidos por temblores fuertes o con epicentros cercanos. Al registro producido se le conoce como acelerograma. Los acelerógrafos también se colocan en edificios para analizar su comportamiento en diferentes niveles de la construcción (cimientos, pisos intermedios, azotea).

Amplitud (de una onda): Altura máxima de la cresta o del valle de una onda a partir del valor cero o línea base (aquella que corresponde a nula excitación sísmica).

Azimut: Ángulo medido a partir del Norte en el sentido de las agujas del reloj.

Brecha sísmica: Segmento o área de contacto entre placas, particularmente de tipo de subducción (p.ej. costa occidental de México) o de movimiento lateral (falla de San Andrés), en el que no se ha presentado un sismo de gran magnitud (mayor o igual a 7) en al menos 30 años. Actualmente, la brecha sísmica más importante en México es la correspondiente a la costa de Guerrero.

Caída de esfuerzos: Disminución repentina de los esfuerzos presentes en el plano de contacto entre dos placas tectónicas o bloques de una falla cualquiera, como consecuencia de la ocurrencia de un temblor

Corteza terrestre: Capa rocosa externa de la Tierra. Su espesor varía entre 10 y 70 km.

Enjambre (de terremotos): Serie de terremotos con epicentros en un área relativamente reducida, sin que uno de ellos llegue a tener una magnitud mucho mayor que lo distinga claramente del resto. Puede durar unos cuantos días o hasta varias semanas o meses. Pueden ser sentidos por pobladores cercanos sin que lleguen a representar un nivel alto de peligro.

Epicentro: Punto en la superficie de la Tierra resultado de proyectar sobre ésta el hipocentro de un terremoto. Se encuentran usualmente en un mapa, señalando el lugar justo sobre el origen del movimiento sísmico.

Esfuerzo: Medida de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo. En Física se expresa como fuerza por unidad de área.

Falla: Superficie de ruptura en rocas a lo largo de la cual ha habido movimiento relativo, es decir, un bloque respecto del otro. Se habla particularmente de falla activa cuando en ella se han localizado focos de sismos o bien, se tienen evidencias de que en tiempos históricos han habido desplazamientos. El desplazamiento total puede variar de centímetros a kilómetros dependiendo del tiempo durante el cual la falla se ha mantenido activa (años o hasta miles y millones de años). Usualmente, durante un temblor grande, los desplazamientos típicos son de uno o dos metros.

Foco: Punto de origen del sismo, en el interior de la Tierra. Lugar donde empieza la ruptura que se extiende formando un plano de falla. También nombrado como hipocentro.

Intensidad (sísmica): Número que se refiere a los efectos de las ondas sísmicas en las construcciones, en el terreno natural y en el comportamiento o actividades del hombre. Los grados de intensidad sísmica, expresados con números romanos del I al XII, correspondientes a diversas localidades se asignan con base en la escala de Mercalli. Contrasta con el término magnitud que se refiere a la energía total liberada por el sismo.

Isosistas: Líneas de contorno dibujadas en un mapa para separar un nivel de intensidad sísmica de otro.

Litosfera: Cubierta rígida de la Tierra. Está constituida por la corteza y la parte superior del manto; su espesor promedio no excede 100 km. Se encuentra dividida en grandes porciones móviles llamadas placas tectónicas.

Longitud de onda: Distancia entre dos puntos o fases sucesivos de una onda, por ejemplo crestas o valles

Magnitud (de un sismo): Valor relacionado con la cantidad de energía liberada por el sismo. Dicho valor no depende, como la intensidad, de la presencia de pobladores que observen y describan los múltiples efectos del sismo en una localidad dada. Para determinar la magnitud se utilizan, necesariamente uno o varios registros de sismógrafos y una escala estrictamente cuantitativa, sin límites superior ni inferior. Una de las escalas más conocidas es la de Richter, aunque en la actualidad frecuentemente se utilizan otras como la de ondas superficiales (M_s) o de momento sísmico (M_w).

Manto terrestre: Porción intermedia de la Tierra, cubierta por la corteza y que descansa sobre el núcleo. Su espesor es de unos 2,850 kilómetros; está compuesto por rocas densas y dividido en varias capas concéntricas.

Núcleo terrestre: Parte central de la Tierra que se inicia a una profundidad superior a los 2,900 kilómetros, compuesta de hierro y silicatos. Con base en el estudio de ondas sísmicas, se descubrió que consta de dos porciones concéntricas: una externa, que se comporta como un fluido, y una interna que es sólida.

Ondas love: Ondas sísmicas que tienen en la superficie del terreno su máxima amplitud, decayendo ésta con la profundidad. El movimiento del terreno se da sólo en sentido horizontal, perpendicular a la dirección de propagación.

Ondas P: Primera onda, la más rápida, que viaja desde el lugar del evento sísmico a través de las rocas y que consiste en un tren de compresiones y dilataciones sucesivas del material terrestre.

Ondas Rayleigh: Ondas sísmicas que alcanzan su máxima amplitud en la superficie terrestre, con movimiento del suelo sólo en el plano vertical, similar en cierta forma al del oleaje.

Ondas s: Ondas sísmicas secundarias que viajan más lentamente, aunque más energéticas, que las ondas P y que consisten en vibraciones transversales a la dirección de propagación. No pueden propagarse en líquidos debido a la ausencia de rigidez.

Ondas de cuerpo: Ondas sísmicas, P y S, que se propagan a través de los materiales terrestres. Las S no se transmiten a través de fluidos. La velocidad típicas de las ondas P, en roca, es de 6 km/s, mientras que para las S se tienen 3.5 km/s.

Ondas superficiales: Ondas sísmicas que sólo se propagan sobre la superficie terrestre, con una velocidad menor que la de las ondas S. Hay dos tipos de ondas superficiales: Rayleigh y Love.

Periodo (de una onda): Intervalo de tiempo entre dos crestas sucesivas en un tren de ondas sinusoidales. El periodo es el inverso de la frecuencia en un evento cíclico.

Periodo de retorno: Es el tiempo medio, expresado en años, que tiene que transcurrir para que ocurra un sismo en que se exceda una aceleración dada.

Periodo estructural: Es el periodo fundamental de una estructura, expresado en segundos, ante la excitación sísmica.

Placa (tectónica): Porción de la litosfera terrestre, de grandes dimensiones y espesor no mayor a 100 km, que se mueve con relación a otras partes de la litosfera sobre el manto terrestre. Las placas chocan en zonas de convergencia y se separan en zonas de divergencia.

Plano de falla: Superficie de contacto entre dos bloques rocosos con movimiento entre sí.

Predicción (de terremotos): Determinación del lugar, fecha y magnitud de un terremoto. Hasta ahora no se cuenta con un procedimiento que defina con seguridad estos tres parámetros.

Premonitores: Terremotos de magnitud reducida que preceden al mayor de una serie concentrada en un volumen de corteza restringido, en un cierto lapso.

Profundidad focal (de un terremoto): Profundidad del foco por debajo de la superficie de la Tierra.

Réplicas: Terremotos menores que siguen a uno mayor, concentrados en un volumen restringido de la corteza.

Riesgo sísmico: Producto de tres factores: El valor de los bienes expuestos (C), tales como vidas humanas, edificios carreteras, puertos, tuberías, etc; la vulnerabilidad (V), que es un indicador de la susceptibilidad a sufrir daño, y el peligro (P) que es la probabilidad de que ocurra un hecho potencialmente dañino; así $R=C \times V \times P$.

Sismicidad: La ocurrencia de terremotos de cualquier magnitud en un espacio y periodo dados

Sismógrafo: Instrumento de alta sensibilidad para registrar los movimientos de la superficie de la Tierra, en función del tiempo, causados por el paso de las ondas sísmicas. Al registro producido se le conoce como sismograma.

Sismología: El estudio de los terremotos; fuentes sísmicas, propagación de ondas a través de la Tierra, excitación del terreno en superficie y a profundidad, etc.

Sismómetro: Elemento sensor de un sismógrafo, normalmente un péndulo suspendido.

Sismoscopio: Sismógrafo elemental que sólo deja constancia de un movimiento del terreno relativamente intenso, sin marcas de tiempo.

Tectónica de placas: Teoría del movimiento e interacción de placas que explica la ocurrencia de los terremotos, volcanes y formación de montañas como consecuencias de grandes movimientos superficiales horizontales.

Teoría del rebote elástico: La teoría de la generación de los terremotos que propone que las fallas permanecen fijas mientras se acumulan los esfuerzos lentamente en las rocas vecinas y luego se desplazan de repente, liberando la energía acumulada.

Terremoto (sismo o temblor): Vibraciones de la Tierra causado por el paso de ondas sísmicas irradiadas desde una fuente de energía elástica.

Tsunami (o maremoto): Ola con altura y penetración tierra adentro superiores a las ordinarias, generalmente causada por movimientos del suelo oceánico en sentido vertical, asociado a la ocurrencia de un terremoto de gran magnitud con epicentro en una región oceánica.

BIBLIOGRAFÍA

Bard, P.Y., Duval, A.M., Lebrun, B., Lachet, C., Riepl, J. and Hatzfeld, D., "Reliability of the H/V technique for site effects measurement and experimental assessment", Seventh International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Istanbul, July, 19-24, 1997.

Bolt, B. A. "Terremotos". Ediciones ORBIS, S.A. 1986.

Bullen, K. "An Introduction to the Theory of Seismology". Cambridge Univ. Press 1963.

Centro Nacional de Prevención de Desastres. "Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastre". Secretaría de Gobernación (2001).

Chávez-García, F.J., Lermo, J., Cuenca, J., Aguilar, A., Rivera, J. y Hernández, H. "Microzonificación sísmica de la zona urbana de la ciudad de Puebla", informe técnico final del Instituto de Ingeniería UNAM a CONACYT, Proyecto 2548, 1994.

Du Bois S.M. and Smith, A.W. "The 1887 earthquake in San Bernardino Valley, Sonora: Historic Accounts and intensity patterns in Arizona". Special Paper No. 3. The University of Arizona, 1980.

Esteva, L. "Regionalización sísmica de México para fines de ingeniería", *Serie Azul 246*, Instituto de Ingeniería, UNAM 1970.

Esteva, L., "Seismicity", Capítulo 6 de *Seismic Risk and Engineering Decisions*, editado por C. Lomnitz y E. Rosenblueth, Elsevier, 1976.

Finn, W. D. L. "Geotechnical engineering aspects of microzonation", Proc, Fourth Int, Conf. on Seismic Zonation, Stanford, California, I, 199-259. 1991.

González de Vallejo L. "Ingeniería Geológica". Prentice Hall, 2002.

Gutiérrez, C., Masaki, K., Lermo, J. y Cuenca, J. , "Microzonificación sísmica de la ciudad de Colima", Cuaderno de investigación No.33, CENAPRED 1996.

Gutiérrez, C and Singh S. K., "A site effect study in Acapulco, Guerrero, Mexico: comparison of results", *Bull. Seism. Soc. Am.* 78, 42-63, 1992.

Haskell, N.A. "The dispersion of surface waves in multilayered media". *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 43; 1953.

Lachet, C. and Bard P. Y. "Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique", *J. Phys. Earth.*, 42, 377-397, 1994.

Lermo, J. y. Chávez-García F.J. "Site effect evaluation at Mexico City: dominant period and relative amplification from strong motion and microtremor records", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 13, 413-423, 1994.

Nakamura Y. "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface", *QR of RTRI*, 30, No.1, 25-33, 1989.

Pacheco, J. and Sykes L. "Seismic Moment Catalog of Large Shallow Earthquakes 1900-1989". Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 82, No. 3, pp 1306-1349; 1992.

Pérez-Rocha, L. E., Sánchez-Sesma, F.J., Ordaz, M., Singh, S.K. and Reinoso, E. "Strong ground motion prediction at México City", Proceedings 12WCEE, New Zealand, paper 2693; 2000.

PSM "Mapas de peligro sísmico en México", Programa elaborado por el Instituto de Ingeniería, UNAM; CENAPRED, CFE y el IIE. México D.F., 1996.

Quaas R., L. Alcántara, J.M. Espinosa E. Mena, J.A. Otero, S. Medina C. Javier, B. López, C. Pérez, R. Vázquez, J. A. Flores, F. González. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. "La Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes. Un sistema que integra la información acelerográfica registrada en México en los últimos 35 años". 1996

Reinoso, E. "Efectos sísmicos locales en el Valle de México: amplificación medida en la zona lacustre", Memorias del IX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 2, 224-236, Manzanillo, México; 1991.

Richter, C.F. "Elementary Seismology". W.H. Freeman and Company; 1958.

Rosenblueth E., Ordaz M. "Use of seismic data from similar regions", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 15 619-634; 1987.

Santoyo, M. "Programas para el cálculo de funciones de transferencia y sismogramas sintéticos para un modelo unidimensional de subsuelo ante incidencia de ondas tipo SH". CENAPRED, 1991

Scientific American. "Continents Adrift and Continents Aground". W. H. Freeman and Co.; 1976.

Singh, S.K., Astiz, L., y Havskov, J. (), "Seismic gaps and recurrence period of large earthquake along the Mexican subduction zone: a reexamination", Bull. Seism. Soc. Am., 71, 827-843; 1981.

Singh, S.K. y Ordaz, M. "Sismicidad y Movimientos Fuertes en México: Una Visión Actual". CENAPRED; 1994.

Singh S.K., M. Ordaz, M. Rodríguez, R. Quaas, e. Mena, M. Ottaviani, J.G. Anderson, y D. Almora. "Analysis of near-source strong motion recordings along the Mexican subduction zone", Bull. Seism. Soc. Am., (79) 1697-1717; 1989.

Singh, S.K., J. Lermo, T. Domínguez, M. Ordaz, J.M. Espinosa, E. Mena y R. Quaas. "A study of amplification of seismic waves in the Valley of Mexico with respect to a hill zone site", Earthquake Spectra 4 (4), 653-673; 1988.

Thompson, W.T. "Transmission of elastic waves through a stratified solid" Journal of Applied Physics, Vol. 21; 1950.

Turcotte D. and Schubert G. Geodynamics. Application of Continuum Physics to Geological Problems. J. Wiley & Sons; 1992.

IV. ELABORACIÓN DE MAPAS DE PELIGROS VOLCÁNICOS

Alicia Martínez Bringas, Ángel Gómez Vázquez y Servando De la Cruz-Reyna

RESUMEN

En comparación con otros desastres naturales, los causados por actividad volcánica son poco frecuentes aunque letales. Sin embargo, el costo asociado a este tipo de desastres es alto, debido a que son capaces de afectar amplias regiones alrededor de los volcanes y pueden llegar a extenderse a grandes distancias. Una adecuada evaluación de los peligros volcánicos debe estar basada primordialmente en la reconstrucción de la historia eruptiva de cada volcán.

4.1 INTRODUCCIÓN

Los peligros volcánicos son más sencillos de manejar en comparación con otros peligros naturales, ya que su lugar de origen es puntual y por la extensión limitada del área en la cual existen volcanes activos.

En comparación con otros desastres naturales, los causados por actividad volcánica son poco frecuentes sin embargo son letales. El costo asociado a este tipo de desastres es alto, debido a que son capaces de afectar amplias regiones alrededor de los volcanes y pueden llegar a extenderse a grandes distancias. Una adecuada evaluación del peligro volcánico debe estar basada primordialmente en la reconstrucción de la historia eruptiva de cada volcán.

Los mayores desastres han ocurrido en volcanes con muchos años de inactividad. Estos periodos de ausencia de actividad propicia el olvido y la falta de interés en la historia eruptiva de estos volcanes, lo que trae consigo consecuencias catastróficas.

Aunque es prácticamente imposible disponer de un calendario completo con todas las erupciones de un volcán, debe intentarse al menos la identificación de los periodos de actividad más importantes.

La forma de comportarse de un volcán en el pasado describe la posible actividad precursora y la secuencia de eventos durante una erupción o una secuencia de erupciones, así como el tipo y magnitud de la actividad futura.

Contar con el conocimiento de los peligros volcánicos que pudieran presentarse en un volcán determinado, dará como resultado una reducción en pérdidas, humanas y económicas. Además permitirá una mejora en técnicas de construcción de viviendas y edificaciones en general, implementación de medidas restrictivas a la construcción en áreas de peligro y al desarrollo de mejores planes de evacuación y mitigación de desastres.

4.1.1 Volcanes de México

El vulcanismo es una manifestación de la energía interna de la Tierra. En México gran parte del vulcanismo está relacionado con la zona de subducción formada por las placas de Rivera y Cocos con la gran placa Norteamericana, y tiene su expresión volcánica en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Esta Faja es una elevación volcánica con orientación Este-Oeste, que se extiende más de 1,200 km y su ancho varía de 20 a 150 km.

La FVTM, ubicada sobre el paralelo 19°, alberga a los principales volcanes activos del país. Su vulcanismo es extremadamente variado, desde actividad efusiva cuyos productos más importantes son los derrames de lava, hasta erupciones altamente explosivas con predominio de depósitos piroclásticos tanto de flujo como de caída.

La FVTM se caracteriza por la diversidad de volcanes, desde grandes estratovolcanes hasta extensos campos de pequeños conos de cenizas y volcanes escudo. Sin embargo existen otros centros eruptivos en el país que no pertenecen a la FVTM, como son los volcanes del estado de Chiapas, el volcán Tres Vírgenes en Baja California Norte, cuyo mecanismo de formación es de otro origen, etc.

En México hay más de 2,000 volcanes, de los cuales alrededor de 15 se consideran activos o peligrosos. En la figura 4.1 se muestran las zonas volcánicas de México, así como la ubicación de algunos de los volcanes considerados como de alta peligrosidad.



Figura 4.1 Zonas volcánicas de México señaladas con líneas punteadas y algunos volcanes considerados peligrosos (Tomado de USGS/CVO, 2003)

De acuerdo con el catálogo de Volcanes de México del Smithsonian Institution (Siebert *et al*, 2003), existen en México 68 volcanes y campos volcánicos clasificados como Cuaternarios o geológicamente recientes (*volcanes formados durante la era en que aparece el Hombre, y que comprende los últimos 1.8 millones de años*). De especial importancia son los volcanes que han mostrado actividad en los últimos 10,000 años, periodo al que se denomina “holoceno”.

Los volcanes se clasifican, para efectos del análisis de Peligro, de acuerdo con criterios relacionados con sus tasas eruptivas y con las magnitudes que han sido capaces de producir.

La tasa de erupción promedio en México durante los últimos 500 años ha sido de unas 15 erupciones de diversos tamaños por siglo. Si bien la mayoría de esas erupciones han sido de magnitudes bajas, otras han sido destructivas en grado moderado, como las del volcán de Colima de 1576 y 1818, o las del San Martín Tuxtla de 1664 y 1793, o en mayor grado, como la ocurrida en el volcán El Chichón en 1982, que causó numerosas víctimas, devastó 150 km² de áreas boscosas y de cultivo y destruyó varios miles de cabezas de ganado.

Otras erupciones, como el nacimiento del volcán monogenético Parícutín produjeron flujos de lava que provocaron la destrucción de poblaciones y tierras cultivables, pero sin causar víctimas. Casos análogos de volcanes monogenéticos recientes son el Jorullo, que nació en Michoacán en 1759, y el Xitle, que nació en el valle de México, hace aproximadamente 1,670 años. Los efectos de los flujos de lava del Xitle pueden apreciarse muy claramente en la zona arqueológica de Cuicuilco en el sur del Distrito Federal.

Los 68 volcanes y campos volcánicos Cuaternarios de México se han clasificado bajo los siguientes criterios:

Categoría 1: Se consideran de peligro alto los volcanes que hayan producido erupciones con un Índice de Explosividad Volcánica (VEI por sus siglas en inglés) (tabla 4.2) igual o mayor a 3 con un tiempo medio de recurrencia de 500 años o menos, o que hayan producido al menos una erupción con VEI 3 o mayor en los últimos 500 años.

Categoría 2: Se consideran de peligro medio los volcanes que hayan producido erupciones con VEI igual o mayor a 3 con un tiempo medio de recurrencia mayor que 500 pero menor que 2,000 años, o que hayan producido al menos una erupción con VEI 3 o mayor en los últimos 500 a 2,000 años.

Categoría 3: Se consideran de peligro moderado los volcanes que hayan producido erupciones con VEI igual o mayor a 3 con un tiempo medio de recurrencia mayor que 2,000, pero menor a 10,000 años, o que hayan producido al menos una erupción con VEI 3 o mayor en los últimos 2,000 a 10,000 años. La figura 4.2 incluye a los volcanes de las categorías 1, 2 y 3.

Categoría 4: Se consideran de peligro latente los volcanes que hayan producido erupciones con VEI mayor a 4 con un tiempo medio de recurrencia mayor a 10,000 años, o que hayan producido al menos una erupción con VEI mayor a 4 en los últimos 100,000 años. La figura 4.3 muestra los volcanes de México en esta categoría.

Categoría 5: Se consideran de peligro indefinido los volcanes que hayan producido erupciones con VEI igual o mayor que 3, con un tiempo medio de recurrencia indeterminado (esto es, que sólo exista un dato), o que hayan producido al menos una erupción con VEI 3 en algún momento de su historia holocénica (últimos 10,000 años). La figura 4.4 muestra las ubicaciones de volcanes clasificados en ésta categoría.

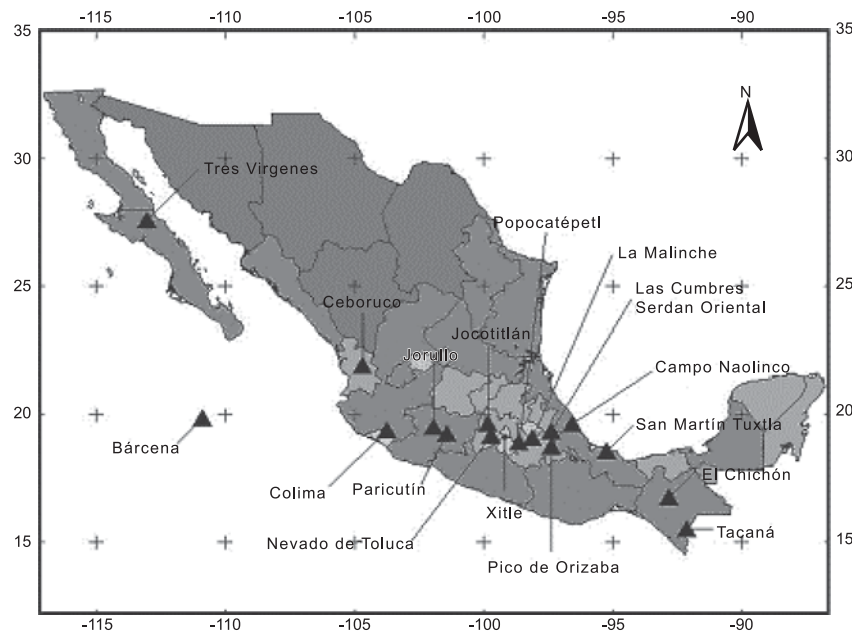


Figura 4.2 La figura muestra algunos de los volcanes de México que han tenido erupciones en tiempos geológicos muy recientes o históricos. Nótese que algunos de los volcanes señalados (como el Xitle o el Parícutín) son monogenéticos y se incluyen en el mapa como representativos de extensos campos volcánicos donde puede nacer otro volcán de ese tipo. Los volcanes mostrados en esta figura caen en las categorías 1, 2 y 3

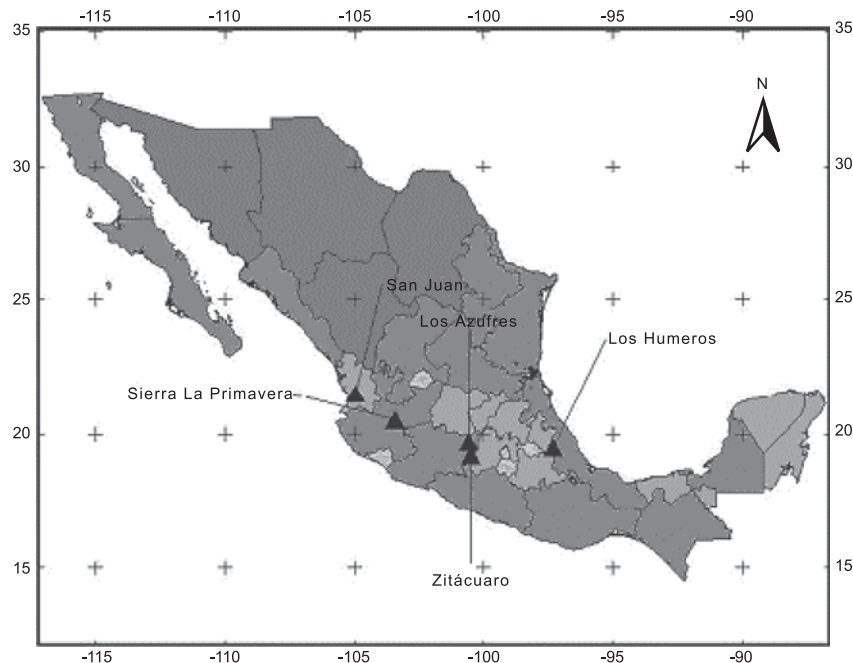


Figura 4.3 Volcanes de México en la categoría 4, que se consideran de peligro latente por haber producido erupciones con VEI mayor a 4 con un tiempo medio de recurrencia mayor a 10,000 años, o por haber producido al menos una erupción con VEI mayor a 4 en los últimos 100,000 años

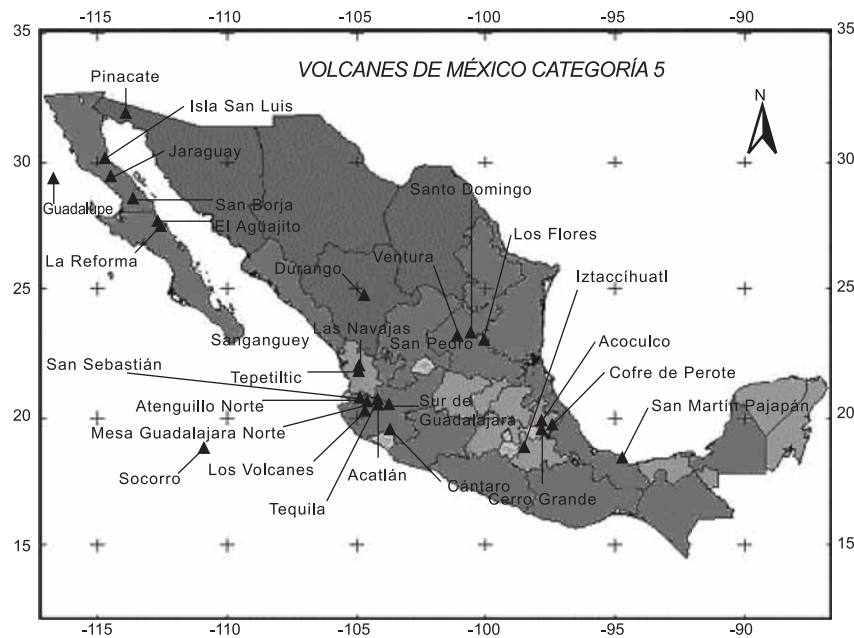


Figura 4.4 Volcanes y campos volcánicos en la categoría 5, que se consideran de peligro indefinido por haber producido erupciones con VEI igual o mayor que 3, con un tiempo medio de recurrencia indeterminado (esto es, que sólo existe un dato), o por haber producido al menos una erupción con VEI 3 en algún momento de su historia holocénica (últimos 10,000 años). Este tipo de volcanes deben ser reevaluados después de contar con mayores datos de su historia eruptiva

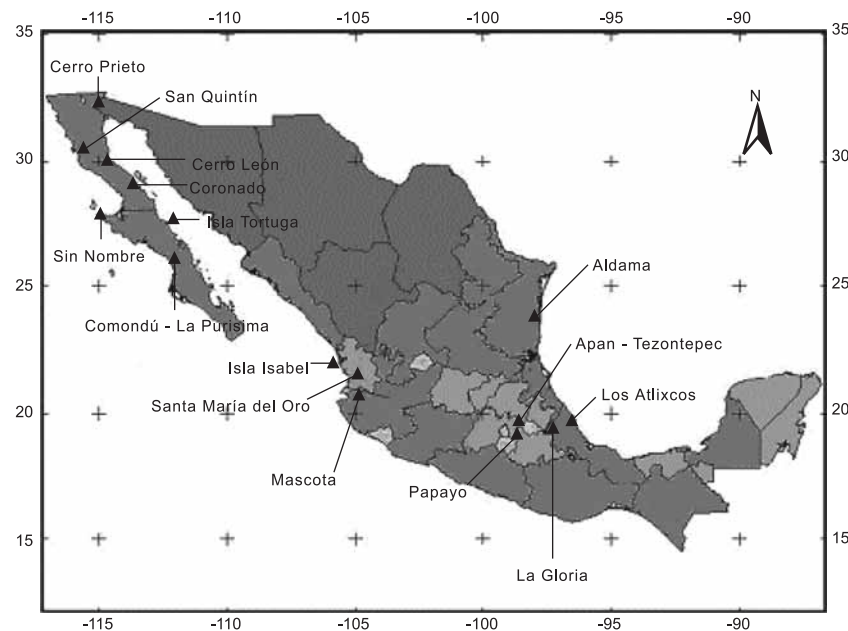


Figura 4.5 Volcanes listados como de "información insuficiente". La probabilidad de que un volcán de éste tipo se reactive de manera abrupta e inicie su actividad con erupciones intensas sin una evolución previa es virtualmente nula

Una última categoría se le ha clasificado como “**volcanes con información insuficiente**”. Aunque es muy improbable que los volcanes de ésta representen un nivel significativo de peligro, deben ser estudiados para contar con los elementos mínimos para su evaluación definitiva, la que sólo podrá realizarse cuando se cuente con los elementos geológicos que definan las probabilidades de erupción de estos volcanes.

4.2 IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO

4.2.1 Vulcanismo

Es necesario identificar los volcanes, tipo y periodicidad de las erupciones. Existen dos tipos de vulcanismo el monogenético y el poligenético:

Vulcanismo monogenético: es aquel en que la erupción ocurre durante una sola etapa, a través de una fisura o boca y construye un pequeño edificio en forma de maar, cono escoriáceo, domo o volcán escudo. Su duración varía de meses a aproximadamente 10 años y es predominantemente efusiva.

Vulcanismo poligenético: es aquel en el cual se forman edificios volcánicos por la acumulación de materiales emitidos por varias erupciones a lo largo del tiempo geológico. Se producen erupciones con un rango amplio de intensidades. Construye edificios tipo estratovolcán y grandes calderas.

Los volcanes pueden ser de diferentes tipos (figura 4.6), entre los que se encuentran las calderas, los conos cineríticos, maars, volcanes escudo, estratovolcanes y domos. Saber a qué tipo pertenece un volcán, proporciona mucha información acerca de la actividad que ha presentado en el pasado.

Caldera: Depresión circular o elíptica grande (1 a 100 km de diámetro), a veces reconocer su existencia a simple vista resulta difícil. Se forma cuando el magma se obtiene de un reservorio somero. En un año común, algún tipo de actividad se presenta en cerca de 18 calderas en el mundo.

Cono Cinerítico: Es una montaña con laderas muy inclinadas, que se forma debido a la acumulación de partículas y lava mezclada con gases. Es el volcán más simple de todos. En general son monogenéticos. Alcanzan alturas entre 30 y 450 m. Sus magmas son de baja viscosidad. Uno de los conos cineríticos más recientes, es el volcán Parícutín, que construyó un cono con una altura de 424 m y produjo un flujo de lava que cubrió 25 km cuadrados.

Maar: Son conos con cráteres muy grandes de bajo relieve, que corta el nivel freático, por lo que forma un lago en el fondo llamado “mare”. Se forma por erupciones explosivas someras. Las explosiones son generalmente provocadas por el calentamiento del agua freática, cuando el magma invade estos niveles. También son conocidos como Axalapascos, que en Náhuatl significa “cuenco de tierra y arena con agua”.

Volcán Escudo: Es un volcán amplio con pendientes suaves (menos de 10°) construidas por erupciones de lava basáltica fluida. El nombre proviene del parecido con los escudos de los guerreros. Los volcanes más grandes del mundo son volcanes escudo.

Estratovolcán: Son volcanes con formas cónicas y pendientes pronunciadas, construidos por la erupción de flujos de lava viscosa, flujos piroclásticos y tefra. Se desarrollan, generalmente, en

periodos de cientos o miles de años. Estos volcanes pueden producir una variedad de tipos de magma, incluyendo basalto, andesita, dacita y riolita. Todos estos magmas, con excepción del basalto, generan erupciones explosivas. De los 1,511 volcanes que han hecho erupción en el mundo en los últimos 10,000 años, 699 son estratovolcanes.

Domos: Los domos están formados por masas de lava relativamente pequeñas. Esta lava es demasiado viscosa para fluir a grandes distancias, por lo que se apila sobre y alrededor de su centro emisor. Presentan pendientes fuertes que tienden a derrumbarse y formar flujos de bloques y cenizas. Ocurren típicamente en las cimas de algunos volcanes. Los domos son acompañados por actividad explosiva. Llegan a medir hasta 200 m de diámetro y 500 m de altura.

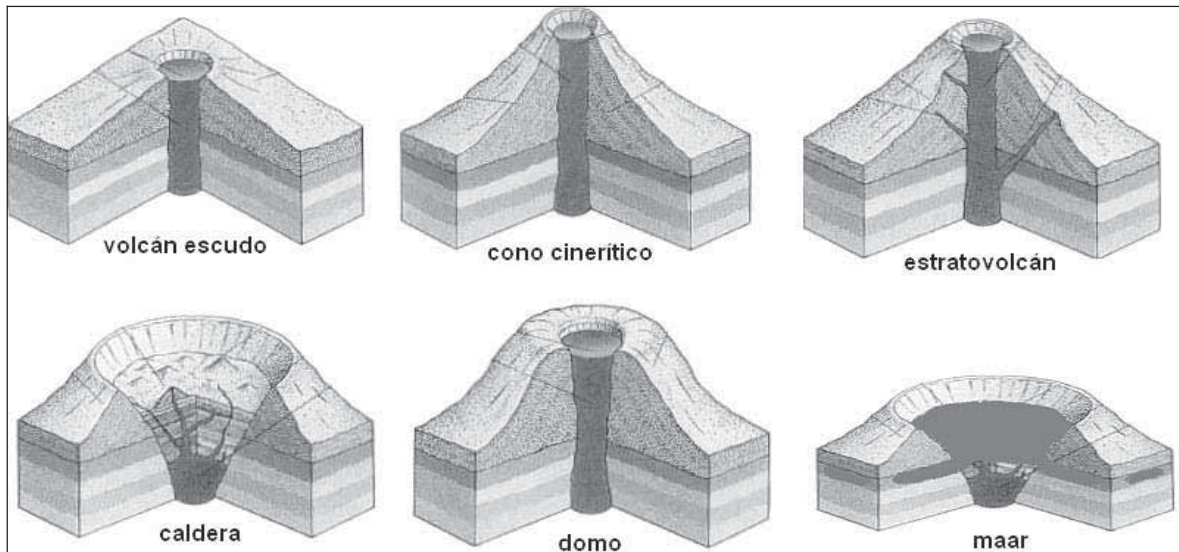


Figura 4.6 Tipos de volcanes

Los tipos de erupciones más conocidos son:

Erupción efusiva o Hawaiana: Es una erupción dominada por la salida continua de lava de baja viscosidad que puede formar flujos o ríos de lava. El gas se libera fácilmente. La extrusión puede durar minutos o días. Son típicas de volcanes escudo. La erupción histórica más larga, ocurrió en Islandia en 1783, y produjo 15 km³ de material en 8 meses.

Erupción Estromboliana: Las erupciones estrombolianas están caracterizadas por una intermitente explosión o fuente de lava basáltica de viscosidad mayor a la Hawaiana, proviene de un solo cráter o fisura. Cada episodio de ésta obedece a la liberación de gases volcánicos, lo que ocurre, típicamente, cada varios minutos, algunas veces en forma rítmica y otras en forma irregular. Origina columnas eruptivas de hasta 10,000 m de altura.

Erupción Vulcaniana: La erupción vulcaniana, es un tipo de erupción explosiva que lanza fragmentos de lava nueva que no toman una forma redondeada durante su viaje por el aire. Esto se debe a que la lava es muy viscosa o ya está solidificada. Producen columnas eruptivas de 10 a 20 km de altura, con velocidades iniciales de hasta 200 m/s.

Erupción Pliniana y Peleana: Las erupciones plinianas son grandes eventos explosivos que forman enormes columnas de tefra y gas que se elevan hasta la estratósfera (entre 20 y 45 km). Las emisiones son continuas y de magma viscoso. Algunas de estas erupciones han provocado que

cantidades de aerosoles (pequeñas gotas de líquidos) queden en la estratósfera, provocando que la temperatura en la superficie de la Tierra, baje un poco. Por ejemplo la erupción del Chichón en 1982.

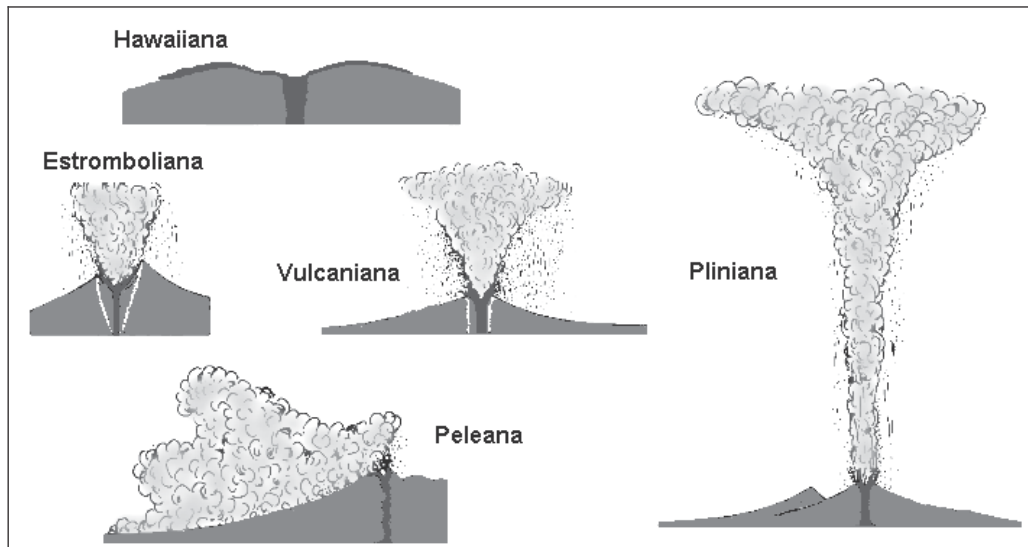


Figura 4.7 Tipos de erupciones

En la tabla 4.1 se mencionan los tipos de erupciones, el tipo de volcán que las presenta y algunas otras características y ejemplos de volcanes que lo han presentado

Tabla 4.1 Tipos de erupciones y naturaleza de la actividad volcánica

Tipo de erupción	Ejemplos	Magma	Actividad efusiva	Explosividad	Tipo de volcanes
Hawaiana	Mauna Loa	Caliente (más de 1200°C) baja viscosidad	Lavas extensas a partir de fisuras	Baja	Volcanes escudo, planicies lávicas y erupciones fisurales
Estromboliana	Stromboli y Parícutín	Intermedio, mixto, viscosidad moderada	Lavas escasas, poco extensas	Variable	Conos de lavas y cenizas abruptos
Vulcaniana	Vesubio	Frío (menos de 900°C), viscoso	Lavas escasas, piroclastos abundantes	Moderada a violenta	Estratovolcanes y calderas
Pliniana Y Peleana	Pinatubo y St. Helen	Frío (menos de 900°C), muy viscoso	Piroclastos y domos	Muy violenta	Estratovolcanes y calderas

Actualmente, una de las formas más aceptadas de cuantificar las erupciones explosivas (forma que no es válida para las erupciones efusivas) es la escala del *Índice de Explosividad Volcánica* (VEI, por sus siglas en inglés). Esta escala fue definida por Newhall y Self en 1982, y es una escala compuesta en la que se toman en cuenta diversas características de una erupción como son: el volumen de magma emitido, la energía térmica liberada, el alcance de los productos fragmentados, el grado de destrucción causada, la altura de la columna eruptiva, la duración de la erupción, etc. La tabla 4.2 muestra la escala VEI en términos de algunos de los parámetros eruptivos relevantes.

Tabla 4.2 Índice de Explosividad Volcánica (VEI, por sus siglas en inglés)

VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Descripción	No explosiva	Pequeña	Moderada	Moderada a grande	Grande	Muy grande	--	--	--
Volumen emitido (m ³)	< 10,000	10,000 – 1,000,000	Uno a diez millones	Diez a cien millones	Cien a mil millones	Uno a diez km ³	Diez a cien km ³	Cien a mil km ³	Más de 1000 km ³
Altura de la columna (km)	0,1	0,1 – 1	1 - 5	3 - 15	10 - 25	Más de 25	--	--	--
Duración en horas	-1	-1	1 - 6	1 - 6	1 - 12	6 - 12	Más de 12	--	--
Inyección a la troposfera	Mínima	Leve	Moderada	Sustancial	Grande	--	--	--	--
Inyección a la estratosfera	Nula	Nula	Nula	Posible	Definida	Significativa	Grande	--	--

Adaptado de: Newhall y Self (1982).

4.2.2 Identificación de un volcán activo

Si se tiene la seguridad de la cercanía de un volcán al lugar donde vivimos, es importante saber si es activo o no. Un volcán activo presentará varios fenómenos que son fáciles de reconocer.

Fumarolas: Un fenómeno muy común en volcanes activos es la presencia de fumarolas. Las fumarolas son las salidas de vapor de agua, y otros gases, a temperaturas muy altas, alrededor de 100 °C, a través de grietas que se encuentran sobre el volcán y en ocasiones a sus alrededores.

Azufre: La presencia de azufre puede ser algo común en volcanes activos. El azufre es un mineral de color amarillo, de textura suave y olor fétido. El azufre siempre se acumula en el cráter del volcán y en las zonas de fumarolas, en forma de roca o como parte de otras rocas.

Sismos: Los sismos aunque de baja magnitud, son otro fenómeno que se presenta en volcanes activos. México es un país en el que ocurren muchos sismos, sin embargo muy pocos son de origen volcánico.

Deslaves o desgajamientos: Otro fenómeno que puede presentarse en un volcán activo son los deslaves o desgajamientos de tierra. Los derrumbes en ocasiones son provocados por la actividad interna sobre terrenos muy empinados, pero también pueden presentarse sin actividad volcánica, a causa de lluvias intensas que reblandezcan la tierra. La tala excesiva en zonas volcánicas también puede producir desgajamientos de tierra sin que esto sea producto de la actividad volcánica.

Aunque todos estos fenómenos son comunes en volcanes activos, la presencia de uno solo de estos no necesariamente significa que un volcán está activo, pero la combinación de ellos si pueden significar algo acerca del estado del volcán.

4.2.3 Peligros volcánicos

Muchos de los procesos geológicos que tienen su origen en los volcanes son potencialmente peligrosos (figura 4.8).

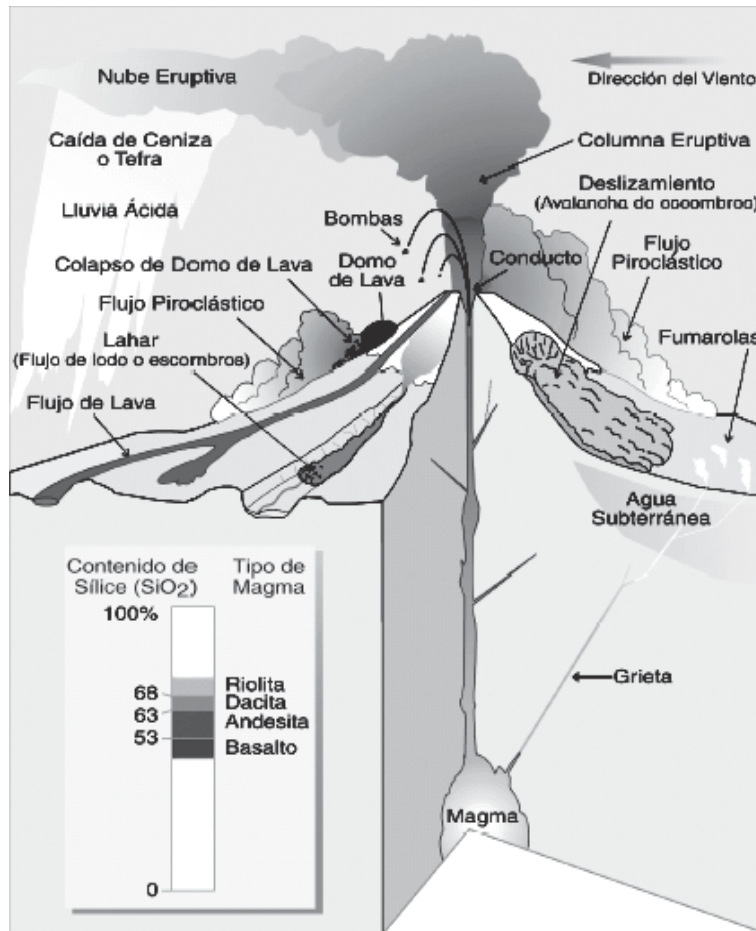


Figura. 4.8 Los peligros volcánicos. Este dibujo simplificado muestra un volcán del tipo al que pertenecen la mayoría de los volcanes más grandes y peligrosos del mundo. (Tomado del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Reduciendo el riesgo de los peligros volcánicos)

4.2.3.1 Cenizas volcánicas y efectos

Las cenizas volcánicas son lava que ha sido molida y convertida en polvo o arena por erupciones volcánicas. Durante una explosión, los fragmentos más gruesos caen rápidamente en las cercanías del volcán, sólo la ceniza más fina es arrastrada por el viento a grandes distancias que van de cientos hasta miles de kilómetros, y puede afectar áreas muy extensas y a un gran número de personas.

La caída de cenizas puede provocar alguno de los siguientes efectos: el agravamiento de enfermedades pulmonares, trastornos gastrointestinales por la ingestión de agua y alimentos contaminados con flúor y posiblemente con metales pesados (arsénico, mercurio, etc.); daños oculares como conjuntivitis y abrasiones en la córnea.

Las cenizas obstruyen las corrientes de agua, presas, alcantarillas, plantas de aguas residuales y todo tipo de maquinaria. Las cenizas se amontonan en carreteras, vías férreas y senderos y además puede ser resbalosa.

Capas de cenizas de 2 a 3 cm de espesor pueden causar el colapso de techos con pendientes menores a 20° , así como en estructuras de mala calidad. Las cenizas secas tienen un peso de $400\text{--}700\text{ kg/m}^3$, la lluvia puede incrementarlo de un 50 a un 100%. Una capa de cenizas de 10 cm de espesor representará una carga extra de $40\text{--}70\text{ kg/m}^2$ si está seca, y de $100\text{--}125\text{ kg/m}^2$ si está húmeda.

Una densa caída de cenizas altera el suministro de energía. La repentina demanda multitudinaria de luz puede hacer que el servicio eléctrico se agote o falle. Los equipos electrónicos pueden sufrir importantes daños, cortocircuitos e interferencias de radio y televisión.

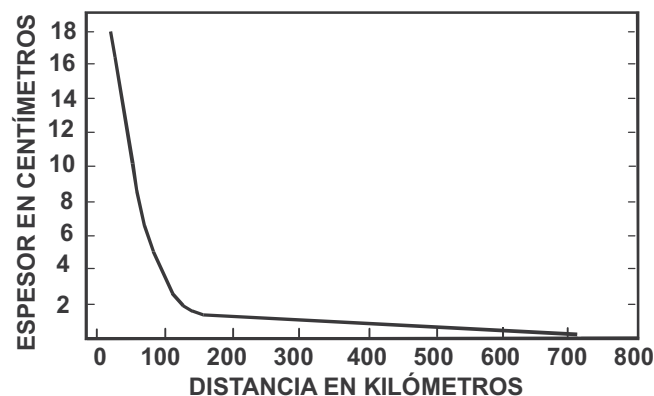


Figura 4.9 *Distribución de espesores de cenizas alcanzados en erupciones recientes de tipo pliniano*

Los efectos sobre la agricultura dependen del tipo de cultivo, de su grado de desarrollo y evidentemente del espesor de la capa de cenizas caída. Sin embargo en climas cálidos la vegetación se recupera en muy poco tiempo. Pueden ocasionar accidentes de automóviles (debido a que las carreteras se tornan resbaladizas y disminuye la visibilidad). Finalmente, las cenizas lanzadas en una erupción afecta el tráfico aéreo, ya que al atravesar las nubes de vapor y cenizas, los motores de los aviones pueden pararse.

De las mediciones de la acumulación de cenizas producidas por erupciones recientes de tipo pliniano, se han obtenido en promedio los siguientes espesores: hasta una decena de metros en la zona cercana al cráter (menos de 12 km), de 20 a 50 cm a distancias de entre 12 y 35 km y de 5 a 10 cm hasta distancias de 85 km (figura 4.9). Para la determinación del impacto de las cenizas en una región determinada, se requiere información adicional de patrones de viento locales.

4.2.3.2 Flujos piroclásticos

Los flujos piroclásticos son uno de los fenómenos más destructivos que se pueden presentar en un volcán en actividad. Los flujos piroclásticos son mezclas calientes de gases, cenizas y fragmentos de roca, que descienden por los flancos del volcán a velocidades de hasta más de 100 km por hora, con temperaturas por lo general arriba de 100 °C. La parte inferior y más densa del flujo se arrastra por el fondo de las barrancas y los valles, mientras que la parte superior, menos densa, puede sobrepasar los valles y alcanzar alturas importantes sobre el fondo de los valles e inclusive sobrepasar relieves topográficos importantes.

Durante la generación de un flujo piroclástico, es prácticamente imposible que cualquier cosa que se encuentre a su paso se salve ya sean construcciones o seres vivos. El flujo es capaz de arrasar con construcciones bien edificadas y hasta con bosques enteros, sin dejar nada de pie, y puede llegar a viajar distancias que van del orden de metros a centenas de metros.

4.2.3.3 Lahar o flujos de lodo

Los lahares comprenden una mezcla de materiales volcánicos (rocas, cenizas, pómez, escoria), mayoritariamente cenizas, movilizadas por el agua proveniente de la fusión del casquete glaciar, de un lago cratérico o por fuertes lluvias. El agua se mezcla con el material volcánico suelto que se encuentra en su camino y se transforma rápidamente en un flujo muy móvil con características similares al concreto utilizado en la industria de la construcción.

Dada la densidad de esta mezcla, estos flujos pueden transportar grandes bloques de roca (de hasta varios metros de diámetro) y otros objetos como puentes, casas, árboles y vehículos. Son fenómenos muy destructivos, que pueden recorrer distancias muy grandes, pudiendo superar fácilmente los 100 km, se han observado velocidades de 40 a 100 km/h en lahares históricos. El principal peligro para la vida humana es el enterramiento o el impacto de bloques y otros escombros. Las edificaciones y otros bienes que estén en el camino del flujo son destrozados, enterrados o arrasados. Se debe evacuar, aunque en ocasiones basta subir unos cuantos metros para estar a salvo.

4.2.3.4 Ondas de presión o de choque

Se originan durante las erupciones explosivas debido al rápido movimiento del material, su energía disminuye con la distancia desde su centro de emisión, pero pueden llegar a tener la energía suficiente para causar daños a estructuras distantes. Erupciones moderadas pueden producir pequeños daños a distancias mayores de 10 km del volcán, especialmente rotura de cristales y heridas al proyectarse éstos. En la erupción del Volcán Tambora en Indonesia, en 1815, se reportó una onda de choque que produjo la ruptura de vidrios de ventanales ubicados a 400 km de distancia.

4.2.3.5 Derrumbe del edificio volcánico y avalanchas de escombros

Las avalanchas de escombros son grandes deslizamientos que pueden ocurrir en un volcán, producidos por la inestabilidad de los flancos del mismo. Este tipo de fenómeno puede producirse por una intrusión de magma en el edificio volcánico, por un sismo de gran magnitud o por el debilitamiento de la estructura del volcán, produciéndose la destrucción parcial del mismo.

Las avalanchas de escombros son muy móviles. La mayor parte de los estratovolcanes han sufrido al menos un evento de este tipo durante su historia geológica. Las avalanchas pueden alcanzar grandes dimensiones que provocan la destrucción total de lo que encuentra a su paso. El

alcance es de pocas decenas de kilómetros, aunque en ocasiones, debido a la acción de la gravedad, el material puede llegar a recorrer distancias de hasta 100 km y cubrir varios cientos de kilómetros.

4.2.3.6 Flujos o coladas de lava y domos

Es la manifestación volcánica más conocida, y presentan poco peligro para las personas. Los flujos de lava son derrames de roca fundida, originados en un cráter o en fracturas de los flancos del volcán, que descienden por los flancos y las barrancas del mismo a bajas velocidades. La lava avanza a bajas velocidades, que disminuye conforme se va enfriando hasta solo unos pocos metros por hora o por día. Estos flujos generan daño parcial o la destrucción total a las construcciones, por enterramiento, trituración o incendio. Los domos de lava actúan en ocasiones como "tapones" que dificultan la liberación de gases desde el interior del volcán, dando lugar a explosiones que pueden producir flujos piroclásticos.

4.2.3.7 Sismos volcánicos

Los sismos volcánicos son de magnitudes pequeñas y raras veces ocurren en sitios alejados del volcán. Cuando un sismo es de origen volcánico, el movimiento de la tierra es rápido. Los daños producidos por ellos son insignificantes, pero es importante destacar que muchas zonas volcánicas también son zonas sísmicas. Los efectos dañinos de los sismos volcánicos generalmente se detectan en las áreas aledañas, cerca de 10 km del cráter. Sin embargo, éstos pueden tener como consecuencia eventos tales como avalanchas de escombros, o contribuir en eventos como el colapso estructural del volcán mismo.

4.2.3.8 Gases volcánicos

Los volcanes emiten gases durante las erupciones, incluso si el volcán no está en erupción, las grietas del subsuelo facilitan el movimiento de los gases hacia la superficie a través de pequeñas aberturas por medio de las llamadas fumarolas. En ocasiones, la liberación de los gases se produce en grandes cantidades. Más del 90% de todo el gas emitido por los volcanes es vapor de agua, la cual en su gran mayoría es agua subterránea proveniente de lluvias y ríos.

Otros gases volcánicos comunes son el bióxido de carbono (CO_2), bióxido de azufre (SO_2), y varios otros compuestos de cloro (Cl), flúor (F), monóxido de carbono (CO), y nitrógeno (N). El gas bióxido de azufre puede reaccionar con las gotas de agua de la atmósfera y producir lluvia ácida, lo cual ocasiona corrosión y daños a la vegetación. El bióxido de carbono es más pesado que el aire, por lo que puede asentarse o mantenerse en áreas bajas en concentraciones letales para la gente y los animales.

4.2.3.9 Tsunamis

La mayoría de los tsunamis se originan por terremotos en el fondo del mar; sin embargo, decenas de tsunamis históricos de origen volcánico han causado numerosas muertes y grandes daños a las propiedades a lo largo de las playas marinas y lacustres, aún a grandes distancias de las erupciones. Algunos volcanes en el mundo han producido olas de hasta 35 metros de altura, causando grandes pérdidas materiales y humanas (Volcán Krakatoa, Indonesia, 1883). Se conocen algunos mecanismos que pueden producir dichos tsunamis volcánicos como son los sismos volcánicos, explosiones, colapsos o hundimientos, deslizamientos, lahares o flujos piroclásticos que entran en contactos con aguas y ondas de choque atmosféricas que se acoplan al mar.

4.3 DIAGNÓSTICO DE PELIGROS VOLCÁNICOS

Los resultados de una evaluación inicial de los peligros volcánicos conducen a identificar si un volcán en el área de estudio representa una amenaza, a corto o a largo plazo.

Los datos esenciales necesarios para una evaluación adecuada de los peligros volcánicos deben incluir lo siguiente:

- a) Registros completos de las erupciones históricas.
- b) Actividad eruptiva deducida a partir del registro geológico
- c) Datos geológicos (especialmente estratigráficos), petrológicos y geoquímicos sobre la naturaleza, distribución y volumen de los productos eruptivos.
- d) Fechación de los productos volcánicos y de los eventos interpretados a partir de los mismos.

En conjunto todos estos datos permiten la reconstrucción del comportamiento eruptivo del volcán en el pasado, lo cual provee la base para evaluar los peligros potenciales de futuras erupciones. Al establecer un registro estratigráfico está implícita la clasificación del tipo de volcán en términos de la morfología y características eruptivas.

También está implícita la necesidad de determinar los tipos de roca de los depósitos volcánicos, pues ambos son indicadores de la propensión a explosiones violentas. Una vez que se determina la secuencia estratigráfica, los depósitos son clasificados en cuanto a tipo de peligro (tefra, flujo piroclástico, flujo de lava, etc.) y fechados.

Las evaluaciones de los peligros volcánicos generalmente toman como premisa el asumir que en general las mismas áreas en los alrededores del volcán serían afectadas por eventos similares eruptivos en el futuro a una tasa promedio igual que en el pasado.

Mientras más largo sea el periodo de tiempo que abarca la base de datos utilizada para reconstruir el comportamiento eruptivo pasado, más útil y confiable será la evaluación resultante de los peligros volcánicos.

Los datos sobre vientos (dirección predominante y velocidad) son relevantes en la evaluación de peligros de caída de tefra. La topografía y los estudios interpretativos de suelos son importantes para la evaluación de tefra, flujo piroclástico y peligros de lahares. La ubicación de reservorios y otras fuentes principales de agua que pueden causar inundaciones o contribuir al movimiento de los lahares, son datos de importancia especial para la mitigación de los peligros volcánicos.

En esta fase del estudio se requiere un diagnóstico del potencial de desarrollo de la región. Los resultados de una evaluación inicial de los peligros volcánicos conducirán a las diferentes necesidades de información si un volcán en el área de estudio es identificado como una amenaza inminente, a corto o a largo plazo.

Durante la parte preliminar de un estudio de peligros volcánicos, se hace una revisión inicial de la información disponible, se puede utilizar la información del Smithsonian Institution, Global Volcanism Program. En este momento, la mayoría de los puntos claves de la tabla 4.3 pueden ser contestados con un aceptable grado de confianza, llevando a cabo una evaluación inicial de los peligros volcánicos. No se requiere de ningún experto especializado para esta tarea.

Tabla 4.3 Puntos clave que se deben considerar en la evaluación de la peligrosidad de un volcán

Puntos claves
• Ubicación geográfica • Observar si existen montañas o cerros en las cercanías (<100 km) de la zona de interés • Determinar si alguno de ellos es un volcán • Reconstrucción del comportamiento eruptivo pasado: • Registros de erupciones históricas • Periodicidad y tipo de erupciones • Datos geológicos de naturaleza, distribución y volumen de los productos eruptivos • Tipo y características del volcán • Determinar si es activo o peligroso • Investigar si ya existe algún mapa de peligros para ese volcán • Identificar las amenazas volcánicas de la zona de estudio y los sitios donde se han manifestado (con base en la reconstrucción del pasado eruptivo) • Determinar si las erupciones volcánicas son una preocupación en el área de interés • Determinar cuán inminente es una erupción

Fuentes de información para el nombre del volcán, ubicación, tasa de erupción, fecha de última erupción, efectos y peligros volcánicos: Smithsonian Institution. Global Volcanism Network (Washington D.C.: Smithsonian Institution) y Simkin, T., and Siebert, L., 1994, Volcanoes of the World.

4.3.1 Mapas de peligros volcánicos

Los mapas de peligros volcánicos, representan cartográficamente la extensión o área probable que puede ser afectada por todos los productos que un volcán es capaz de generar durante una erupción, y que son capaces de producir daños en su entorno.

Los estudios primordiales para su elaboración son: (1) levantamiento geológico del volcán y área volcánica, (2) caracterización geoquímica de los productos (lavas, tefras, etc.), (3) cronoestratigrafía detallada de los depósitos, características y distribución, (4) características y distribución de lava y depósitos laháricos, (5) establecer la evolución y comportamiento eruptivo y (6) conocer las características de las erupciones históricas, si las hay.

Los mapas de peligro son dinámicos y tienen vigencia, generalmente, hasta que se presenta una nueva erupción. Debido a que las transformaciones que ocurren durante y después de una erupción cambiarán el relieve y habrá nuevas condiciones que harán necesario modificar el mapa. Cuando las erupciones son pequeñas, las transformaciones son pequeñas, y en consecuencia el mapa mantendrá su vigencia.

Un mapa de peligros representa las áreas que pueden ser afectadas por diferentes procesos volcánicos, mediante una zonificación basada en datos geológicos, cronológicos y morfoestructurales. De esta forma, las áreas de mayor peligro de ser afectadas por lahares, flujos piroclásticos, etc., serán nuevamente afectadas por estos procesos en una futura erupción. Sin embargo, no puede descartarse la posibilidad de que ocurran erupciones de gran magnitud que superen la zonificación del mapa. No obstante, se considera poco probable esta situación en un plazo corto a mediano.

Los mapas de peligros deben también distinguir entre los riesgos primarios, como los flujos piroclásticos, o las lluvias de fragmentos, describiendo sus velocidades, alcances y efectos sobre el hombre y el medio, y los riesgos secundarios, incluyendo todos aquellos efectos que pueden presentarse durante o después de la erupción, como flujos de lodo y otros impactos sobre el medio ambiente. Normalmente estos mapas se representan en escalas entre 1:50,000 y 1:250,000. Sin embargo, un mejor detalle puede obtenerse en escalas de 1:25,000 o de 1:10,000.

A la fecha sólo han sido publicados los mapas de peligros para el volcán Popocatepetl (Macías *et al*, 1995), el mapa más reciente publicado para el volcán de Colima (Navarro y Cortés. 2003) y del Pico de Orizaba (Sheridan *et al*, 2001). Otro mapa anterior del volcán de Colima (Martín del Pozzo, 1995) publicado en otra escala está disponible en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Asimismo, está en desarrollo un mapa de peligros para el volcán Tacaná (Macías *et al*, en preparación). La figura 4.10 es un ejemplo de mapa de peligros volcánicos del Pico de Orizaba.



Figura 4.10 Mapa de Peligros del volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba). (Elaborado por: Sheridan *et al*, UNAM)

En resumen, un mapa de peligros representa una situación presente, una realidad natural frente a las amenazas volcánicas, con las diversas zonas y grados de peligros, en un territorio en torno al volcán. Es primordial la utilización de un mapa de peligros para reducir el impacto de los procesos volcánicos en una zona amenazada por un volcán peligroso o activo, a través de planes de emergencia, planificación de uso del terreno, etc., con la finalidad de mitigar el riesgo.

4.3.2 Criterios de evaluación de la vulnerabilidad

Para lograr una evaluación completa, es necesario determinar la vulnerabilidad de los distintos elementos de la sociedad como son personas, bienes, medios de producción, obras de infraestructura, etc., con respecto a cada una de las manifestaciones volcánicas.

El “**peligro**” es la probabilidad de que alguna manifestación volcánica específica y potencialmente dañina, como por ejemplo los flujos piroclásticos o la lluvia de cenizas, pueda presentarse en un área o región particular en el entorno de un volcán, en un intervalo de tiempo determinado.

La “**vulnerabilidad**” es el grado o por ciento de pérdida o daño que puede sufrir una población, infraestructura o en la productividad, por efecto de alguna de las manifestaciones volcánicas.

Si el peligro o probabilidad de ocurrencia, y la vulnerabilidad se expresan como fracciones entre 0 y 1, el riesgo se puede cuantificar como una cantidad entre 0 y 1 que representa la proporción o probabilidad de que ocurra un daño o pérdida de vidas, bienes, o productividad en una zona volcánica por efecto de una manifestación eruptiva.

En el análisis del riesgo volcánico, es muy importante distinguir claramente la diferencia entre el fenómeno volcánico (erupciones) y su impacto (el efecto que pueden llegar a tener sobre el entorno del volcán), que si es grande puede transformarse en un desastre. Por lo que si bien no es posible evitar la ocurrencia de erupciones, sí es posible evitar que se transformen en desastres.

La naturaleza de las manifestaciones volcánicas como son flujos piroclásticos, flujos de lodo o lahares, flujos de lava, y avalanchas de escombros producidas por derrumbes y deslizamientos hacen muy difícil definir funciones de vulnerabilidad que permitan establecer el por ciento o proporción de pérdida de algún elemento de la estructura social ante esos fenómenos.

Tabla 4.4 Resumen de las propiedades físicas estimadas de algunos peligros volcánicos

Peligros	Distancias hasta las cuales se han experimentado efectos		Área afectada		Velocidad		Temperatura (°C)
	Promedio (km)	Máximo (km)	Promedio (km ²)	Máximo (km ²)	Promedio (m/s)	Máximo (m/s)	
Caída de cenizas (tefra)	20-30	>800	100	>100,000	15	30	Usualmente la del medio ambiente
Proyectiles balísticos	2	15	10	80	50-100	100	1000
Flujos piroclásticos y derrumbes o avalanchas	10	100	5-20	10,000	20-30	100	600-800
Lahares	10	300	5-20	200-300	3-10	>30	100
Flujos de lava	3-4	>100	2	>1,000	5	30	700-1150
Lluvia ácida y gases	20-30	>2,000	100	20,000	15	30	Medio ambiente
Ondas de choque	10-15	>800	1,000	>100,000	300	500	Medio ambiente
Rayos	10	>100	300	3,000	12x10 ⁵	12x10 ⁵	Por encima del punto de incandescencia

Fuente: Modificado de Blong, R.H. Volcanic Hazards (Sydney, Australia: Macquarie University Academic Press, 1984)

La experiencia de numerosas erupciones sugiere asignar una vulnerabilidad del 100% a cualquier elemento de la sociedad ante cualquiera de las manifestaciones directas. Esto quiere decir, que ante estas manifestaciones puede esperarse una pérdida total de estructuras para habitación o usos laborales, obras de infraestructura, bosques y tierras laborables (por lo menos temporalmente).

Tabla 4.5 Periodos de alerta de los peligros volcánicos y capacidad para causar daño

Peligros	Periodo de alerta	Capacidad para causar daño severo	Probabilidad de lesiones severas o muerte
Caída de tefra	Minutos a horas	Menor-moderado	Bajo-moderado
Proyectiles balísticos	Segundos	Extremo	Muy alto
Flujos piroclásticos y derrumbes o avalancha	Segundos	Extremo	Extremo
Lahares	Minutos a horas	Muy alto	Muy alto
Flujos de lava	Usualmente horas o días	Extremo	Muy alto
Lluvia ácida y gases	Minutos a horas	Muy bajo	Usualmente muy bajo
Ondas de choque	Segundos a minutos	Menor	Muy bajo
Rayos	Instantáneo	Moderado	Muy alto

Fuente: Modificado de Blong, R.H. Volcanic Hazards (Sydney, Australia: Macquarie University Academic Press, 1984).

La vida humana y de animales también es amenazada en forma total por las manifestaciones volcánicas, con la posible excepción de los flujos de lava, ya que por la lentitud de su avance, es por lo general posible escapar de ellos.

Tabla 4.6 Probables efectos de los peligros volcánicos

Peligro	Efecto
Proyección de bombas y escorias. Cenizas	Daños por impacto. Incendios.
Caída de piroclastos. Cenizas	Recubrimiento por cenizas. Colapso de estructuras. Daños a la agricultura.
Lava y Domos	Daños a estructuras. Incendios. Recubrimiento por lava.
Coladas y oleadas piroclásticas. Flujos piroclásticos	Daños a estructuras. Incendios. Recubrimiento por cenizas.
Lahares	Daños a estructuras. Arrastres de materiales. Recubrimiento por barro.
Colapso total o parcial del edificio volcánico	Daños a estructuras. Recubrimiento por derrumbes. Avalanchas. Tsunami inducido.
Deslizamiento de laderas	Arrastre de materiales. Recubrimientos por derrumbes. Daños a estructuras.
Gases volcánicos	Envenenamiento. Contaminación de aire y agua.
Onda de choque	Rotura de cristales y paneles
Temblores volcánicos	Colapso del edificio volcánico. Deslizamiento de masas.
Deformación del terreno	Fallas. Daños a estructuras
Variaciones en el sistema geotérmico de acuíferos	Cambios en la temperatura y calidad del agua

Por lo tanto, ante las manifestaciones volcánicas, pueden esperarse pérdidas casi totales de bienes, y la única forma de proteger la vida humana es por medio de evacuaciones preventivas. Poblaciones e instalaciones estratégicas pueden ser protegidas por medio de diques y otras estructuras especialmente diseñadas para controlar el curso de los flujos de lodo y reducir su energía.

Las tablas 4.4 a 4.8 muestran las características de las manifestaciones volcánicas que determinan la vulnerabilidad ante ellas, sus velocidades y sus alcances, los tiempos característicos en que se desarrollan, etc.

Tabla 4.7 Víctimas de erupciones volcánicas de 1783 a 1997

Evento	No. de víctimas	Porcentaje
Flujos Piroclásticos	59,200	26.9%
Avalanchas de escombros	9,962	4.5%
Cenizas y Proyectiles	9,206	4.1%
Flujos de lava	618	0.3%
Lahar (lodo volcánico)	37,993	17.1%
Tsunami volcánico	37,420	16.9%
Hambruna y Epidemias	67,144	30.3%
Otros	64	0.03%
Total	221,907	100.03%

Tabla 4.8 Tipos de erupciones volcánicas y sus efectos

Erupciones efusivas				
Manifestación	Peligro asociado	Velocidad	Alcance	Efecto más frecuente
Lava líquida	Flujos de lava	Baja	Corto	Destrucción del terreno
Cenizas	Lluvia de cenizas	Media	Intermedio	Acumulación de ceniza
Erupciones explosivas				
Fragmentos de todos tamaños	Flujos piroclásticos	Muy alta	Corto a intermedio	Devastación
Cenizas	Lluvia de cenizas	Media	Largo a muy largo	Acumulación de cenizas, bloqueo de drenajes
Lodo (agua y fragmentos)	Flujo de lodo (lahar)	Media a alta	Intermedio a largo	Devastación
Derrumbe o deslizamiento	Avalancha de escombros	Alta a muy alta	Intermedio a largo	Devastación

4.3.2.1 Vulnerabilidad por cenizas

Un trato aparte requiere la caída de cenizas ya que puede afectar grandes extensiones, aun en sitios donde puede no existir conciencia de la actividad de un volcán en erupción; ya que sus efectos dependen de otros factores independientes como son dirección e intensidad del viento a diferentes altitudes, además de los parámetros de la erupción misma, como son altura de la columna eruptiva, tasa de emisión de magma y duración de la erupción.

El impacto de las cenizas en la gente, las estructuras y el equipo depende en gran parte del espesor de la capa de cenizas. Para simplificar el gravamen del peligro y permitir la definición del riesgo dentro de ciertas áreas, pueden ser utilizadas cinco zonas de impacto (tabla 4.9). Éstas son áreas que reciben menos de 1mm de cenizas, de 1 a 5 mm, de 5 a 100 mm, de 100 a 300 mm y más de 300 mm.

Las restricciones sobre uso de tierras deben de ser instituidas para aquellas áreas que tienen amenaza potencial de fenómenos volcánicos. En las áreas donde las cenizas volcánicas pueden resultar un peligro, los códigos de construcción deben estipular las medidas adecuadas para los techos de las edificaciones. En muchos casos sólo los lahares ameritarían las medidas de mitigación. Las áreas en los valles en el curso de lahares potenciales pueden ser demarcadas y se pueden instituir restricciones para uso de las tierras, o medidas protectivas en concordancia con una racionalidad económica.

Tabla 4.9 Resumen de las propiedades físicas estimadas de algunos peligros volcánicos

Impactos por caída de cenizas	
Espesor	Efecto
Menos de 1 mm	Actuará como irritante a los pulmones y a los ojos. Los aeropuertos tendrán que cerrar debido al daño potencial al avión. Posibles daños de menor importancia a vehículos, casas y equipo, causado por las cenizas abrasivas finas. Posible contaminación de abastecimientos de agua. El polvo afecta la visibilidad y la tracción del camino por un periodo largo.
1-5 milímetros	<i>Los efectos que ocurren con < 1 milímetro de cenizas se amplificarán:</i> Daños posibles en cosechas. Parte del ganado puede resultar afectado. El alimento y agua contaminados pueden desgastar sus dientes, se puede evitar si tienen alimento y agua limpios. Daños de menor importancia a las casas si las cenizas finas entran, manchando los interiores, bloqueando los filtros del aire acondicionado, etc. Posibles cortes de energía eléctrica; las cenizas pueden provocar cortocircuitos en las subestaciones sobre todo si se moja. Los sistemas de baja tensión son más vulnerables que los de alta. El abastecimiento de agua se puede interrumpir o limitar debido a la falta de electricidad. Puede ocurrir contaminación de los abastecimientos de agua. Los caminos pueden necesitar ser despejados para reducir el polvo y para evitar el bloqueo de los sistemas de precipitación. Los sistemas de aguas residuales se pueden bloquear por las cenizas, o interrumpir por la pérdida de fuentes eléctricas. Algunos daños al equipo eléctrico y a maquinaria.
5-100 milímetros	<i>Los efectos que ocurren con < 5 milímetros de cenizas se amplificarán:</i> Entierro de pasto y plantas bajas. El follaje de algunos árboles se puede caer pero la mayoría de los árboles sobrevivirán. La mayoría de los pastos morirán con cerca de 50 milímetros de cenizas. Serán necesarias operaciones importantes de retiro de cenizas en áreas urbanas. La mayoría de los edificios de mampostería soportarán la carga de cenizas pero estructuras con azoteas débiles pueden derrumbarse con 100 milímetros de espesor, particularmente si las cenizas se mojan. Los caminos pueden ser bloqueados debido a la acumulación de cenizas. Los coches pueden tener problemas debido a las cenizas en los filtros de aire.
100-300 milímetros	<i>Los efectos que ocurren con < 100 milímetros de cenizas se amplificarán:</i> Correrán el riesgo de derrumbarse los techos de los edificios que no sean limpiados de las cenizas acumuladas, especialmente estructuras con techos planos, sobretodo si las cenizas llegan a mojarse. Daños severos a árboles, se caerán y romperán ramas.
Más de 300 milímetros	<i>Los efectos que ocurren con < 300 milímetros se amplificarán:</i> Muerte masiva de la vegetación. Entierro total del horizonte del suelo. Ganado y otros animales mueren o son heridos gravemente. Muerte de la vida acuática en lagos y ríos. Derrumbamiento de la mayoría de las azoteas debido a la carga de las cenizas. Corte de la energía eléctrica y de las líneas telefónicas. Caminos completamente cerrados.

La tabla 4.10 muestra un resumen de la vulnerabilidad de diferentes cultivos ante depósitos producidos por lluvia de cenizas.

Tabla 4.10 Vulnerabilidad por caída de cenizas volcánicas. Efectos sobre la agricultura

Espesor de cenizas (mm)	Cultivos
>2000	Toda la vegetación queda destruida.
1500	La mayor parte de la vegetación muere.
1000	Ciertos cultivos pueden ser parcialmente recuperables.
200	Arrozales destruidos.
150	Cafetales destruidos.
100	Palmas y ramas rotas por el peso de las cenizas.
50	Plataneras destruidas.
40	50% de pérdidas en legumbres, 15-30% en trigo, verduras, cebada, heno, etc.
30	Daños en cerezas y otros. Los frutos pueden quedar dañados por la capa de cenizas.
25	Daños en cañas de azúcar, papas, etc.
20	Daños considerables en naranjas, mandarinas, moras y otros frutos y verduras.
15	Pérdidas de alfalfa, de pastos.
10	Daños en manzanas, algodón, plátanos, tabaco y verduras. De 20-40% de la cosecha se daña.
<10	Menores daños en pasto, trigo y maíz.

Basado en Ortiz, 1995.

4.3.3 Riesgo volcánico

El riesgo volcánico involucra al peligro volcánico tal como se describió anteriormente, más la distribución y vulnerabilidad de la población y de la infraestructura de producción, y comunicaciones alrededor del volcán. Esta información también puede representarse en un mapa convencional, pero considerando el gran número de datos que comprende y su variabilidad en el tiempo, es más conveniente procesarla y representarla por medio de un sistema de información geográfica.

Con la información de los mapas de peligro volcánico, la base de datos topográficos a una escala adecuada y los datos de la distribución de la población, es posible elaborar una zonificación del riesgo representada en mapas detallados al nivel de municipios o poblaciones individuales, en los que puedan identificarse los sitios vulnerables a peligros específicos.

4.3.4 Metodología a seguir para determinar la peligrosidad volcánica en un área

El objetivo de esta guía es proporcionar los elementos que lleven, en forma metódica, a evaluar cada uno de los factores de peligro o amenaza en primer lugar, y de vulnerabilidad después, para lograr una adecuada percepción del riesgo. Esta percepción permitirá diseñar las medidas óptimas de preparación y prevención para enfrentar, reducir o evitar los riesgos volcánicos en México.

1. En un mapa de México, localizar el área o comunidad y definir si se encuentra dentro de alguna de las zonas volcánicas de México (Faja volcánica Mexicana, Península de Baja California y Chiapas), y/o cerca de un volcán considerado peligroso (figura 4.2).

2. Si la zona de interés se encuentra dentro de las zonas volcánicas de México. Ubicar la zona de estudio en un plano topográfico escala 1:500,000 o 1:250,000. Estos planos los elabora el INEGI.
3. En primer lugar se debe ubicar la posición geográfica de las comunidades cercanas respecto a uno o varios de los volcanes del capítulo 4.1.1 Trazar un círculo de un mínimo de 35 km a un máximo de 100 km de diámetro, tomando como centro el área de interés, e identificar los volcanes dentro del círculo (figura 4.11). La distancia de 35 a 100 km es arbitraria, basada en la distancia desde un volcán dentro de la cual los lahares, cenizas, flujos piroclásticos, etc. pueden ser peligrosos. El radio puede variar, según factores tales como diferencias en elevación entre el volcán y las áreas amenazadas, las pendientes, la morfología de los canales, y los vientos predominantes.

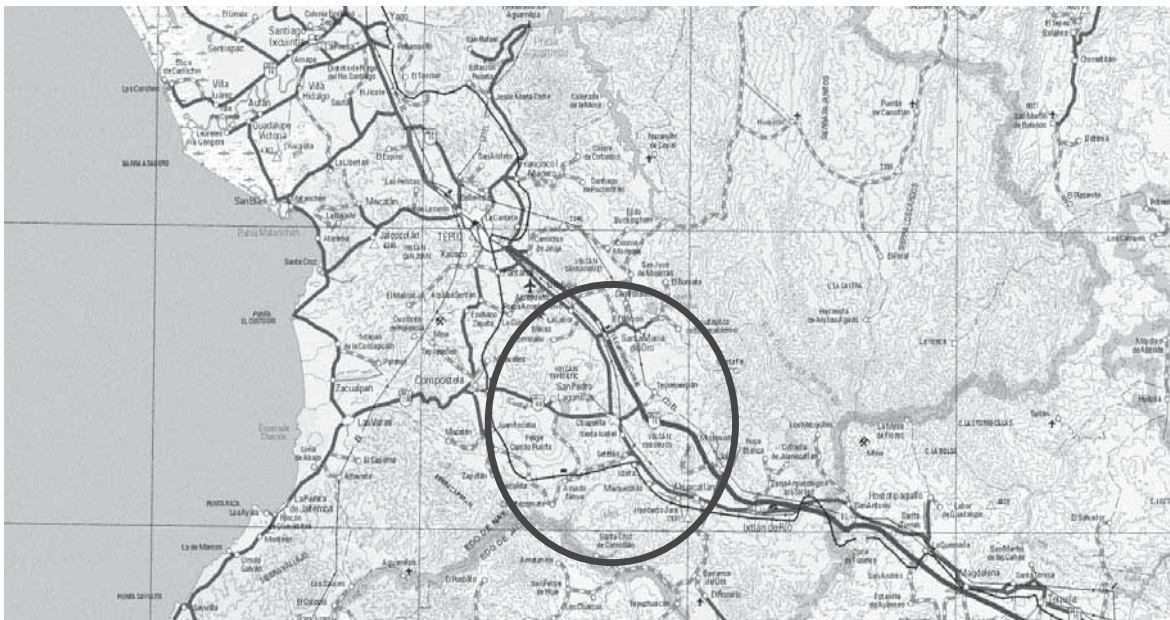


Figura 4.11 Mapa topográfico de Nayarit. La población Chapalilla encerrada en un círculo de 100 km, el volcán Ceboruco queda dentro del círculo

4. Si su comunidad se asienta a una distancia menor a 35 km de alguno de los volcanes o campos volcánicos listados en las categorías 1 a 3, señaladas en la sección 4.1.1, deben llevarse a cabo las medidas mínimas de evaluación y prevención entre los que se incluye la elaboración de un mapa de peligros. En el caso de las comunidades, bienes o centros de producción localizados en barrancas, depresiones o valles asociados con los sistemas de drenaje hidrológico de cualquiera de los volcanes en las categorías 1 a 3, la influencia de productos o manifestaciones peligrosas, como flujos de lodo, pueden extenderse a distancias considerablemente mayores. Debe tomarse en cuenta que los efectos derivados de las lluvias de cenizas pueden extenderse sobre distancias aun mayores que los lahares y flujos piroclásticos.
5. Si se trata de un volcán o campo volcánico de las categorías 4, 5 o “con información insuficiente”, se recomienda coordinarse con su unidad local o estatal de Protección Civil para que se solicite a una institución de investigación una evaluación de nivel del actividad y probabilidad (peligro) asociado al volcán en cuestión.

6. Consultar el CD “Volcanoes of México” del Smithsonian Institution, Global Volcanism Program, para obtener información geológica y eruptiva del volcán o volcanes del área de interés, o solicitar al CENAPRED la información contenida en el CD. En las figuras 4.2 a 4.5, se representan gráficamente los volcanes contenidos en el CD.
7. Si en el CD no existiera información del volcán, será necesario buscar bibliografía e información de todo tipo relacionada con el volcán, desde artículos científicos, hasta historias y crónicas locales. Buscar si ya ha sido elaborada la historia eruptiva del volcán (tabla 4.11), para lo cual se sugiere contar con el apoyo de algún especialista, como ingenieros, geólogos, geofísicos, historiadores, etc.

Tabla 4.11 Historia eruptiva simplificada del volcán Popocatepetl

Años	Tiempo transcurrido entre erupciones (en años)	Descripción de la actividad
24,000		Gran erupción tipo Sta. Elena, destruye edificio volcánico previo
14,000	9,000	Gran erupción Pliniana, lluvia de cenizas y pómez en la Cd. de México
14,000-5,000	9,000	Varias erupciones grandes, al menos 4
3,000a.C.	2,000	Erupción grande
200 a.C.	2,800	Erupción grande
800	1,000	Erupción grande
1354-1363	554	Erupción menor y fumarolas
1512-1530	149	Erupción moderada y fumarolas
1539-1549	9	Erupción moderada con cenizas y pómez
1571	22	Emisión de cenizas
1592	21	Fumarolas y emisión de cenizas
1642	50	Fumarolas y emisión de cenizas
1663-1665	11	Erupción moderada y emisión de cenizas
1697	32	Fumarolas
1720	23	Erupción leve y actividad fumarólica
1804	84	Fumarolas leves
1919-1927	115	Moderada. Emisión de cenizas y pómez
1994-?	67	Moderada?
Promedio	47 años	Tomando desde 1512 y quitando el dato mayor y menor

Fuente: De la Cruz-Reyna, *et al.*, Historia de la actividad reciente del Popocatepetl (1354-1995). Volcán Popocatepetl: Estudios realizados durante la Crisis de 1994-1995 (Centro Nacional de Prevención de Desastres. 3-22, 1995).

8. Si no ha sido elaborada la historia eruptiva del volcán. Hacer una reconstrucción de la actividad histórica del volcán.
 - a) Actividad eruptiva registrada en documentos históricos (Archivo general de Indias, crónicas, etc.).
 - b) Definir el tipo de actividad volcánica registrada (fumarólica, magmática, caída o lluvia de cenizas, flujos, etc.).
 - c) Alcances (distancia hasta donde se propagó y grado de afectación).
 - d) Impacto sobre las poblaciones.

9. Solicitar a un especialista, para lo que será necesario consultar al departamento de geología, geografía o vulcanología de la universidad local, o directamente a los Institutos de Geofísica y Geología de la UNAM o al CENAPRED, la realización de estudios geológicos del área, que determinen la naturaleza, distribución, volumen y fechas de los productos eruptivos.
10. Tomando como base la reconstrucción de la actividad histórica y la obtenida a través de los estudios geológicos, se podrá obtener el tipo de erupciones que ha producido el volcán en el pasado, así como la periodicidad o frecuencia con que se han presentado. Es decir cada cuanto tiempo ha tenido actividad el volcán y de que tipo.
11. Con base en lo anterior se podrá determinar si el volcán representa un peligro a corto o largo plazo. Es decir, si la periodicidad de las erupciones es de 100 años o menos, se considera un peligro a corto plazo; pero si su periodicidad es mayor a 100 años se considera de largo plazo. De peligro inminente son aquellos volcanes para los cuales la evidencia geológica confiable señala que se puede esperar una erupción en menos de 10 años.
12. Si se considera que el volcán representa un peligro, establecer si el volcán presenta actualmente manifestaciones de actividad o no (4.2.2 Identificación de un volcán activo, de este documento).
13. Si el volcán representa un peligro (principalmente volcanes de las categorías 1, 2 y 3) será necesario utilizar el mapa de peligros del volcán para determinar zonas vulnerables. Si no existe un mapa de peligros, será necesaria su elaboración por especialistas (geólogos-vulcanólogos).
14. La elaboración del mapa de peligros debe llevarla a cabo un especialista, sin embargo a continuación se mencionan algunos puntos con relación a su elaboración. Para elaborar el mapa se requiere, ubicación del volcán en cartas topográficas escala 1:50 000, 1:25 000 o 1:10 000 de preferencia (cartas elaboradas por el INEGI).
15. Cada tipo de peligro volcánico (lahares, flujos piroclásticos, coladas de lava, etc.) forma un tipo especial de depósito geológico. A partir de la información obtenida del análisis de los registros geológicos, dibujar sobre el mapa topográfico usando distintos colores, los diferentes tipos de productos eruptivos originados por el volcán, es decir las diferentes amenazas volcánicas de la zona de estudio, su distribución y máxima distancia alcanzada (figura 4.12).

Para esto se podría utilizar:

- Flujos piroclásticos (rojo)
- Derrumbes y avalanchas (amarillo)
- Flujos o coladas de lava (naranja)
- Lahares y zonas de inundación (verde oscuro)
- Bombas y proyectiles balísticos (verde claro)
- Cenizas y tefra (gris)

De preferencia dibujar cada peligro por separado en papel transparente sobre el mapa, esto facilitará la identificación de cuántos y cuáles peligros afectarían determinadas zonas.

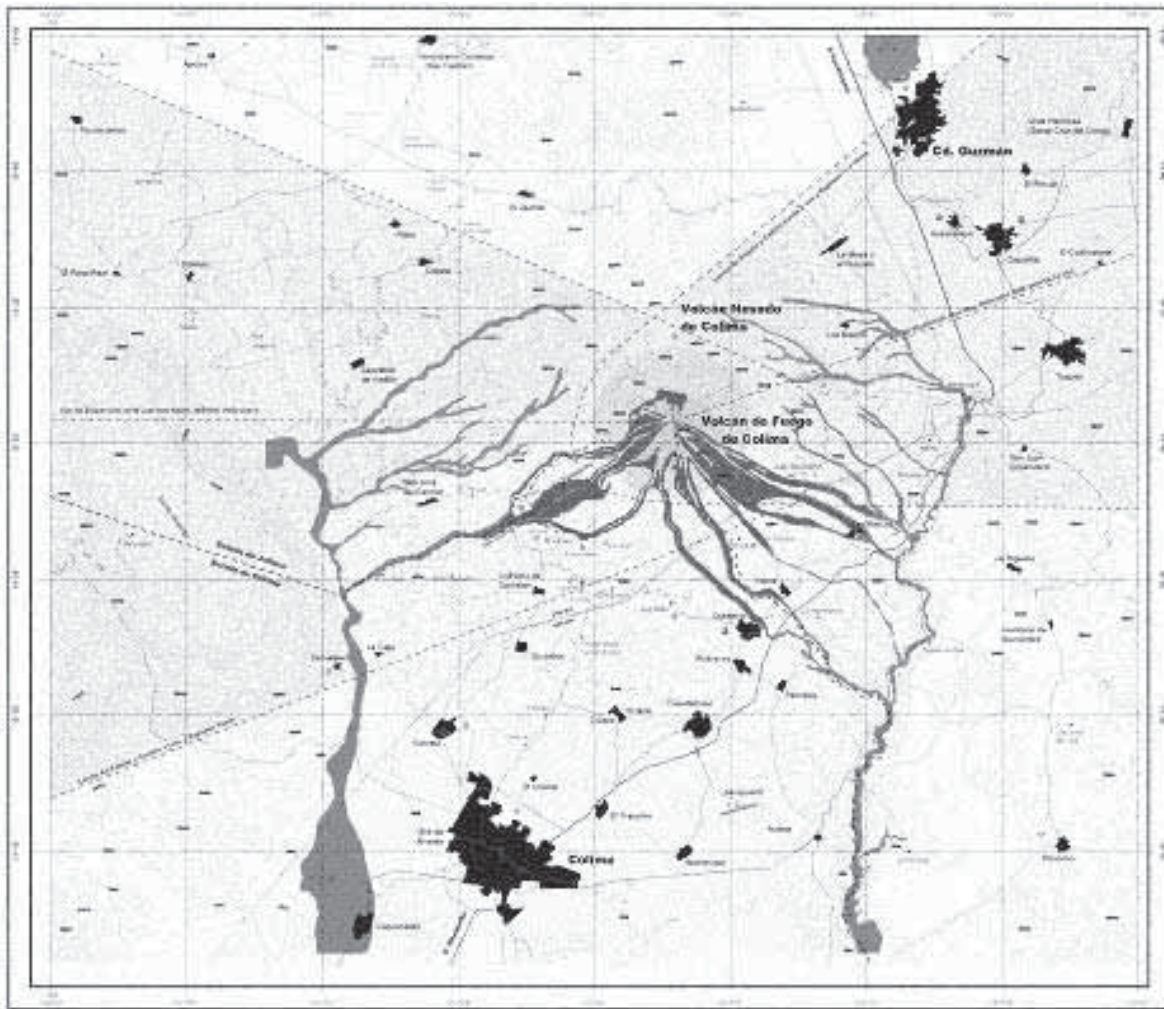


Figura 4.12 Peligros volcánicos del Volcán de Colima (elaborado por: C. Navarro y A. Cortés, Observatorio Vulcanológico, Universidad de Colima)

16. Reconocer y marcar en el mapa las colinas y los valles, dirección de la corriente de los flujos, inclinación de cuestras. Muchos de los peligros volcánicos fluyen cuesta abajo en los valles ya que siguen la "trayectoria de menor resistencia."
17. Cuantifique la evaluación de los efectos volcánicos por zonas de peligro y márquelas sobre el mapa utilizando el color rojo para la Zona I, naranja para la Zona II y amarillo para la Zona III (figura 4.13):
 - a) **Zona de Peligro I** (peligro mayor, color rojo): Es la más cercana al volcán por lo que representa el mayor peligro. Es la más frecuentemente afectada por las erupciones, independientemente de la magnitud de la erupción. Es el área potencialmente afectada por la mayoría de los peligros volcánicos, como son, lluvia pesada de cenizas, grandes fragmentos de roca expulsados, flujos de material volcánico a altas temperaturas, etc.



Figura 4.13 Zonas de peligro I, II y III del volcán Popocatepetl (fragmento tomado de mapa elaborado por: J. Macías, et al., Instituto de Geofísica, UNAM)

- b) **Zona de Peligro II** (peligro moderado, color naranja): Representa un peligro menor que la anterior, ya que es menos frecuentemente afectada por erupciones, debido a que se encuentra a mayor distancia. Sin embargo cuando las erupciones que alcanzan esta área representan el mismo grado de peligrosidad que la Zona I. En erupciones pequeñas a moderadas, solo afectada por caída moderada de cenizas volcánicas.
 - c) **Zona de Peligro III** (peligro menor, color amarillo): Es la zona mas alejada del volcán, y puede ser afectada por los mismos peligros que las anteriores, pero solo por erupciones extraordinariamente grandes, que ocurren a intervalos de miles de años. Poco o nada afectada en erupciones moderadas a pequeñas.
18. Una vez obtenido el mapa de peligros, hacer una lista de los peligros volcánicos potenciales. Tomando en cuenta cualquier flujo de lodo, zonas de inundación, la existencia de glaciares ya que esto afectará a las zonas más bajas. Siga los drenajes afectados río abajo para identificar las zonas y poblaciones que pueden ser afectadas y consideradas como de peligro potencial.
 19. Después de confirmar los peligros posibles para su área, marque sobre el mapa con diferentes colores esos peligros. Hacer una leyenda de su mapa de peligro que describa el tipo de peligro.
 20. Hacer una lista por poblaciones, indicando los peligros que puedan afectar a cada una y el grado máximo de afectación (según reconstrucción histórica), así como industrias, tierras de cultivo y agrícolas.
 21. Recopile información sobre censo de población en las áreas que pudieran ser afectadas (INEGI).
 22. Recopile información sobre actividades, utilización del suelo, e infraestructura en las zonas potencialmente afectadas (INEGI e información local).
 23. De acuerdo con la información anterior, realice una evaluación económica de las zonas potencialmente amenazadas por diversos peligros y de las condiciones humanas del área. La evaluación del impacto económico de la actividad eruptiva debe tener como fundamento el mapa de peligros.
 24. Con la información de los mapas de peligro volcánico, la base de datos topográficos a una escala adecuada y los datos de la distribución de la población, es posible elaborar una zonificación del riesgo representada en mapas detallados al nivel de municipios o poblaciones individuales, en los que puedan identificarse los sitios vulnerables a peligros específicos.
 25. La elaboración del mapa de peligros (figuras 4.12 y 4.13) es absolutamente necesaria para el planeamiento de la utilización del suelo, la elaboración de los planes de emergencia adecuados, y los esfuerzos educativos para la comunidad.
 26. Si bien el peligro es una característica del fenómeno que no puede ser modificada, la vulnerabilidad puede ser reducida en forma considerable a través de la “preparación”.

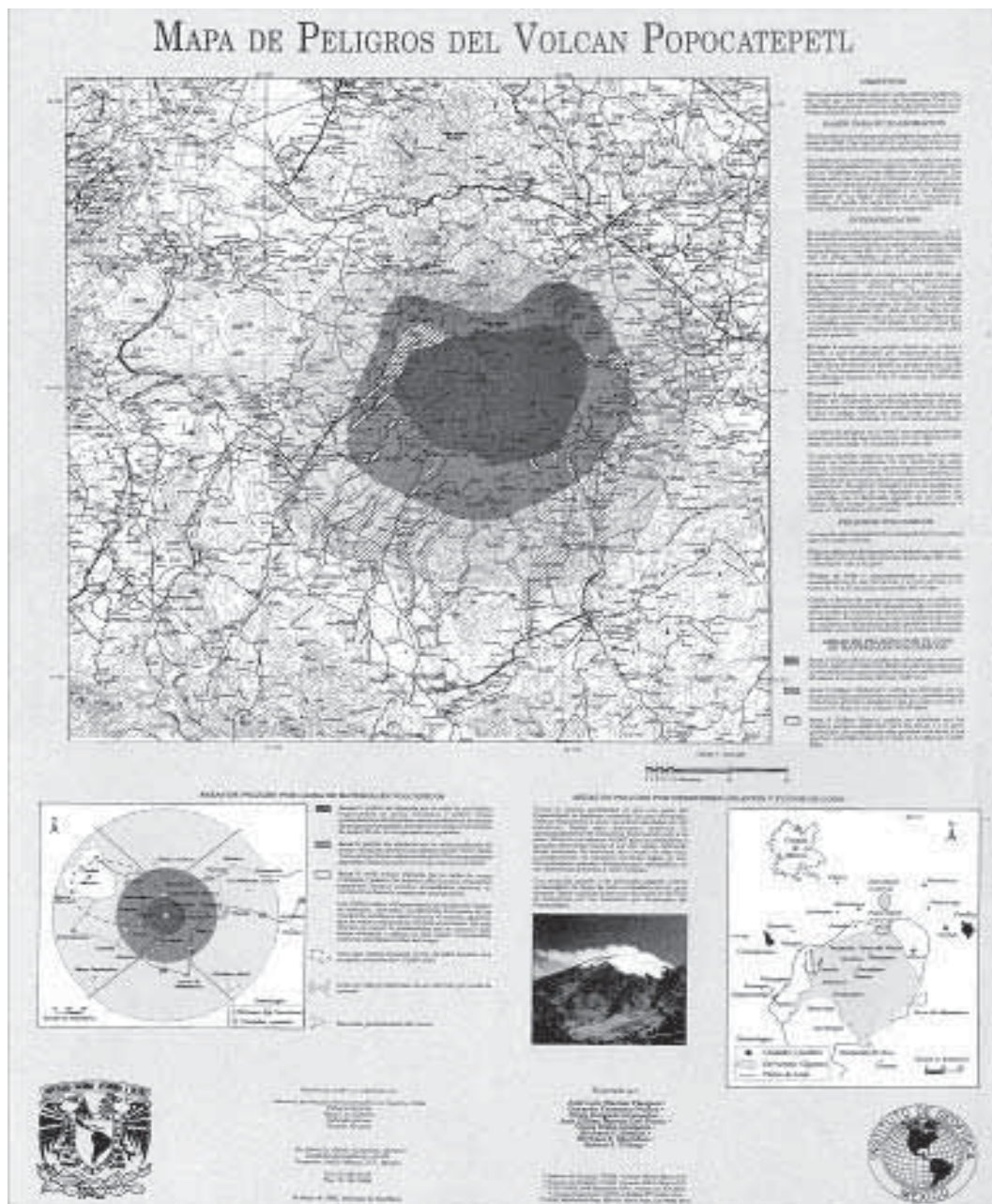


Figura 4.14 Mapa de Peligros del volcán Popocatépetl (elaborado por: J. Macías, et al., Instituto de Geofísica, UNAM)

Una vez identificados los peligros y se ha zonificado el riesgo, es necesario desarrollar un grado de preparación, entendida como una capacidad de respuesta ante la posibilidad de actividad volcánica, o de cualquier otra amenaza. La preparación involucra una clara comprensión, por parte de la población vulnerable y de las autoridades responsables de su protección, del fenómeno natural y de todas sus posibles manifestaciones destructivas, y la elaboración de medidas de reducción de la vulnerabilidad (reubicación de poblaciones ubicadas zonas de alto riesgo, reforzamiento de techos en viviendas, restricciones para uso de las tierras, albergues, rutas de evacuación, etc.). La preparación considera también el desarrollo de planes operativos de respuesta ante la posibilidad de que esas manifestaciones se presenten.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En México existen más de 2,000 volcanes, algunos de ellos, aproximadamente una docena, tienen el potencial para producir erupciones, que en ocasiones pueden resultar muy destructivas, como lo fueron las del volcán Chichón, Chiapas, en marzo y abril de 1982.

Los tipos de erupciones pueden ser muy variados en naturaleza y alcance. Una evaluación de la probabilidad de que un volcán dado ha de erupcionar en un periodo específico de tiempo, el tipo de erupción y la estimación de seguridad de que tal erupción ocurra, está basada en la información de erupciones anteriores y en el comportamiento actual del volcán. Si los datos de la historia del volcán son adecuados, entonces la frecuencia de anteriores erupciones puede ser determinada así como la posible frecuencia de futuras erupciones.

Los mapas de amenazas constituyen la herramienta más importante para diseñar sistemas de monitoreo y planes de emergencia, así como las estrategias socioeconómicas de desarrollo para una región determinada. Desgraciadamente, tales mapas no existen para la mayoría de los volcanes activos de México. Por esta razón, es importante promover la realización de estos mapas que representan una valiosa herramienta para la toma de decisiones en relación con la evacuación y otras actividades de respuesta. El siguiente paso será determinar la vulnerabilidad y finalmente lograr una completa percepción del riesgo volcánico.

La utilización de los Mapas de Peligros Volcánicos, el monitoreo efectivo de los volcanes combinado con la preparación de planes de contingencia, reduce el riesgo de pérdida de vidas y de propiedades, para lograr esto se recomienda:

Solicitar ayuda exterior apropiada para entrenar a los profesionales locales que podrían hacer los mapas de peligro, y estudios económicos del impacto.

Conformar un grupo interdisciplinario informal, incluyendo vulcanólogos, economistas, geógrafos, ingenieros, planificadores, que trabajen en equipo, centrándose en el mapa de peligros.

Hacer una investigación sobre la probabilidad de acontecimientos vulcanológicos peligrosos. Que los vulcanólogos y los miembros del equipo interdisciplinario hagan esfuerzos por proporcionar datos de probabilidad, referentes a peligros volcánicos para ser más eficaces en la evaluación del impacto económico.

GLOSARIO

Aa: tipo de lava irregular, en bloques.

Alerta: etapa correspondiente a la fase del "antes" dentro del ciclo de los desastres, que significa la declaración formal de ocurrencia cercana o inminente de un evento (tomar precaución).

Alteración hidrotermal: es un proceso que afecta a rocas, debido a la acción de fluidos a altas temperaturas, muchas veces en las cercanías de cámaras magmáticas. Esta acción produce cambios mineralógicos y, a veces, estructurales en las rocas que se ven afectadas, dándoles muchas veces una coloración blanquecina, amarillenta y/o rojiza de acuerdo a los nuevos minerales presentes.

Amenaza: llamado también peligro, se refiere a la potencial ocurrencia de un suceso de origen natural o generado por el hombre, que puede manifestarse en un lugar específico con una intensidad y dirección determinada.

Andesita: roca volcánica cuyo contenido de SiO₂, se encuentra entre 52 y 63%.

Basalto: término genérico que se aplica a las rocas ígneas de color oscuro compuestas por minerales que son relativamente ricos en hierro y magnesio.

Bloque volcánico: fragmento sólido lanzado en una erupción explosiva, y con un tamaño que oscila entre 6 centímetros y varios metros de diámetro.

Bomba: fragmentos de lava con formas aerodinámicas, lanzado en estado semilíquido.

Brecha volcánica: roca formada por fragmentos de rocas volcánicas y fragmentos de las rocas encajonantes, a veces cementados por cenizas y lapillis.

Caldera: gran depresión volcánica en forma de cubeta más o menos circular que mide más que 1.5 km de diámetro.

Cámara magmática: corresponde a la zona de almacenamiento del magma en la corteza debajo de los volcanes. Pueden ubicarse a muy diversas profundidades.

Centro de emisión: lugar en la superficie por donde es emitido magma.

Cenizas: partículas de roca volcánica, cristales o vidrio volcánico, generado durante las erupciones (diámetro menor que 2 mm).

Chimenea: conducto sensiblemente tubular por el que los productos volcánicos alcanzan la superficie. Al término de la erupción del volcán se llena de lava o de brechas con bloques soldados.

Clasto: fragmento de roca que ha sido transportado, por procesos volcánicos o sedimentarios.

Cono adventicio: cono secundario de un edificio volcánico principal.

Cono de cenizas o piroclástico: colina de forma cónica formada por la acumulación de fragmentos piroclásticos (bombas, lapillis y cenizas) que caen al suelo en una condición esencialmente sólida.

COSPEC: equipo que permite determinar desde una distancia lejana al lugar de emanación, los niveles de gas (SO_2) que se emiten a través de fumarolas volcánicas.

Cráter: depresión, generalmente en forma de embudo, situada en la parte superior o en los laterales de los volcanes por donde éstos expulsan lava y gases al exterior durante las erupciones.

Cronoestratigrafía: parte de la estratigrafía que trata de la organización de los estratos en unidades basadas en sus relaciones de edad.

Dacita: roca volcánica de naturaleza intermedia a ácida.

Depósito de caída: fragmentos piroclásticos que han caído de una nube eruptiva.

Derrame fisural: salida de lava por una grieta o chimenea que no necesariamente es el cráter principal.

Domo: lava con forma de cúpula que crece en el fondo del cráter o en la cumbre de un volcán.

Edificio volcánico: es propiamente el cono que se forma por la acumulación de material expulsado a través del cráter y la forma es determinada por las proporciones de lava y elementos piroclásticos en el material de su composición.

Emisión: corresponde a la cantidad de magma emitido por unidad de tiempo durante una erupción o durante períodos dentro de una erupción. La viscosidad de una lava generalmente aumenta cuando la tasa de emisión disminuye, ya que al no mantenerse el flujo calórico, la lava comienza a enfriarse y, por ende, a solidificar, resistiendo más al desplazamiento del flujo.

Endógenas (rocas): productos ígneos que provienen del interior de la Tierra.

Enjambre (sísmico): serie de temblores que ocurren en una misma zona, durante un rango de tiempo que es generalmente pequeño y de magnitudes similares.

Erupción: emisión de materiales volcánicos (lavas, piroclastos y gases volcánicos) sobre la superficie, tanto desde la abertura central, como desde una fisura o grupo de ellas.

Erupción efusiva: erupción volcánica relativamente silenciosa que expulsa lava basáltica a la velocidad con la que una persona camina. La lava tiene una naturaleza fluida. Las erupciones del volcán Kilauea de la isla de Hawaïi son de este tipo.

Erupción explosiva: dramática erupción volcánica que lanza por el aire material que llega a cientos de kilómetros de distancia. La lava es baja en silicatos y puede ser muy peligrosa para la gente que se acerque. Un ejemplo es el Monte St. Helens en 1980.

Erupción freática: erupción volcánica o explosión de vapor, barro u otro material que no está incandescente; esta forma de erupción está motivada por el calentamiento y consiguiente expansión del agua contenida en el suelo debido a la cercanía de un fuente ígnea de calor.

Erupción pliniana: emisión de grandes columnas eruptivas, con intensas explosiones que producen extensas lluvias de cenizas y flujos piroclásticos.

Escoria: fragmento de lava porosa y de forma irregular que fue arrojado en estado líquido.

Estratigrafía: estudio de la disposición de capas superpuestas de lechos rocosos diferenciados, su sucesión en el tiempo y su naturaleza.

Estratovolcán: es un volcán formado por capas de material fragmentario y corrientes de lava intercaladas.

Exhalación: emisiones de corta duración que pueden ser vapor de agua, gases y en ocasiones cenizas.

Falla: superficie de ruptura de la corteza terrestre a lo largo de la cual ha habido un movimiento diferencial paralelo entre dos bloques o masas adyacentes.

Flujo piroclástico: mezcla de gases volcánicos y materiales fragmentados incandescentes, que descienden por los flancos de los volcanes a gran velocidad y con alto poder destructivo.

Freática: erupción volcánica moderadamente explosiva, en donde hay contacto de gases calientes con agua subterránea, pero no magma.

Freatomagmática: actividad volcánica explosiva con interacción agua subterránea-magma.

Fumarola: expresión de calor subterráneo en áreas volcánicas con manifestaciones de vapores y gases con temperaturas entre 300 y 1,000 °C.

Gases volcánicos: corresponden a los gases disueltos en el magma, que al acercarse a la superficie generalmente tienden a escaparse, muchas veces formando fumarolas y solfataras.

Geyser: es la expresión superficial de un campo geotérmico en profundidad, el cual sobrecalienta agua infiltrada o en capas subterráneas, transformándolas súbitamente en vapor de agua que sube a la superficie a gran presión y muy alta temperatura.

Ígneo (a): roca o mineral que se solidificó a partir de material parcial o totalmente fundido.

Ignimbrita: roca volcánica rica en sílice originada en eventos volcánicos muy explosivos. Se caracteriza por poseer vidrio volcánico aplastado, cristales y líticos en su matriz.

Lahar: flujo de fragmentos de rocas, cenizas y barro que contienen suficiente agua para fluir pendiente abajo de las faldas de un volcán.

Lapilli: fragmentos de rocas volcánicas con tamaños entre 2 y 64 mm.

Lapilli acrecional: cuerpo esférico con un diámetro entre 2 a 64 mm que se forma cuando las cenizas se adhieren a una gota de agua condensada o una partícula sólida, particularmente en el interior de columnas eruptivas ricas en vapor de agua.

Lava: producto formado por la consolidación del magma.

Líticos: fragmentos de rocas.

Maar: estructura volcánica freática o freatomagmática cuyo cráter se encuentra bajo el nivel original del terreno.

Magma: roca fundida en el interior de la corteza de un planeta que es capaz de realizar una intrusión en las rocas adyacentes o de una extrusión hacia la superficie. Las rocas ígneas se derivan del magma a través de la solidificación y los procesos asociados o mediante la erupción del magma sobre la superficie.

Merapi (tipo): avalancha gravitacional de una colada o flujo piroclástico. Las erupciones del volcán Merapi en Java, es el volcán tipo.

Mitigación: Son las medidas tomadas con anticipación al desastre y durante la emergencia, para reducir su impacto en la población, bienes y entorno.

Pahoehoe: las lavas pahoehoe, de gran fluidez, tienen una superficie lisa, ondulada y brillante; y se originan cuando la temperatura de emisión es elevada y la tasa efusiva es reducida.

Piroclastos o piroclásticos: término descriptivo del material fragmentario formado por una explosión volcánica, o expulsado por una abertura volcánica.

Placa: segmento geométrico de la litosfera, que se mueve por el efecto de corrientes de convección en el interior de la Tierra.

Pómez: piroclasto de composición ácida (SiO_2) de diferentes tamaños, tonalidad clara y muy poroso.

Precursor: acontecimiento que anuncia una erupción que se desarrollará más tarde. Por ejemplo ruidos subterráneos, aumento de la sismicidad, etc.

Prevención: una de las etapas de la fase del "antes" en el ciclo de los desastres, que consiste en evitar que ocurra el evento, reconociendo que en ocasiones es imposible evitar dicha ocurrencia.

Riesgo: probabilidad de exceder un valor específico de daños sociales, ambientales y económicos, en un lugar específico y durante un tiempo de exposición determinado. $R = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$.

Riesgo (gestión del): una herramienta de decisión y de planificación que les facilita a los actores sociales analizar una situación determinada, tomar de manera conciente decisiones y desarrollar una propuesta de intervención concertada tendiente a prevenir, mitigar o reducir los eventos existentes.

Riolita: roca volcánica muy ácida (SiO_2), que se presenta en erupciones altamente explosivas.

Solfataras: salida de gases y agua a una menor temperatura (menor que 300°C), situada dentro del volcán o muy cerca de él.

Tefra: todo depósito o material eruptado por un volcán, el cual se desplaza por el aire a alguna distancia antes de caer en el suelo o en el agua.

Viscosidad: corresponde al inverso de la fluidez, es decir es la resistencia interna a los esfuerzos de cizalle dentro de un flujo. Una alta viscosidad implica que un flujo no puede moverse fácil ni rápidamente, es decir tiene una muy baja fluidez. Por el contrario una baja viscosidad significa que el flujo puede desplazarse fácilmente (muy baja resistencia al cizalle interno).

Volcán: grieta ó cualquiera abertura en la superficie de la Tierra a través del cual son extruídos productos tales como vapor de agua, piroclastos, lavas, gases, entre otros.

Volcán activo: se considera como volcán potencialmente activo aquel que ha tenido algún tipo de actividad eruptiva durante el Holoceno. Esto es especialmente importante en un país como Chile, donde los registros históricos escritos no datan más allá de principios de 1,500 cuando los primeros españoles llegaron a colonizar.

Volcánico: perteneciente o relativo al volcán.

Vulnerabilidad: es un factor interno del riesgo de un sujeto, objeto o sistema, expuesto a la amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañado.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Banks, N.G., Tilling, R.I., Harlow, D.H. y Ewert, J.W., "Vigilancia volcánica y pronósticos a corto plazo". Ed. R.I. Tilling, Apuntes para un curso breve sobre Los Peligros Volcánicos, U.S.A., WOVVO, IAVCEI, Santa Fe, Nuevo México, 51-82, 1993.
- Blong, R.J., "Volcanic Hazards". Macquarie University Academic Press, Sydney, Australia, 1979.
- Booth, B., "Assessing Volcanic Risk". Geological Society of London Journal, vol. 136 pp. 331-340, 1979.
- Bullard V., Fred M., "Volcanoes of the Earth". University of Texas Press, Austin. Texas, 1962.
- CENAPRED, "Los tsunamis en México". Secretaría de Gobernación, Coordinación de Programas y Normas de México, D.F., 1994.
- CENAPRED, "Volcanes" México, D. F, mayo 1992.
- Crandall, D.R., *et al*, "Sourcebook for Volcanic-Hazards Zonation". Natural Hazards 4 Paris: UNESCO, 1984.
- De la Cruz R. S. y Ramos J. E., "Volcanes". Fascículo No.4 . Sistema Nacional de Protección Civil. México, pp. 23-25, México, 1994.
- De la Cruz-Reyna, S., Quezada, J.L., Peña, C, Zepeda, O. y Sánchez, T., "Historia de la actividad reciente del Popocatepetl (1354-1995)". Volcán Popocatepetl: Estudios realizados durante la Crisis de 1994-1995 . Centro Nacional de Prevención de Desastres. 3-22, 1995.
- Espíndola, J.M., "Las catástrofes geológicas". Cuadernos del Instituto de Geofísica No. 3, UNAM, 1992.
- Espíndola, J.M., "La actividad volcánica". Cuadernos del Instituto de Geofísica No. 12, UNAM, 1999.
- Krumpe, P.F., "Briefing Document on Volcanic Hazard Mitigation". Washington, D.C.: U.S. Agency for International Development, Office of Foreign Disaster Assistance, 1986.
- Maciel, F.R. "Amenazas Naturales del Estado de Jalisco". Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. División de Ciencias Ambientales, 1995.
- OACI (Organización de Aviación Civil Internacional), "Manual sobre nubes de Cenizas Volcánicas, Materiales Radiactivos y sustancias Químicas Tóxicas". P.I-1-1, I-6-10, 2001.
- Ortiz M., *et al*, "Efectos costeros del tsunami del 9 de octubre de 1995 en la costa de Colima y Jalisco". Informe técnico CICESE, 1996.
- Ortiz R. (editor), "Riesgo Volcánico". Serie Casa de los Volcanes No. 5, pp. 304. Cabildo de Lanzarote, Consejería de Cultura, Islas Canarias, España, 1995.

V Scott, W.E., "Hazardous Volcanic Events and Assessments of Long-Term Volcanic Hazards". Proceedings of the Geologic and Hydrologic Hazards Training Program, Denver. Colorado, March 5-30. 1984, Open File Report 84-760 Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 1984.

Simkin, T., and Siebert, L., "Volcanoes of the World". Geoscience Press, Tucson, Arizona, 349 p., 1994.

Tomblin, J., "A Lesson from the 1985 Ruiz Volcanic Disaster". In Episodes International Geoscience News magazine, 1986.

Yarza de al Torre E., "Volcanes de México". México, Ed. Aguilar, 1971.

V. ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA Y EL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS EN LADERAS

Manuel J. Mendoza López y Leobardo Domínguez Morales

RESUMEN

En varios estados de la República Mexicana existen centros de población que con frecuencia están expuestos a la ocurrencia de movimientos repentinos pendiente abajo de masas de suelos y rocas en laderas, así como a otros fenómenos de naturaleza geotécnica. Es un hecho bien identificado que las zonas de más alto riesgo no sólo a los deslizamientos térreos, sino también a las inundaciones y otras calamidades, son donde usualmente se asienta la población de menores recursos. En ocasiones, el desarrollo de una comunidad se da en terrenos inclinados de propiedad irregular, con lo que se propician las fallas de talud, al deforestarse el terreno y al generarse flujos de agua al interior del talud.

Gran parte de los problemas geotécnicos como los deslizamientos tienen antecedentes o manifestaciones que permiten señalar la posibilidad de su ocurrencia futura. El desafío entonces es distinguir el peligro y la amenaza a que esté sometida la población de una comunidad, así como sus bienes, por estos eventos; establecida la vulnerabilidad de esa población y la de sus propiedades, es posible entonces evaluar el riesgo por la ocurrencia de estos fenómenos. La identificación de las condiciones locales del sitio y de los factores intrínsecos que hacen propicia la inestabilidad del terreno, son aspectos que se discuten en este documento para estimar la amenaza de deslizamientos en laderas. Se enfatizan aquí los lineamientos y los criterios generales que se deben seguir para evaluar el peligro y la amenaza de estos fenómenos geotécnicos. Aun cuando se proporcionan ideas generales para la cuantificación del riesgo de deslizamiento de laderas, su desarrollo detallado está fuera del alcance de este documento.

5.1 INTRODUCCIÓN

Los eventos naturales son inevitables, pero lo que sí se puede evitar o al menos reducir, son los desastres que en ocasiones resultan de esos eventos. El problema de los deslizamientos de laderas en México es un fenómeno que ha cobrado un número considerable de vidas humanas y daños materiales cuantiosos, por lo que resulta necesario establecer los criterios que permitan a los ciudadanos y a las autoridades identificar y evaluar el riesgo asociado al deslizamiento de laderas. Este es un campo importante en el que deben estar preparados quienes atienden las actividades de Protección Civil del país, por lo que este documento está dirigido a ellos, principalmente, con miras a la integración de sus Atlas de Riesgos. El término genérico deslizamiento, dentro del contexto de laderas, se refiere (Cruden, 1991) "...al movimiento de una masa de roca, tierra o detritos pendiente abajo".

Un deslizamiento ocurre cuando se rompe o pierde el equilibrio de una porción de los materiales que componen una ladera y se deslizan ladera abajo por acción de la gravedad. Aunque los deslizamientos usualmente suceden en taludes escarpados, tampoco es raro que se presenten en laderas de poca pendiente. Son primariamente ocasionados por fuerzas gravitacionales, y resultan de una falla por corte a lo largo de la frontera de la masa en movimiento, respecto a la masa estable; se alcanza un estado de falla cuando el esfuerzo cortante medio aplicado en la superficie potencial de deslizamiento, llega a ser igual a la resistencia al esfuerzo cortante del suelo o roca. Los

deslizamientos pueden ser desencadenados tanto por cambios en el ambiente natural, como por actividades humanas.

Las características intrínsecas y las debilidades inherentes en las rocas y en los suelos frecuentemente se combinan con uno o más eventos desestabilizadores, tales como lluvias intensas, actividad sísmica, actividad volcánica y, en menor proporción en México, por el deshielo. Los deslizamientos pueden ocurrir como fallas de laderas de cerros, cañadas, barrancas y riberas de ríos, lagunas o vasos de presas; en cortes y terraplenes de carreteras, minas a cielo abierto y bancos de materiales; también suceden deslizamientos o fallas de talud en terraplenes para presas, bordos y otras obras, así como en excavaciones para la construcción. Nuevamente, dentro del ámbito de la Protección Civil, interesan primordialmente las inestabilidades de laderas que afecten a las personas y a sus bienes en núcleos de población.

Los deslizamientos de laderas o taludes, así como las inundaciones, erupciones volcánicas y los temblores de tierra, son fenómenos naturales difíciles de predecir, en virtud de que son inciertos y tienen consecuencias serias para la población y sus bienes. “fenómeno”, “incertidumbre” y “consecuencias potenciales” necesitan ser identificados, a fin de definir el riesgo que representa el deslizamiento de una ladera natural. El orden en que se han mencionado los términos “fenómeno”, “incertidumbre” y “consecuencias potenciales”, es también la secuencia seguida por la mayoría de los procedimientos de evaluación del riesgo en el ámbito geotécnico; es posible que este enfoque no lo compartan en otras disciplinas por lo que más adelante se precisan términos. En este documento se enfatizan los aspectos referentes a la identificación y descripción del peligro (el “fenómeno”) y la amenaza (la “incertidumbre”) que podría tener para la población y sus bienes, un posible deslizamiento de laderas; se dan no obstante, algunos lineamientos para la cuantificación del riesgo.

Debe señalarse que la inestabilidad de laderas no es de modo alguno la única amenaza geotécnica sobre la población y sus bienes. Aunque no son abordados en este documento, existen otros fenómenos de naturaleza geotécnica que impactan a la población, a construcciones e infraestructura en nuestro país. Entre otros, sin ser exhaustivos, podemos citar:

- a) Los agrietamientos del terreno y hundimiento regional. La mayoría de las veces, ambos fenómenos están asociados a la explotación excesiva del acuífero, lo que se traduce en el abatimiento de la presión en el agua del subsuelo y con ello, la compresión volumétrica por el constante proceso de consolidación. Desde luego este fenómeno no afecta de manera directa a las personas, pero sí de manera significativa a sus bienes.
- b) La licuación de depósitos arenosos, ante la ocurrencia de sismos intensos. En diversas áreas del litoral mexicano tanto del Pacífico como del Golfo de México ha sucedido este fenómeno, aunque también se tienen evidencias de su ocurrencia en el Altiplano Central, relativamente cerca de la ciudad de Puebla. La licuación produce agrietamientos muy severos y grandes desplazamientos laterales, provocando la destrucción de caminos, edificaciones, muelles, conducciones, etc.;
- c) La presencia de suelos expansivos, o bien, la de suelos colapsables, que provocan movimientos indeseables del terreno, que afectan principalmente a las construcciones para vivienda; y
- d) La presencia de cavidades cercanas a la superficie del terreno, debidas a actividades de tuneo para explotación minera, o bien la generación natural de cavidades kársticas (cavernas por disolución de las rocas); tales huecos determinan verdaderos colapsos del terreno, afectando a personas y propiedades.

Desde luego, estos aspectos merecen atención; la identificación de estos peligros geotécnicos en sitios específicos de nuestro territorio, debe ser el punto de partida para estimar el riesgo que representan para la población.

5.1.1 Alcances y objetivos

La función esencial de la Protección Civil es reducir el número de víctimas humanas, de damnificados, de pérdida de propiedades y daños a la infraestructura de una región, poblado o ciudad por la ocurrencia de algún fenómeno natural o antropogénico; por ello, este documento tiene como finalidad proporcionar los medios y los criterios necesarios para la identificación clasificación y evaluación de los peligros y amenazas para la población por el deslizamiento de laderas. Se reconocen cuatro métodos generales para realizar esta tarea; ellos son: a) con base en la evaluación de un experto; b) a partir de análisis estadísticos de eventos históricos; c) con base en el análisis de estabilidad que requiere la cuantificación de un factor de seguridad; y d) mediante la calificación de los factores físicos internos de la ladera. En este documento se proporcionan los lineamientos ingenieriles que permiten identificar los problemas asociados a la inestabilidad de laderas, y se dan los criterios para evaluar la amenaza por el deslizamiento de laderas y el agrietamiento del terreno; para el primer peligro antes mencionado se propone una metodología que corresponde a un procedimiento del tipo d), antes citado. No obstante, se aportan comentarios e información sobre los tres primeros.

Además de la identificación de la amenaza, la evaluación del riesgo, incluso de manera cualitativa, requiere de información sobre los elementos en riesgo y el análisis de su vulnerabilidad. Existen sitios en el mundo en los que estos aspectos se han puesto en juego a fin de administrar los riesgos por deslizamientos; tal es el caso de Hong Kong, por citar el de mayor desarrollo.

Las bases conceptuales, mecanismos de falla y metodologías para evaluar el riesgo por deslizamientos, son factores invariantes que pueden adoptarse en México, a partir de lo propuesto y experimentado en otros sitios del mundo; sin embargo estas últimas deben alimentarse con la información adecuada. Por ejemplo, la relación entre las lluvias y los deslizamientos no es única, ya que depende de las condiciones locales como la geología, el régimen hidrológico y el clima. Así, cierto umbral de lluvia diaria con el que se tendrían problemas de inestabilidad de laderas en un sitio, podría no provocar ninguna inestabilidad en otro. De aquí que debe señalarse la importancia que tiene la generación y recopilación de información a nivel municipal y regional, con el fin de establecer la relación lluvia-deslizamientos para sitios o regiones particulares de México. Lo que se expone en este documento, entonces, está orientado a generar esa información indispensable para la aplicación local de las metodologías que aquí se presentan.

Los diferentes tipos de deslizamiento son descritos en la sección 5.2, reconociendo los caídos, los deslizamientos francos, los flujos de geomateriales en laderas y los desplazamientos laterales. A fin de alcanzar los objetivos planteados y pretendiendo conjuntar un documento completo sobre el tema, se ha considerado pertinente presentar en este capítulo desde los conceptos básicos de información, como son el reconocimiento de los tipos de deslizamiento. Así mismo, se juzgó conveniente exponer y precisar definiciones acerca de lo que es abordado en este capítulo; por ello, al final de esta sección se explica la terminología que más aceptación tiene a nivel mundial, al ser consensuada por diversos autores de disciplinas diferentes, quienes son representantes de comités técnicos de sociedades internacionales relacionadas con geomateriales y laderas o taludes artificiales.

En la sección 5.3 se hace un recuento de los factores que provocan los deslizamientos, distinguiendo los factores internos y los externos. En relación con uno de los factores externos más importantes se aporta información sobre datos estadísticos de umbrales de lluvia asociados con la inestabilidad de laderas. Así mismo, se exponen algunas ideas acerca de la acción sísmica como detonadora de fallas de laderas. En la sección 5.4 se discuten los criterios para llevar a cabo las investigaciones del sitio a fin de caracterizar geotécnicamente una ladera, y poder así identificar su peligro de deslizamiento. En la sección 5.5 se abordan los criterios para una estimación de la amenaza por deslizamiento de laderas, reconociendo las incertidumbres que ello conlleva, toda vez que la información disponible para un análisis de estabilidad es limitada, y que sin embargo se requieren tomar decisiones a corto plazo.

En la sección 5.6 se describen los enfoques, procedimientos y otras consideraciones necesarias para concluir con el análisis cuantitativo de riesgo de deslizamiento de laderas. Para ello, se recurre al concepto de intensidad de un deslizamiento, que resulta similar al enfoque de intensidad sísmica, aunque un tanto novedoso en el campo de la amenaza por laderas. Se analizan las consecuencias de los deslizamientos, poniendo particular atención a los impactos sobre vidas humanas. En la sección 5.7 se trata lo referente a agrietamientos del terreno y hundimientos naturales, y la sección 5.8 reúne las conclusiones de esta guía, puntualizando los aspectos que requieren especial atención en el tema tratado.

5.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS EN LADERAS Y CONCEPTOS SOBRE PELIGRO, AMENAZA Y RIESGO

5.2.1 Los tres tipos básicos de deslizamientos

Como se ha mencionado, el deslizamiento de una ladera es un término general que se emplea para designar a los movimientos talud abajo de materiales térreos, que resultan de un desplazamiento hacia abajo y hacia afuera de suelos, rocas y vegetación, bajo la influencia de la gravedad. Estas inestabilidades se caracterizan porque los materiales que componen la masa fallada se pueden mover por derrumbe o caída, deslizamiento, flujo y desplazamiento lateral. Algunos deslizamientos son rápidos por que ocurren en segundos, mientras que otros pueden tomar horas, semanas, meses, o aun lapsos mayores para que se desarrollen. Desde luego para la Protección Civil, fundamentalmente por lo que se refiere a la seguridad de las personas, son de particular preocupación los deslizamientos rápidos.

Con el fin de tener una concepción más amplia de los problemas de inestabilidad que pueden presentarse en las laderas naturales, en las secciones siguientes se da una descripción detallada de estos movimientos, haciendo énfasis en la forma en que ocurren y en el tipo de materiales o formaciones geológicas en los que son más frecuentes.

5.2.1.1 Caídos o derrumbes

Movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes muy fuertes y acantilados, fig. 5.1a, por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre, rodando y rebotando; incluye:

Desprendimientos: Caída de suelos producto de la erosión o de bloques rocosos, atendiendo a discontinuidades estructurales (grietas, planos de estratificación o fracturamiento) proclives a la inestabilidad.

Vuelcos o volteos: Caída de bloques rocosos con giro hacia adelante y hacia afuera, propiciado por la presencia de discontinuidades estructurales (grietas de tensión, formaciones columnares, o diaclasas) que tienden a la vertical.

5.2.1.2 Deslizamientos

Movimientos de una masa de materiales térreos pendiente abajo, sobre una o varias superficies de falla delimitadas por la masa estable o remanente de una ladera, fig. 5.1b. Por la forma de la superficie de falla, se distinguen:

Rotacionales: Deslizamientos en los que su superficie principal de falla resulta cóncava hacia arriba (forma de cuchara o concha), definiendo un movimiento rotacional de la masa inestable de suelos y/o fragmentos de rocas con centro de giro por encima de su centro de gravedad. A menudo estos deslizamientos rotacionales ocurren en suelos arcillosos blandos, aunque también se presentan en formaciones de rocas blandas muy intemperizadas.

Traslacionales: Deslizamientos en los que la masa de suelos y/o fragmentos de rocas se desplazan hacia afuera y hacia abajo, a lo largo de una superficie de falla más o menos plana, con muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Usualmente determinan deslizamientos someros en suelos granulares, o bien están definidos por superficies de debilidad en formaciones rocosas, tales como planos de estratificación, juntas y zonas de diferente alteración o meteorización de las rocas, con echado propicio al deslizamiento.

5.2.1.3 Flujos

Movimientos de suelos y/o fragmentos de rocas pendiente abajo de una ladera, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla, fig. 5.1c. Los flujos pueden ser de muy lentos a muy rápidos, así como secos o húmedos; pueden distinguirse:

Flujos de lodo: Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de arena y limo, y partículas arcillosas.

Flujos de tierra o suelo: Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de grava, arena y limo.

Flujos o avalancha de detritos: Movimiento rápido de una mezcla en donde se combinan suelos sueltos, fragmentos de rocas, y vegetación con aire y agua atrapados, formando una masa viscosa o francamente fluida que fluye pendiente abajo.

Creep o flujo muy lento: A diferencia de los casos anteriores, es un movimiento constante pero muy lento de suelos y rocas pendiente abajo, en el que no se define con precisión la superficie de falla.

Lahar: Flujo de suelos o detritos que se origina en las laderas de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos, deshielo repentino por actividad volcánica, o bien por rotura o desbordamiento de represas de agua.

5.2.1.4 Otros procesos de inestabilidad

Podrían reconocerse asimismo, los desplazamientos laterales que consisten en movimientos de masas térrneas que ocurren en pendientes muy suaves, que dan como resultado desplazamientos casi horizontales. Con frecuencia son causados por licuación, donde los sedimentos sueltos y saturados (arenas y limos) se transforman en un estado fluido, por las vibraciones de un sismo.



Figura 5.1 Principales tipos de deslizamientos en laderas

5.2.2 Terminología y conceptos usados en el campo de deslizamiento de laderas

En el campo de los deslizamientos o de la inestabilidad de laderas existe una amplia diversidad de términos, definiciones y conceptos utilizados por la prensa, autoridades de Protección Civil, profesores, investigadores y público en general para referirse al tema de los deslizamientos, y al riesgo que representan para la población. Diversos autores de disciplinas afines han propuesto definiciones y términos para el manejo de los deslizamientos de laderas y del riesgo asociado; sin embargo, con frecuencia no hay consenso ni consistencia en las definiciones. Es claro que las definiciones, términos y su interpretación deben ser en esencia los mismos para todas las disciplinas, con modificaciones menores para adecuarlas a situaciones particulares.

Es importante precisar términos y significados para comprender mejor lo expuesto en este documento, por lo que se definen a continuación los términos más usados. Se llama la atención del lector acerca de las posibles diferencias que pudiera haber en los significados siguientes, respecto a los que se manejan en otras disciplinas relacionadas con riesgos naturales. Para el caso, se adoptan los términos y definiciones propuestos por el Comité sobre Evaluación del Riesgo de Deslizamientos del Grupo de Trabajo de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, por sus siglas en inglés), la cual conjunta los comités técnicos respectivos de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas y la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica:

- ✓ **Peligro:** El fenómeno natural (el deslizamiento) geométrica y mecánicamente caracterizado.
- ✓ **Amenaza:** Una condición con el potencial para causar una consecuencia indeseable. Las descripciones de amenazas de deslizamiento, particularmente para fines de zonificación, deben comprender las características de los deslizamientos, las cuales pueden incluir los volúmenes o áreas de los deslizamientos y la probabilidad de su ocurrencia. Puede también ser valiosa la descripción de las velocidades del deslizamiento.

Alternativamente, la amenaza es la probabilidad con la que un deslizamiento particular (peligro) ocurra dentro de un lapso dado.

- ✓ **Riesgo:** Una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, a la salud, a la propiedad o al medio ambiente. Usualmente se estima como el producto de la probabilidad de que ocurra un evento, por las consecuencias que se deriven del mismo.
- ✓ **Elementos en riesgo (E):** Comprende la población, los edificios y obras ingenieriles, las actividades económicas, la infraestructura y las instalaciones para el servicio público o privado ubicadas en el área potencialmente afectada por los deslizamientos.
- ✓ **Vulnerabilidad (V):** El grado de pérdida de un elemento dado o de un conjunto de elementos dentro del área afectada por el (los) deslizamiento(s). Se expresa en una escala de 0 (ninguna pérdida) a 1 (pérdida total). Para el caso de una propiedad, la pérdida será el valor de la propiedad; para personas, será la probabilidad de que una vida en particular (el elemento en riesgo) sea perdida, dada(s) la(s) persona(s) que sean afectadas por el deslizamiento.
- ✓ **Probabilidad (P):** La posibilidad de un resultado específico medido como el cociente de ese resultado específico, entre el número total posible de resultados. Se expresa como un número entre 0 y 1, correspondiendo el cero a la imposibilidad de ocurrencia, y el uno a la certeza.
- ✓ **Análisis del riesgo:** El uso de la información disponible para estimar el riesgo a individuos, poblaciones, propiedades, o medio ambiente, debido a cierta amenaza. Los análisis de riesgo generalmente comprenden las tres etapas siguientes: identificación del peligro, identificación de la amenaza, y estimación del riesgo.
- ✓ **Estimación del riesgo:** El proceso usado para producir una medida del nivel de riesgo siendo analizado en relación a la salud, propiedad y el medio ambiente. La estimación del riesgo comprende las etapas siguientes: análisis de frecuencias, análisis de consecuencias, y su integración.
- ✓ **Valoración del riesgo:** La etapa en la que las valoraciones y los juicios entran en el proceso de decisiones, explícita o implícitamente, incluyendo consideraciones acerca de la importancia de los riesgos estimados y de las consecuencias asociadas de tipo social, ambiental y económica, a fin de identificar un rango de alternativas para el manejo de los riesgos.
- ✓ **Manejo de riesgos:** El proceso completo de valoración del riesgo y control del riesgo.
- ✓ **Control del riesgo:** El proceso de toma de decisiones para administrar el riesgo, y la implementación y puesta en ejecución, así como la re-evaluación de su efectividad de tiempo en tiempo, usando los resultados de la estimación del riesgo como una entrada.
- ✓ **Riesgo aceptable:** Un riesgo para el cual, para los fines de vida o trabajo, estamos preparados para aceptar sin preocupación acerca de su manejo. La sociedad generalmente no considera justificado gastar más en reducir tales riesgos.
- ✓ **Riesgo tolerable:** Un riesgo que la sociedad está dispuesta a vivir con él, a fin de asegurar ciertos beneficios netos, en la confianza de que está siendo controlado

adecuadamente, mantenido bajo revisión. En algunas situaciones el riesgo puede ser tolerado en virtud de que los individuos en riesgo no puedan franquearlo, aun cuando ellos reconozcan que no sea controlado propiamente.

- ✓ **Riesgo individual:** El riesgo de fatalidad y/o de sufrir heridas de cualquier individuo identificable, quien vive dentro de la zona expuesta al deslizamiento, o quien sigue un patrón particular de vida que podría estar expuesto a las consecuencias del deslizamiento.
- ✓ **Riesgo social:** El riesgo a la sociedad como un todo: uno donde la sociedad tendría que soportar la carga de un accidente de deslizamiento, causando un número de muertes y heridos, y pérdidas económicas o ambientales.
- ✓ **Ladera segura:** Una ladera que es suficientemente estable como para no imponer riesgos inaceptables al público por su presencia.
- ✓ **Riesgo total (R_t):** El número esperado de pérdida de vidas, personas lesionadas, daños a la propiedad y perturbación a la actividad económica. Es el producto de un riesgo específico (R_s) y elementos en riesgo (E), sobre todos los deslizamientos y deslizamientos potenciales en el área de estudio.

Con la finalidad de hacer más fácil la definición y la identificación de los términos utilizados para describir una ladera y los rasgos que distinguen a un deslizamiento, se hará referencia a la figura 5.2, que se presenta a continuación:

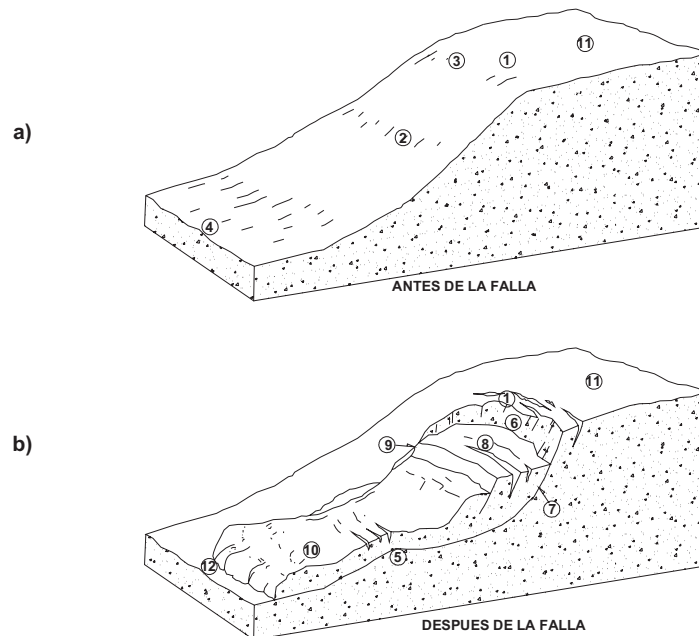


Figura 5.2 Definición de las características y partes que componen a) una ladera y b) eventualmente un deslizamiento. Véase nomenclatura en el cuadro siguiente.

NOMENCLATURA DE LA FIGURA 5.2

1. **Corona:** El material que aún permanece en su lugar, prácticamente no desplazado y adyacente a las partes más altas de la escarpa principal.
2. **Superficie original del terreno:** Es la superficie inclinada o talud de una ladera antes de que ocurra el movimiento o deslizamiento.
3. **Hombro:** Es la zona que se encuentra en la transición de la superficie inclinada o talud de una ladera y la corona.
4. **Pie de la ladera:** Parte más baja de la ladera.
5. **Pie de la superficie de falla:** La línea de intersección (en ocasiones cubierta) entre la parte inferior de la superficie de falla y la superficie original del terreno.
6. **Escarpa principal de falla:** Es el escalón o superficie abrupta localizada en la parte superior de la ladera y contigua a la corona; resulta del movimiento del talud pendiente abajo y forma parte de la superficie de falla.
7. **Superficie de falla o de ruptura:** Zona o lugar geométrico donde se rompe o pierde el equilibrio de una porción de los materiales que componen una ladera y se deslizan ladera abajo por la acción de la gravedad, separándose de la ladera remanente.
8. **Cuerpo principal:** Aquella parte del material desplazado sobre la superficie de ruptura; en ocasiones ese material permanece sobre la superficie de deslizamiento (falla contenida), pero otras veces se “vacía” totalmente, dando como resultado los flujos.
9. **Flanco:** El costado de un deslizamiento de tierras. Se indica derecho o izquierdo, refiriéndose al deslizamiento observado desde la corona.
10. **Zona de acumulación o base:** El área dentro de la cual el material desplazado queda encima de la superficie original del terreno; esto es el área cubierta por el material fallado, abajo del pie de la superficie de falla.
11. **Plataforma:** Porción superior del talud más allá de la corona.
12. **Punta o uña:** El punto de la base del deslizamiento que se encuentra más distante de la corona.

Adicionalmente, se ha considerado conveniente incluir un glosario breve con algunos términos geotécnicos empleados en este capítulo, a fin de facilitar su comprensión.

Cavidades kársticas. Son huecos o cavernas que se generan en los mantos de rocas calizas por la disolución de la roca al entrar en contacto con aguas que contienen dióxido de carbono.

Echado y rumbo. Véase la fig. 5.8

Estereoscopio. Instrumento óptico en el cual dos imágenes planas, como las de fotografías aéreas, sobrepuestas una a otra por la visión binocular, dan la sensación tridimensional del relieve.

Ingeniería geotécnica. Se encarga de la aplicación de métodos científicos y principios ingenieriles a la adquisición, interpretación y uso del conocimiento de los materiales de la corteza terrestre, a la solución de problemas de ingeniería civil.

Planos de discontinuidad. Superficies en una formación rocosa en donde se rompe la continuidad, tales como grietas, fisuras, juntas, y diaclasas (grietas sensiblemente verticales que delimitan formaciones rocosas de basaltos columnares).

Presión de poro. Presión en el agua que ocupa los poros o vacíos de un suelo.

Suelos alterados o residuales. Suelos no transportados producto de la descomposición química (meteorización) de las rocas, debida a las condiciones climáticas.

5.3 FACTORES QUE DETERMINAN LA INESTABILIDAD DE LADERAS

En términos generales se puede decir que los factores que propician los problemas de deslizamientos o de inestabilidad de laderas se dividen en internos y externos; y tienen que ver directa o indirectamente con los esfuerzos cortantes actuantes y resistentes que se desarrollan en la potencial superficie de falla o de deslizamiento. En no pocas ocasiones dichos factores se combinan, resultando difícil distinguir la influencia de cada uno de ellos durante la falla de una ladera. Los cambios en el ambiente y las perturbaciones al entorno natural por actividades humanas, son causas que también pueden desencadenar los deslizamientos de laderas.

En la medida que se conozca y se entienda cómo afectan estos factores la estabilidad o inestabilidad de una ladera, se tendrán más elementos para distinguirlos en campo, evaluar el grado o la magnitud de la amenaza, tomar medidas de prevención o de evacuación si fuera necesario y, de ser posible, prevenir su falla mediante la aplicación de métodos de estabilización. Debido a que existen casos en los que es difícil distinguir cómo dichos factores afectan la estabilidad de una ladera, resulta conveniente estudiarlos por separado. A continuación se presenta una descripción de los principales factores internos y externos que afectan la estabilidad de laderas. Antes, se considera pertinente definir el concepto de factor de seguridad de una ladera.

5.3.1 Factor de seguridad

El factor de seguridad (FS) de una ladera, usualmente se expresa desde el enfoque clásico de un análisis de estabilidad global, como el cociente mínimo entre la resistencia media al esfuerzo cortante (τ_f), y el esfuerzo cortante medio que actúa en la potencial superficie de falla (τ); este esfuerzo actuante lo induce principalmente el peso del material adyacente al talud. Si se considera la existencia de una ladera, se debe asumir que $\tau_f > \tau$, y que por tanto el cociente FS es mayor que la unidad. La condición de falla inminente en una ladera se presenta cuando se cumple $\tau_f = \tau$, y por tanto $FS = 1$. Para que ello ocurra, el esfuerzo cortante medio actuante debe aumentar y/o la resistencia media al esfuerzo cortante del suelo debe disminuir, como se puede ver en la tabla 5.1. Los factores externos e internos a la ladera determinan los cambios que pueden sufrir estas dos variables (τ_f y τ) debido a fenómenos naturales o artificiales. Entre los primeros, que inciden directamente en el valor de τ , se pueden considerar las posibles cargas externas aplicadas, la modificación de la pendiente o de la altura de la ladera, etc. Por otro lado, entre los segundos se pueden englobar los mecanismos que provocan una reducción de la resistencia cortante, τ_f ; tales como el intemperismo y la erosión, que generan disgregación y descomposición de materiales. Sin embargo, el mecanismo más simple y rápido para modificar la resistencia es la generación de presión de poro (presión en el agua que ocupa los intersticios del suelo o las grietas de formaciones rocosas); ello ocurre cuando el agua se acumula en el material térreo de la ladera, tal como se explica en la sección 5.3.2.3.

Tabla 5.1 Definición del factor de seguridad de una ladera

Factor de seguridad	Ladera estable	Falla
$FS = \frac{\tau_f}{\tau}$	$FS > 1$ ($\tau_f > \tau$)	$FS = 1$ ($\tau_f = \tau$)

5.3.2 Factores internos

Los factores internos están directamente relacionados con el origen y las propiedades de los suelos que componen la ladera, así como por su distribución espacial y, de manera muy particular, por la presencia de agua, la que por la presión que ejerce dentro de la masa de suelo, provoca la disminución de su resistencia al esfuerzo cortante. El agua, ya sea por lluvias o cualquier otra fuente, es la principal causa que provoca una disminución de la resistencia de los suelos en la potencial superficie de falla.

5.3.2.1 Propiedades de los suelos y rocas

Las características de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos y de las rocas que forman las laderas son variables que dependen principalmente de las condiciones geológicas y climáticas de una región, y varían en el espacio y en el tiempo. La resistencia al esfuerzo cortante de los suelos puede ser determinada mediante pruebas de campo o de laboratorio. Las fuerzas actuantes por peso propio y por cargas aplicadas se determinan con suficiente precisión a partir de sus condiciones geométricas y de pesos volumétricos. Con ello, es posible realizar el análisis cuantitativo de estabilidad en el que se determina un factor de seguridad global para cada caso.

Las debilidades inherentes en las rocas y en los suelos frecuentemente se combinan con uno o más eventos desestabilizadores (factores externos), tales como lluvias intensas, cambios en el nivel del agua dentro del terreno, actividad sísmica o actividad volcánica. La lluvia, por ejemplo, produce un aumento en la saturación del terreno y en el aumento del peso del suelo; y de manera más trascendente, en la elevación del nivel del agua, lo que se traduce en el incremento de su presión.

Las heladas y las bajas temperaturas constituyen otro factor de degradación y alteración que gradualmente reducen la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos y de las rocas. La formación de láminas o lentes de hielo dentro de la masa del suelo pueden generar empujes horizontales y un aumento de presión de poro durante el deshielo. Así mismo, la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos se puede ver reducida por la formación de grietas y fisuras que facilitan el ingreso de agua. Otras fuentes de ingreso de agua hacia las laderas las constituyen las fugas en los sistemas de drenaje y de distribución de agua de zonas urbanas que se desarrollan en áreas aledañas a las laderas.

5.3.2.2 Estratigrafía y estructuras geológicas

En la literatura existen varios casos documentados sobre deslizamientos que han sido favorecidos por las condiciones estratigráficas y geológicas de los materiales que constituyen las laderas. Los planos de estratificación, las discontinuidades o las zonas de contacto de estructuras geológicas, se convierten con frecuencia en potenciales superficies de falla de una ladera, principalmente cuando los planos de estratificación y las zonas de contacto adquieren pendientes inclinadas o francamente paralelas a la superficie de los taludes o laderas naturales.

En el territorio mexicano existen amplias zonas con materiales que deben su génesis a explosiones volcánicas ocurridas en tiempos geológicos relativamente recientes (miles de años), donde los materiales expulsados se han depositado en estado muy suelto con pendientes o echados paralelos a los taludes entonces existentes, atendiendo a la geomorfología que guardaban las laderas en sus etapas tempranas. Ello ha propiciado que los materiales sean especialmente susceptibles a deslizarse ante perturbaciones externas como las lluvias o los sismos.

Otros casos de inestabilidad de laderas asociados a planos de estratificación o contactos geológicos proclives a los deslizamientos, se presentan en depósitos de origen sedimentario que han sido plegados por esfuerzos tectónicos de la corteza terrestre. Ello ha dado como resultado la formación de montañas y cerros constituidos por materiales estratificados, cuyos planos de estratificación deformados son proclives a los deslizamientos, volviéndose la mayoría de las veces, en francas superficies de falla.

5.3.2.3 Mecanismo de falla por aumento de la presión del agua

En cada ladera ocurren fluctuaciones en los niveles del agua del terreno, de acuerdo con las variaciones estacionales y cambios climáticos a los que año con año está expuesta. Así, en la temporada de sequía el suelo se mantiene parcialmente saturado, generándose incluso tensión o presión negativa en el agua, lo que define temporalmente una resistencia cortante relativamente alta del material. Al ocurrir precipitaciones intensas y prolongadas esa succión se pierde e incluso se genera una presión positiva en el agua (también conocida como presión de poro); en la figura 5.3a se esquematiza el aumento del tirante de agua dentro del suelo de la ladera (niveles 0, 1, 2 y 3), que es lo que sucedería internamente ante lluvias intensas. El aumento de presión de poro (u) en la superficie potencial de falla va en detrimento de la resistencia del suelo, atendiendo al principio de los esfuerzos efectivos; en efecto, cuando la presión de poro aumenta (por la elevación del nivel de aguas freáticas, NAF), el nivel de esfuerzos efectivos (σ') disminuye, y consecuentemente también se reduce la resistencia efectiva del suelo, dada su naturaleza friccionante; en la figura 5.3b aparece la trayectoria de esfuerzos efectivos al aumentar la presión de poro, hasta tocar la envolvente de resistencia.

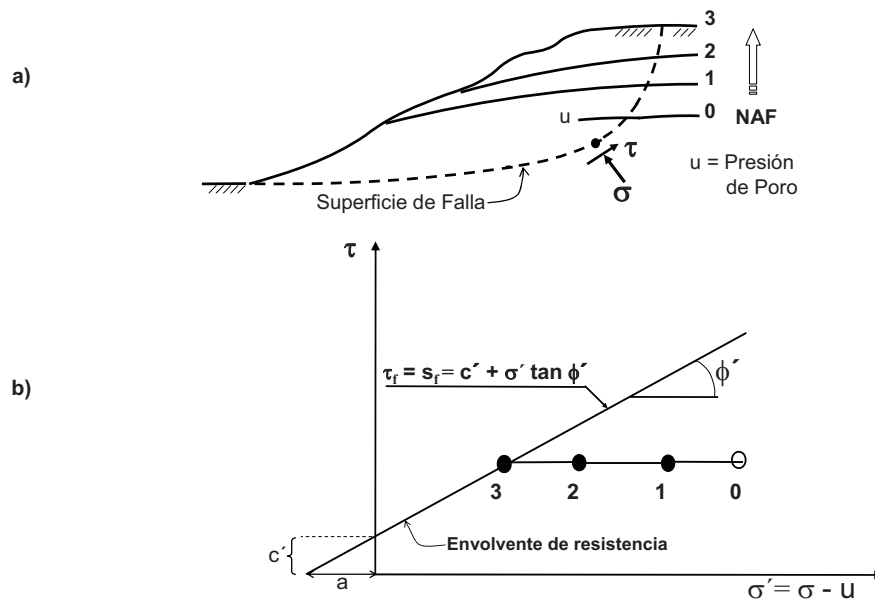


Figura 5.3 Efectos de la presión del agua sobre la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, atendiendo al nivel que alcanza dentro de la ladera

Lo antes expuesto resulta el único mecanismo en zonas no pobladas. Sin embargo, en centros urbanos o rurales desarrollados en los alrededores de una ladera, a las lluvias debe agregarse la muy frecuente ocurrencia de fugas de agua en los servicios de alcantarillado y suministro de agua potable. Los volúmenes escapados de agua generan a fin de cuentas, presiones de poro en los intersticios de los suelos de la ladera, equivalentes a las que induce el agua de lluvia; y por lo tanto, disminuyen la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos en forma similar.

5.3.3 Factores externos

Los factores externos que propician la inestabilidad de laderas son aquellos sistemas ajenos a la ladera que perturban su estabilidad; usualmente producen un incremento de los esfuerzos cortantes actuantes, aunque de manera indirecta pueden producir un cambio en la resistencia al esfuerzo cortante del material que compone el talud. Los factores externos pueden ser originados ya sea por fenómenos naturales, tales como las lluvias intensas y prolongadas, los sismos fuertes y la actividad volcánica; o bien por actividades humanas.

5.3.3.1 Lluvias intensas y prolongadas

Uno de los factores externos que más contribuyen a la inestabilidad de laderas es la lluvia; por el efecto que tiene en la saturación del terreno, en el aumento del peso volumétrico del suelo y, de manera más trascendente, en la reducción de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos (por efecto de la presión de poro); asimismo, las corrientes extraordinarias por el pie propician socavación, deslaves y cambios en la geometría de las laderas. En México, la mayoría de los deslizamientos disparados por lluvias intensas y de larga duración se han presentado en laderas constituidas por suelos residuales y depósitos de origen sedimentario o aluvial. Estos deslizamientos han causado cuantiosos daños materiales y han cobrado cientos de vidas humanas, especialmente en los estados de Baja California, Chiapas, Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Veracruz.

En la literatura existen casos documentados que relacionan a la intensidad o la cantidad de lluvia que cae en una zona o región con la ocurrencia de deslizamientos de laderas. Los umbrales de lluvia para los cuales han ocurrido deslizamientos en diferentes partes del mundo, han sido determinados a partir de la necesidad de mitigar los desastres relacionados con este tipo de fenómenos. En Hong Kong, por ejemplo, (uno de los sitios más estudiados del mundo dado su territorio tan sinuoso y lluvioso) han logrado acumular una gran cantidad de información histórica a través de varios años de monitorear la ocurrencia de deslizamientos y su relación con las lluvias; llegando a las siguientes conclusiones (Brand, 1985):

- Los deslizamientos en su gran mayoría son inducidos por lluvias cortas y localizadas de intensidad alta, y éstos ocurren prácticamente al mismo tiempo que se presenta el máximo de la lluvia horaria.
- La lluvia antecedente no es un factor mayor en la ocurrencia de deslizamientos, excepto en casos de deslizamientos menores que tienen lugar bajo lluvias de relativamente baja intensidad. En estos casos, sólo la lluvia antecedente de unos cuantos días parece ser significativa.
- Una intensidad de lluvia de aproximadamente 70 mm/hora parece ser el valor de un umbral arriba del cual ocurren los deslizamientos. El número de deslizamientos y la severidad de sus consecuencias aumenta dramáticamente conforme crece la intensidad horaria respecto a este umbral.

- La lluvia de 24 horas generalmente refleja lluvias cortas de intensidad alta, y ésta puede por tanto usarse como un indicador de la probabilidad de deslizamientos. Una lluvia de 24 horas de menos de 100 mm es muy improbable que provoque un deslizamiento mayor.

Los resultados de la correlación lluvia-deslizamientos los han resumido en la figura 5.4. Muestran la frecuencia aproximada de deslizamientos en términos de las lluvias de 24 horas y de una hora. De hecho, esta simple información constituye en gran medida la base del sistema de alertamiento contra deslizamientos que utilizan en Hong Kong, donde se tienen suelos residuales y un clima tropical. Debe enfatizarse sin embargo, que los umbrales de lluvia mencionados, a partir de los cuales se tienen diferentes niveles de riesgo, no son únicos. Los valores presentados son válidos para la región de Hong Kong, donde la media anual es de 2,225 mm, y más del 80% de la lluvia cae de mayo a septiembre; donde las intensidades de lluvia pueden ser tan altas como 50 mm/hora, y donde no son raras las precipitaciones de 200 mm en 24 horas. Es claro que los umbrales mencionados son distintos para otros sitios, con climas y ambientes geológicos diferentes.

Adicionalmente a la ocurrencia de las lluvias existen otras fuentes de aportación de agua al interior de las laderas que provocan inestabilidades. Entre estas fuentes adicionales de aportación de agua se pueden citar a las fugas en los sistemas de drenaje y de distribución de agua potable, el riego de jardines y las fugas de agua de los tanques de almacenamiento que frecuentemente se construyen zonas elevadas como lomas y cerros. Por lo tanto, no es extraño que en algunas zonas del país hayan ocurrido deslizamientos ajenos a las temporadas de lluvias, pero relacionados con la presencia de agua. En la ciudad de Tijuana, por ejemplo, se tienen casos documentados donde se han presentado deslizamientos de laderas que han afectado vías de comunicación y zonas urbanas. En dichos casos, éstos han sido disparados principalmente por las fugas en los sistemas de drenaje y por la utilización de fosas sépticas en laderas constituidas por materiales de origen sedimentario y aluvial, los cuales son muy propensos a disgregarse o desmoronarse en contacto con agua.

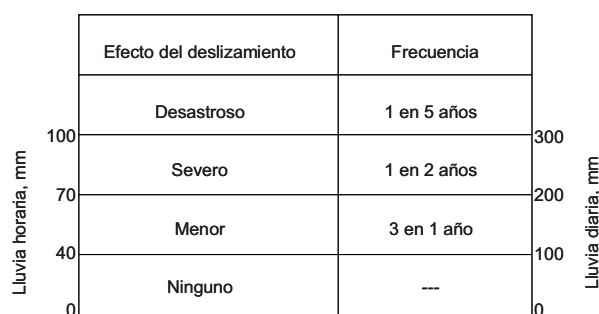


Figura 5.4 *Relación aproximada entre intensidad de lluvia y deslizamientos de laderas en Hong Kong (Brand, 1985)*

5.3.3.1a La lluvia en los análisis de la evaluación del riesgo de deslizamientos

Para tomar en cuenta el efecto de la lluvia en los análisis de evaluación del riesgo de deslizamiento de laderas se requiere, en primer lugar, contar con información confiable sobre la intensidad y la duración de la lluvia que cae en una zona o región, y su relación con los deslizamientos de laderas y el tipo de suelos que las forman. También son importantes los datos sobre ubicación del sitio, altura y pendiente de la ladera, distancia de recorrido y velocidad del deslizamiento, fecha y hora de ocurrencia, límites de afectación, volumen removido y tipo de deslizamiento, así como información sobre los daños directos ocasionados por el deslizamiento (pérdida de vidas humanas y costos económicos).

El análisis de información histórica sobre los registros de lluvias y la ocurrencia de deslizamientos de laderas, en una ciudad o región, así como su correlación con el tipo de materiales que las forman, permitiría identificar los umbrales de lluvia (intensidad y duración) para los cuales se producen deslizamientos en una zona determinada y sus periodos de retorno. La lluvia acumulada en días también es un factor muy importante por conocer, ya que en muchas zonas los deslizamientos ocurren después de que una ladera ha estado sometida a varios días de lluvias, saturando el terreno y creando escurrimientos o flujos superficiales de agua.

5.3.3.1b Fuentes de información: alcances y limitaciones

Aun cuando en México los deslizamientos de laderas en zonas urbanas han ocurrido con cierta frecuencia y desde hace varias décadas, no se cuenta aún con una base de datos que reúna información histórica, documentos o informes con la descripción de tales acontecimientos. En ciertos casos, es muy probable que la información exista pero generalmente se encuentra dispersa en instituciones relacionadas con la atención de estas emergencias. Entre dichas instituciones se pueden citar a la Comisión Nacional del Agua (CNA) y sus filiales en los estados, las oficinas de Comunicaciones y Transportes, los departamentos de bomberos, las unidades estatales y locales de Protección Civil, etc. Otras fuentes muy importantes de información son las organizaciones no gubernamentales, los artículos en revistas o periódicos y las memorias de congresos organizados por sociedades técnicas o colegios de ingenieros.

Uno de los aspectos que más contribuyen a la falta de información es la escasez de instrumentos que permitan medir la intensidad, duración y cantidad de lluvia en las diferentes zonas del territorio nacional, así como la ubicación de comunidades o pequeños centros de población en zonas muy apartadas de las grandes ciudades que generalmente cuentan con estaciones hidrometeorológicas. Idealmente, los registros de lluvia que se deberían tener para correlacionar el efecto de ésta y la ocurrencia de deslizamientos, serían aquellos recabados en las mismas zonas de inestabilidad.

Existen instituciones gubernamentales en México que han realizado grandes esfuerzos para construir mapas regionales de igual intensidad de lluvia (mapas de isoyetas), los cuales son una fuente valiosa para tratar de establecer algunas correlaciones entre la ocurrencia de deslizamientos y la cantidad de lluvia que cae en una región para diferentes periodos de retorno. Obviamente, las mejores fuentes de información sobre la intensidad y la cantidad de lluvia que cae en una zona o localidad son las mediciones directas que se pueden tomar en el sitio con instrumentos diseñados para ello.

5.3.3.1c Discusión de la relación lluvia-deslizamientos

Para determinar los umbrales de lluvia aplicables a una región determinada, se debe contar con información de al menos dos deslizamientos que hayan ocurrido durante el lapso de una lluvia intensa, o durante los días u horas que la tormenta haya permanecido estacionada dentro de la zona por estudiar; con ello es posible asegurar que la lluvia jugó el papel principal para la ocurrencia de dichos deslizamientos. En un estudio realizado en la ciudad de Seattle, EUA, por ejemplo, se han documentado deslizamientos que ocurrieron en intervalos de 72 horas o menos para un mismo frente de lluvia y una misma región. Cabe resaltar que para establecer los umbrales de lluvia acumulada en una zona o región sólo interesan los registros con lluvia continua de los días previos a la ocurrencia de un deslizamiento.

Entre los casos mejor documentados en México se tienen los deslizamientos ocurridos en la Sierra Norte de Puebla, debido a las lluvias intensas que azotaron aquella región los últimos días de septiembre y los primeros de octubre de 1999. En tal ocasión se contabilizaron más de 100

problemas de inestabilidad entre pequeños caídos, derrumbes y francos deslizamientos que afectaron vías de comunicación y cobraron más de cien vidas humanas en zonas urbanas. En esta región se tuvieron deslizamientos prácticamente desde el 30 de septiembre hasta el día 5 de octubre, con intervalos de ocurrencia que oscilaron entre unas horas y menos de 72 horas; concentrándose la mayoría de ellos entre el 3 y el 5 de octubre.

5.3.3.1d Umbrales para los cuales han ocurrido deslizamientos en algunas regiones de México

Caso Teziutlán: El deslizamiento y flujo de suelos y rocas ocurrido el 5 de octubre de 1999 en la colonia “La Aurora” de la ciudad de Teziutlán, Puebla es uno de los pocos casos documentados en México, para el que se cuenta con registro pluviométrico diario y el conocimiento de las características geotécnicas de los materiales (Mendoza y Noriega, 2000). Se trata en general de rocas volcánicas blandas muy intemperizadas, principalmente tobas y brechas con cementación media, que han dado origen a pequeñas capas inestables de suelos residuales no consolidados, los cuales se reblandecen en contacto con agua. El deslizamiento ocurrió en una ladera de apenas 23° de inclinación y coincidió precisamente con el máximo de la precipitación acumulada. Se generó una superficie de falla poco profunda; no obstante, ocurrió un flujo de suelos de aproximadamente 7,500 m³, arrasando las viviendas asentadas en la colina y provocando la muerte de 110 personas, por lo que fue calificado como el desastre del decenio.

Con información proporcionada por la CNA, se conoció que los registros de precipitación diaria en Teziutlán fueron los que se indican en la figura 5.5a. Las lluvias que cayeron los días 4 y 5 de octubre de 1999 alcanzaron columnas de agua equivalentes a 300 y a 360 mm, respectivamente, contrastando con la media mensual para el mes de octubre en esta región que es de 183 mm. Dos días consecutivos de la semana anterior, se tuvieron precipitaciones diarias de más de 100 mm. Se tiene así, como se muestra en la figura 5.5b, que la precipitación acumulada en el lapso de diez días alcanzó poco más de un metro. Esta columna acumulada de agua en diez días casi representó lo que llueve en esta región en un año, ya que la media anual es de 1,229 mm. Sin duda, debe considerarse que estas precipitaciones extraordinarias se ubican entre las más altas de este siglo, aunque los lugareños reseñan que ya habían sucedido lluvias muy intensas en 1995, al igual que hace algunos decenios, con ocurrencia de pequeños deslizamientos de tierras.

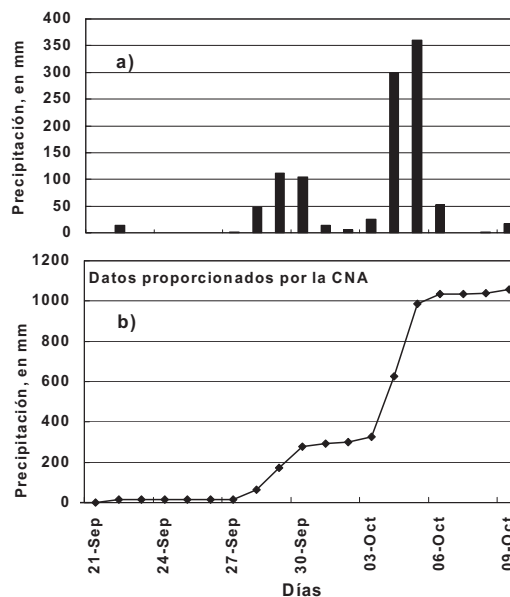


Figura 5.5 Precipitación a) diaria y b) acumulada en Teziutlán, Pue., septiembre-octubre 1999

Caso Tijuana: Otro sitio en el que frecuentemente ocurren deslizamientos es la ciudad de Tijuana, B. C.; donde la mayor de las veces los deslizamientos son disparados por lluvias relativamente fuertes, aunque no son extraños los deslizamientos ocasionados por fugas en los sistemas de drenaje y de abastecimiento de agua potable. En general se trata de laderas de poca pendiente (de 20 a 30°) constituidas principalmente por rocas sedimentarias blandas que se disgregan fácilmente en contacto con agua. Ejemplos de estos deslizamientos son los ocurridos en las colonias México Lindo, Manuel Paredes e Ignacio Ramírez en febrero de 1998; o bien los de la Colonia Defensores de Baja California de abril de 2002.

De acuerdo con un estudio realizado por García y coautores (1999) en la ciudad de Tijuana, donde la lluvia media anual es de sólo 273 mm, los umbrales críticos para que sucedan inestabilidades son: 45 mm/día ó 16 mm/hora cuando el suelo se encuentra seco antes de la lluvia; o bien, de 35 mm/día ó 12 mm/hora cuando el suelo se encuentra saturado o parcialmente saturado antes de la lluvia.

Como se puede observar, estos umbrales son bastante menores a los de Hong Kong y Teziutlán, lo cual se debe principalmente al tipo de materiales que existen en cada zona y, por lo tanto, al diferente efecto que tienen en presencia de agua. Sin embargo, la información aportada da pautas de comportamiento y órdenes de magnitud de los umbrales de lluvia a partir de los cuales ocurren inestabilidades. Por ejemplo, si consideramos los umbrales de intensidad de lluvia (lluvia horaria) para los cuales han ocurrido deslizamientos en Hong Kong, Teziutlán y Tijuana, y los comparamos con sus promedios de lluvia que cae en cada zona durante un año, se tiene que para cada caso los umbrales de intensidad de lluvia para los cuales podrían ocurrir deslizamientos son proporcionales al cociente entre el umbral de lluvia horaria que define inestabilidad de laderas y la precipitación media anual. Para los casos aquí mencionados se encontró que dicho cociente oscila entre 0.03 y 0.04. Obviamente, para cada caso los umbrales de lluvia determinados guardan cierta relación con el tipo de materiales que forman las laderas, y por lo tanto sólo serían aplicables a zonas con los mismos tipos de materiales.

5.3.3.2 Sismos

Los sismos ocupan un lugar muy importante dentro de las causas naturales o factores externos que activan o disparan la inestabilidad de laderas. De acuerdo con una estadística mundial sobre los 25 deslizamientos más catastróficos ocurridos en el Siglo XX (Schuster, 1996), el 36 por ciento de ellos fueron disparados por acciones sísmicas; sólo 4 por ciento por abajo de las lluvias que son el principal factor detonante de inestabilidad de laderas. Ello muestra la gran importancia que representan los sismos como fuente detonadora de deslizamientos. Un ejemplo reciente de este tipo de eventos es el sucedido en la ladera conocida como “Las Colinas” en Santa Tecla, Nueva San Salvador, El Salvador, Centro América (Mendoza y coautores, 2002). El deslizamiento y flujo masivo de lodo arenolimoso fue disparado por el sismo del 13 de enero de 2001, de magnitud $M_w = 7.6$ y distancia epicentral de 100 km, soterrando a una urbanización asentada al pie de la ladera, y provocando la muerte a aproximadamente 500 personas. Las fuerzas inerciales debidas al sismo determinaron esta falla de la ladera. Adicionalmente, los suelos volcánicos de la ladera y pie de naturaleza granular y sueltos, acusaron una reducción de resistencia por la generación de alta presión dinámica en el agua de sus poros. Sin embargo, pudo reconocerse que se había propiciado una condición poco favorable para su estabilidad, por una parte por la obstrucción al libre drenaje en la parte baja de la ladera –lo que condujo a su saturación–; y por la otra, por la deforestación de su cima y plataforma.

Cuando ocurre un evento sísmico se generan fuerzas inerciales dentro de la ladera, las cuales determinan el aumento de los esfuerzos cortantes actuantes en la potencial superficie de

deslizamiento. Una forma simple de visualizar este efecto es a través del esquema que se muestra en la figura 5.6, donde se representan las fuerzas que actúan a favor del deslizamiento y las fuerzas resistentes del subsuelo que se oponen al mismo.

Diversas actividades humanas pueden propiciar la inestabilidad de una ladera al momento de ocurrir un sismo; tal sucede cuando se modifican las condiciones naturales del entorno, por ejemplo el aumento de cargas externas y/o la modificación de su geometría por la realización de obras, cortes y terrazas en el cuerpo de la ladera.

El efecto de las acciones sísmicas da como resultado una fuerza horizontal, a favor del deslizamiento, que equivale a una fracción del peso de la masa potencialmente deslizante, delimitada por la superficie de falla; y que se calcula como el producto de un coeficiente sísmico multiplicado por el peso de la masa potencialmente inestable. Así pues, para que ocurra un deslizamiento durante un sismo, es suficiente que las fuerzas actuantes y resistentes en la potencial superficie de falla se igualen.

Difícilmente puede pensarse en algún sistema de alertamiento dada la ocurrencia casi inmediata de los deslizamientos ocasionados por sismos, a menos que esté a cierta distancia y que no obstante, la impacte. Sólo cabe en los casos en que se distinga como un peligro la presencia de una ladera, en función de la condición de sus materiales y de su geometría, evitar los asentamientos humanos y las obras de infraestructura cerca del pie de la ladera. Deberá mantenerse una distancia prudente libre de edificaciones, o bien, diseñar obras de retención o encauzamiento de los posibles flujos.

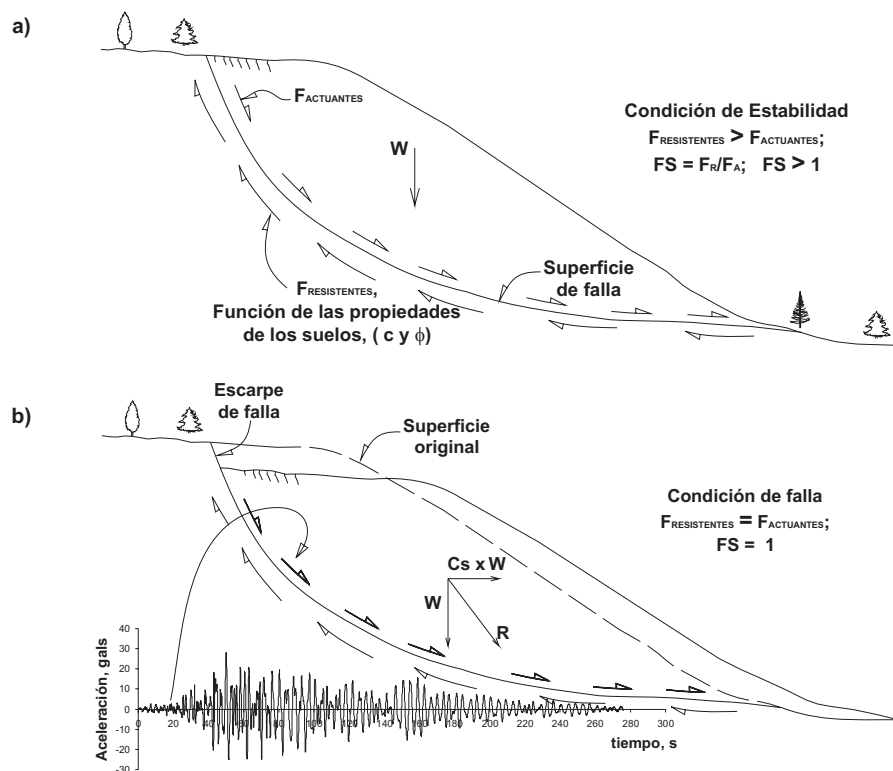


Figura 5.6 Representación esquemática de las fuerzas actuantes y resistentes que se desarrollan en una ladera: a) antes y b) durante un evento sísmico

5.3.3.3 Actividad volcánica

Ante eventos volcánicos debe preverse la posibilidad de flujos o avalanchas de detritos, consistentes en movimientos masivos rápidos de mezclas de suelos y fragmentos de rocas, así como vegetación con aire y agua atrapados, que forman una masa viscosa o francamente fluida que fluye pendiente abajo, y que resulta muy destructiva. También es posible que se desarrolle un lahar, que se origina en el talud de un volcán por el deshielo repentino que provoca la actividad volcánica; o bien, por rotura o desbordamiento de represas de agua.

Un ejemplo dramático de una avalancha de detritos fue la provocada por la erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985, estado de Tolimán en Colombia. Cuatro poblados y villas fueron destruidos; el flujo en el valle del río Lagunillas produjo la muerte de más de 20,000 personas en la ciudad de Armero. Se ha mencionado que esta cifra de fallecimientos fue posiblemente muy grande porque los alertamientos de la amenaza no fueron emitidos a la población; estas experiencias deben conocerse para no caer en situaciones similares ante una emergencia como ésta.

Otro proceso disparado por un volcán fue el deslizamiento de rocas y avalancha de detritos que provocó la erupción del Monte Santa Elena, estado de Washington, EUA en 1980. Ha sido el deslizamiento histórico más grande del mundo (volumen de aproximadamente $2.8 \times 10^9 \text{ m}^3$). A pesar de ese enorme deslizamiento, sólo perdieron la vida entre 5 y 10 personas, gracias a que la población fue alertada y evacuada de la región. Se inició como un deslizamiento de rocas y se convirtió en una avalancha de detritos de 23 km de largo con velocidad media de 125 km/hora.

Estos hechos dejan varias reflexiones; entre ellas, la necesidad de reubicar a los pueblos que se localizan en valles cercanos a volcanes activos, e incluso en cañadas que son claramente los cauces por donde eventualmente fluirían esas avalanchas. Por otra parte, que pueden ser o no catastróficos, dependiendo de si falta o se cuenta, con un monitoreo *ad-hoc* con fines de alertamiento.

5.3.3.4 Cargas sobre la ladera

La aplicación de cargas sobre la ladera, ya sea por la construcción de obras o por la acumulación de materiales, es un factor determinante en los incrementos de los esfuerzos cortantes actuantes en la potencial superficie de falla. El desarrollo de asentamientos humanos en el talud y en la corona de una ladera tiene aspectos negativos en la estabilidad, ya que además del peso que transmiten a la ladera por la construcción de viviendas, se generan otras condiciones proclives a los deslizamientos como son: fugas en drenajes y en los servicios de agua potable, cortes y terrazas para la construcción de obras y acumulación de cargas accidentales producidas por tránsito de vehículos y por la vibración de maquinaria.

La construcción de edificios pesados muy cerca del hombro de una ladera puede llegar a producir un problema de inestabilidad local, que puede convertirse en una amenaza para las construcciones u obras de infraestructura ubicadas talud abajo, con la posibilidad de convertirse en un deslizamiento general de la ladera. En un trabajo realizado por Peck (1967) se mencionan varios casos donde pequeños cambios en las condiciones de estabilidad de antiguos deslizamientos, provocaron un proceso de reactivación de los movimientos y, posteriormente, un deslizamiento general de los materiales.

5.3.4 Causas humanas o antrópicas

Existen actividades humanas que agudizan o francamente causan de manera directa la ocurrencia de deslizamientos. Debe reconocerse un hecho bien establecido: bajo condiciones de altura, pendiente y geomateriales similares, un área urbana es más susceptible a los deslizamientos que un área rural. Tres son los factores globales de origen antrópico que causan deslizamientos en laderas; ellos son los que se detallan a continuación:

- I. Cambios en el régimen de la presión del agua del subsuelo
 - Concentración de infiltraciones por la rotura de drenajes o de los sistemas de abastecimiento de agua
 - Cambio en el régimen de las aguas superficiales
 - Cambio o incluso impedimento de cauces en cañadas
 - Construcción de vasos o tanques de almacenamiento
 - Infiltraciones por fosas sépticas
 - Impermeabilización para la urbanización, lo que reduce la evaporación e infiltración, y aumenta la escorrentía.
- II. Cambio en la topografía de la ladera y la imposición de sobrecargas o sobre presiones
 - Aumento del ángulo del talud por la ejecución de cortes
 - Sobrecargas por la construcción de muros de retención, rellenos, casas y edificios
 - Vibraciones provocadas por maquinaria
 - Explosiones para la explotación de canteras, minas y bancos de material
 - Inyección de morteros cerca del talud.
- III. Deforestación
 - Tala de bosques
 - Agricultura, pastoreo y quema
 - Modificaciones del uso del suelo.

Debe señalarse que los cambios que se impongan a una ladera no necesariamente provocan su inestabilidad, por lo que la construcción de un muro, la colocación de un relleno o la realización de un corte son actividades que bien pueden ejecutarse, siempre y cuando haya una evaluación geotécnica pertinente. De entre los factores antes citados, se enfatiza que la vegetación en el talud de una ladera y en la plataforma más allá de su corona, juega un rol muy importante en su estabilidad. La deforestación disminuye la succión y con ello la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, propicia la infiltración masiva y rápida del agua de lluvia, y elimina la acción benéfica de las raíces.

5.4 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA PARA IDENTIFICAR EL PELIGRO DE DESLIZAMIENTOS

5.4.1 Incertidumbres y enfoque cualitativo de análisis

La evaluación del peligro de deslizamiento de una ladera es típicamente un problema geotécnico, toda vez que la caracterización mecánica del fenómeno es un aspecto para el que la Ingeniería Geotécnica dispone de diferentes técnicas. La cuantificación tradicional del grado de seguridad ante la posible falla de una ladera, se realiza mediante la determinación del factor de

seguridad, FS, descrito en la sección 5.3.1. Se ha señalado que cuando $FS = 1$, la ladera está en una condición de falla inminente; en la medida en que el FS resulta mayor que la unidad, aunque no se conozca de manera explícita, la probabilidad de falla resultará cada vez menor.

Morgenstern (1997) llama la atención sobre el hecho de que los problemas de deslizamientos están dominados por la incertidumbre, tanto en laderas naturales como en taludes artificiales. Las incertidumbres provienen de las diversas etapas en que se afronta el problema, ya que se tienen en la caracterización del sitio y en la determinación de las propiedades de los materiales, así como en el análisis de la estabilidad de la ladera. Insiste en que se han encontrado diversas fallas de laderas que pudieron haberse evitado al recurrir a enfoques orientados a las consideraciones de incertidumbre, y por lo tanto nuevas preguntas se le hacen ahora al ingeniero geotécnico, las que se abordarán en la sección 5.6, que con el sólo factor de seguridad no se pueden responder.

Dada esta perspectiva, es claro que con mayor frecuencia se tendrá que recurrir en el futuro mediano a métodos probabilísticos, no sólo para evaluar el riesgo y la amenaza de deslizamientos, sino incluso el peligro; esto es, el análisis probabilístico del factor de seguridad. Debe advertirse que los procedimientos para la cuantificación del FS requieren de medios e información que usualmente no se disponen; en particular, se necesitan conocer los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos o rocas que constituyen la ladera por evaluar. Así mismo, es menester estimar o medir la presión del agua del subsuelo. Los parámetros mencionados se determinan experimentalmente en un laboratorio de Mecánica de Suelos, para lo que se requieren muestras representativas e inalteradas de los materiales.

En la mayoría de los casos no se cuenta con los recursos humanos y materiales, ni el tiempo para llevar a cabo la cuantificación expresa del factor de seguridad, por lo que en primera instancia sólo se opta por una estimación de alcance cualitativo acerca del peligro de deslizamiento que podría representar una ladera. Las consideraciones que al respecto se deben adoptar se tratan en el resto de esta sección, poniendo énfasis en el reconocimiento e investigación de las condiciones geotécnicas y geomorfológicas del sitio de interés.

De acuerdo con experiencias en el tema de la evaluación del riesgo por inestabilidad de laderas que se practican en otros sitios del mundo como Japón, Hong Kong y Estados Unidos de América, la identificación de los atributos geotécnicos, geológicos y topográficos permite hacer una estimación cualitativa de la amenaza de un deslizamiento. Así, la distinción de los rasgos geotécnicos, geológicos y geomorfológicos que indican la posibilidad de un deslizamiento, pueden agruparse en una tabla o formato de evaluación de campo asignándoles valores numéricos cuya magnitud indique el grado de la amenaza o posibilidad de deslizamiento de una ladera. Para la aplicación de estos procedimientos se agrupan o jerarquizan cada uno de los rubros por evaluar, siendo la suma de todos ellos el valor final que proporcione el grado de la amenaza de un potencial deslizamiento de laderas.

Se llama la atención, sin embargo, que los valores que se asignan a cada rubro tienen un sustento empírico, por lo que se deben ir ajustando regionalmente para involucrar las experiencias que se hayan tenido en el pasado reciente o las que se vayan generando. Esto es, que en cada caso en que se desee utilizar esta metodología, deberá considerarse como uno más dentro del contexto de la información global disponible para esa zona o región. Así, las calificaciones asignadas a los diversos rubros y a los umbrales considerados en los diferentes peligros, deberán revisarse y ajustarse a la luz de las experiencias históricas del comportamiento de las laderas de una región. El desarrollo de metodologías para la evaluación del riesgo de laderas, requiere del estudio y de la documentación de casos historia que sirvan como sustento técnico para generar una base de datos confiable, con la cual se puedan reafirmar y recalibrar las metodologías propuestas.

En la sección 5.5 de este documento se incluye un formato de evaluación que toma en cuenta cada uno de los aspectos que se describen y explican en esta sección. Con este fin, se han propuesto valores que toman en cuenta la importancia o peso relativo que cada uno de los rubros tiene en la inestabilidad de laderas. En cada caso se explican los alcances y las limitaciones de las evaluaciones, a fin de que sean tomadas en cuenta para los casos particulares que se analicen. Por lo antes señalado, los valores asignados son meramente indicativos y no deberán adoptarse sin antes considerar las experiencias de una localidad o región. De aquí que un aspecto muy importante que contribuye a la evaluación del peligro de deslizamiento de laderas en una localidad, región o ciudad, es la investigación de la historia de desastres ocurridos en el pasado y la realización de recorridos de campo para identificar vestigios de antiguos deslizamientos. Debido a que en muchas ocasiones estos reconocimientos requieren de la inspección de áreas extensas es necesario acudir al apoyo de técnicos especializados, y recurrir al uso de fotografías aéreas, mapas topográficos, mapas de localización y cartas geológicas como material de auxilio. Cada uno de estos aspectos se discuten en las siguientes secciones de esta sección.

5.4.2 Investigación de la historia de desastres y reconocimiento de campo

La recopilación de documentos o informes sobre deslizamientos ocurridos en el pasado son de gran ayuda ya que proveen información sobre las causas y consecuencias de los deslizamientos. Con esta información es posible reconstruir la relación entre los factores internos y las posibles causas naturales, o factores externos, que dispararon los deslizamientos. Ello permitirá tomar en cuenta dichos factores para la determinación de posibles áreas de deslizamientos en el futuro. La recopilación de información es valiosa, toda vez que permite la creación de un inventario que puede ser organizado por: localización del fenómeno, fecha de ocurrencia, tipo y extensión del deslizamiento, intensidad de lluvia o magnitud del sismo, etc. La información en hemerotecas, y de manera destacada la que provean de primera mano los habitantes de una localidad, será muy valiosa para la estimación de la amenaza.

Como una fuente y punto inicial de información muy valiosa deben citarse las cartas topográficas y geológicas con escala de 1:50,000 que dispone el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI, de todo el territorio nacional. La sobreposición de esta información proporciona elementos que conjugan los factores internos principales condicionantes de la estabilidad de una ladera; estos son, por una parte las alturas y pendientes de las laderas, y por la otra los geomateriales que constituyen las laderas, así como las discontinuidades que presentan. Debe sin embargo considerarse que la descripción geológica no es suficiente, por lo que más adelante se presentan algunas ideas de los atributos geotécnicos que deben investigarse.

El uso de planos topográficos recientes permite observar la forma de la superficie del terreno identificando los accidentes topográficos, o posibles movimientos de tierra ocasionados por acciones humanas o por causas naturales. De esta manera es posible identificar los aspectos geomorfológicos de la zona de estudio y sus condiciones de drenaje, lo cual da una idea del tipo de materiales que se pueden encontrar en el sitio; se recomienda que los mapas topográficos sean de una escala entre 1:2,000 y 1:10,000. Por otra parte, las fotografías aéreas siempre serán valiosas para identificar casi puntualmente la existencia de antiguos deslizamientos y las zonas susceptibles a dicho problema. Por ello será deseable contar con mosaicos de fotografías aéreas, las que vistas con estereoscopia, proporcionan una visión tridimensional con la que pueden juzgarse zonas propensas al deslizamiento. El desarrollo de nuevos asentamientos humanos y los cambios geomorfológicos de una zona son fáciles de identificar con estos medios.

5.4.3 Rasgos geológicos y geomorfológicos que propician inestabilidades

La inestabilidad de laderas en nuestro país ocurre con gran frecuencia en suelos residuales y durante periodos de lluvias intensas. Los suelos residuales son aquellos materiales producto de la descomposición química de las rocas, resultado del intemperismo provocado por el clima; se trata de geomateriales no transportados, disgregables o de consistencia blanda que se mantienen en el mismo sitio en que fueron modificados a partir de la roca original. Con frecuencia exhiben incluso la misma apariencia que la roca original. Amplias zonas del territorio nacional están cubiertas con suelos residuales, destacando las localizadas en la vertiente del Golfo de México y en las porciones sureste y sur de la vertiente del Pacífico; en ellas pueden distinguirse estos suelos de colores rojizos.

El grado de alteración y la extensión a la que la estructura original de la masa de roca se destruye o meteoriza varía con la profundidad. Se da lugar así a perfiles de alteración que comprenden materiales con propiedades mecánicas muy diferentes, fig. 5.7, desde aquéllas propias de la roca franca que se encuentra a profundidad, hasta las de suelo completamente intemperizado o alterado, o simplemente residual, que se observa en la superficie del terreno. No es de extrañarse entonces, que con frecuencia las superficies de deslizamiento en materiales residuales se ubiquen relativamente cerca y paralelas a la superficie del terreno, como ocurrió en el deslizamiento de Teziutlán, Puebla.

Las características principales de los materiales residuales son: a) usualmente muy heterogéneos, lo que los hace difíciles de muestrear y ensayar; b) se encuentran casi siempre en una condición no saturada, esto es que sus poros contienen no sólo agua sino también aire; y c) invariablemente tienen altas permeabilidades, lo que determina que sus propiedades sean particularmente sensibles y de una respuesta muy rápida a las influencias hidráulicas externas. Sin embargo, debe advertirse que los deslizamientos no sólo ocurren en suelos residuales, sino que incluso suceden en formaciones rocosas, como resultado de una variedad de causas, por lo que en el campo deberán distinguirse las características indicadas en la tabla 5.2, que son síntomas de inestabilidad de laderas.

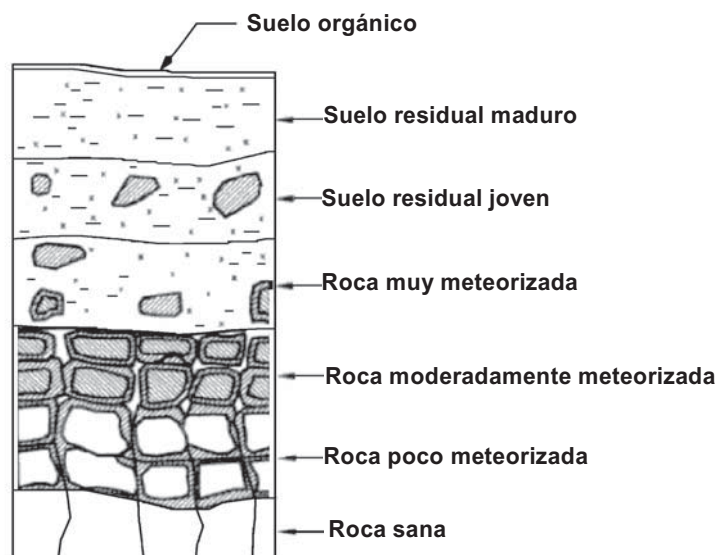


Figura 5.7 Perfil de alteración de un suelo residual y de la roca basal

Tabla 5.2 Identificación de rasgos característicos que indican la posibilidad de un deslizamiento

Rasgos característicos	Interpretación
Salientes, hendiduras y agrietamientos en la parte alta (corona) de una ladera.	Son causados por deslizamientos previos, o son signo de deslizamientos futuros.
Taludes con una superficie empinada o irregular.	Atestiguan los remanentes de depósitos de un deslizamiento ocurrido en el pasado; éstos tienen un potencial alto para convertirse en un flujo o avalancha.
Depresiones en cualquier zona de una ladera.	Generalmente están cubiertas por acumulaciones de suelos colectando agua superficial. En la corona de una ladera, las depresiones dibujan el contorno de una posible escarpa de falla.
Taludes con filtraciones de agua.	Éstas pueden estar influenciadas por agua proveniente del interior de la ladera, incluso resultado de fenómenos tales como tubificación y erosión interna.
Taludes con bloques rocosos o muchos cantos rodados.	Ante pendientes fuertes y con echados favorables, tienen un alto potencial para generar caídos de roca.
Presencia o ausencia de vegetación.	Los cambios bruscos de vegetación pueden estar asociados a la presencia o ausencia de agua en la ladera, la que influye en las propiedades mecánicas del terreno; o bien, una discontinuidad tal como una grieta o falla que favorezca una inestabilidad.
La inclinación de árboles o cercas (en el sentido del movimiento) ubicadas en el cuerpo de una ladera.	Indican un movimiento pendiente abajo de un espesor de materiales propensos a la falla; usualmente estos movimientos son lentos.
Agrietamientos en banquetas, muros y pisos de zonas urbanas desarrolladas en cañadas, cerros o montañas.	Indican el movimiento y la posibilidad de falla de una ladera, la cual puede ser acelerada por las fugas en los sistemas de drenaje y de abastecimiento de agua.

5.4.4 Reconocimiento de campo

Los reconocimientos de campo consisten en verificar o modificar la información recopilada en los análisis de gabinete, identificar la ubicación de nuevos sitios con problemas de inestabilidad, verificar la magnitud del problema, identificar los estudios de campo por realizar de acuerdo con el tipo de materiales, y establecer los sitios donde se realizarán dichos estudios. Así mismo, se busca identificar los tipos de suelos y rocas de la zona, las estructuras geológicas de la región, los planos de discontinuidades o contacto y sus echados, la disposición estratigráfica de materiales, el grado de alteración de los suelos y rocas, y detectar la presencia de flujos de agua en cualquier parte de la ladera.

Hay dos componentes principales en la investigación geotécnica de una ladera; éstos son los estudios de su superficie y los del subsuelo. Los reconocimientos superficiales deben constituir la primera fase de las investigaciones del sitio; los estudios del subsuelo deberán planearse, de ser necesarios, sólo después de concluir esa primera fase; estas tareas las llevan a cabo las personas señaladas en la tabla 5.3. El examen de las características superficiales puede separarse en dos etapas: los estudios de gabinete y de campo. Los primeros deberán llevarse a cabo antes de los estudios detallados de campo, pero el ingeniero a cargo deberá visitar el sitio durante la fase inicial de la investigación. La planeación de los estudios de campo deberá basarse en los resultados de los estudios de gabinete, poniendo énfasis en las áreas con problemas potenciales de estabilidad.

Los requerimientos generales para la investigación del sitio con miras a juzgar la estabilidad de una ladera, incluyendo los posibles casos de construcción en la misma, se reúnen en la tabla 5.3, propuesta por las autoridades geotécnicas de Hong Kong (Geotechnical Control Office, 1984). Esta tabla relaciona la altura del talud, su ángulo y la categoría del riesgo del sitio, a las investigaciones geotécnicas necesarias, así como al señalamiento de cuándo es necesario recurrir a la asesoría de un ingeniero especialista. Para juzgar el nivel de riesgo para la vida o riesgo económico que debe considerarse en la tabla 5.3, se reúnen criterios al respecto en las tablas 5.4 y 5.5.

Otros aspectos que son muy importantes de identificar durante los reconocimientos de campo son la localización de rasgos geomorfológicos que indiquen la ocurrencia de antiguos deslizamientos en la zona. Para ello, se deberán observar huecos en forma de concha o de embudo, los cuales indican la ausencia de masas de suelos o rocas, como resultado del “vaciado” de un deslizamiento antiguo. Así mismo, la presencia de escalones, escarpas o hendiduras cerca de la corona de una ladera señalan el probable inicio de un deslizamiento o la reactivación de uno antiguo.

Tabla 5.3 Guía para la investigación geotécnica del sitio

Categoría del riesgo		Calificación de la ladera				Ángulo de la ladera natural en la vecindad del sitio		
Categoría	a). Pérdida de vida	Características	Suelo		Roca	0° a 20°	20° a 40°	Más de 40°
	b). Pérdida económica		Relleno	Corte		Descripción de la investigación del sitio		
Desprestable	a). Ninguna esperada (premisa de no ocupado).	Altura	<7.5 m	<5 m	<7.5 m	Estimación de la geología y topografía del entorno como indicativo de estabilidad. Examen visual del suelo y roca que forman el sitio. <i>Requerimiento A de soporte técnico.</i>	Como para 0° a 20° Reconocimiento geológico y topográfico más detallado. Para las laderas más escarpadas, información sobre parámetros de resistencia del suelo o de las juntas en roca. Reconocimiento de características hidrológicas que afecten el sitio.	Como para 20° a 40°. El área fuera de los confines del sitio será examinada por inestabilidades de suelos, rocas y boleas sobre el sitio.
	b). Mínimo daño estructural. Pérdida de acceso a caminos menores.	Ángulo	< 50°	< 30°			<i>Requerimiento B de soporte técnico.</i>	<i>Requerimiento B de soporte técnico.</i>
Baja	a). Pocos (sólo pocas personas amenazadas).	Altura	<15m	< 10 m	>7.5m	Reconocimiento geológico y topográfico del sitio y área circunvecina. Parámetros de resistencia de suelos y juntas de rocas para cimentaciones y cortes de taludes. Para terraplenes más escarpados de 1:3, parámetros del relleno compactado. Para cortes, información del nivel freático. <i>Requerimiento B de soporte técnico.</i>	Como para 0° a 20°. Reconocimiento de las características hidrológicas que afecten el sitio.	Como para 20° a 40°. Extender fuera de los límites del sitio, para permitir el análisis de los taludes arriba y abajo del sitio.
	b). Daño estructural apreciable. Pérdida de acceso a sólo caminos de acceso.	Ángulo	< 60°	< 30°			<i>Requerimiento B de soporte técnico.</i>	<i>Requerimiento C de soporte técnico.</i>

Continúa

Tabla 5.3 Guía para la investigación geotécnica del sitio

Categoría del riesgo		Calificación de la ladera				Ángulo de la ladera natural en la vecindad del sitio		
Categoría	a). Pérdida de vida	Características	Suelo		Roca	0° a 20°	20° a 40°	Más de 40°
	b). Pérdida económica		Relleno	Corte		Descripción de la investigación del sitio		
Alta	a). Más de unas cuantas.	Altura	> 15 m	>10m	>15m	Reconocimiento geológico y topográfico detallado del sitio y área circunvecina. Parámetros de resistencia de suelos y juntas de rocas para cimentaciones y cortes del talud. Para rellenos, parámetros de resistencia del material compactado. Para cortes información del nivel freático.	Como para 0° a 20°. Reconocimiento de las características hidrológicas que afecten el sitio. Investigación extendida fuera de los límites del sitio, a fin de permitir el análisis de taludes arriba y abajo del sitio.	Como para 20° a 40°. Reconocimiento extendido más ampliamente fuera de los límites del sitio, para permitir el análisis de estabilidad de los taludes arriba y abajo del sitio.
	b). Daño estructural excesivo a casas y edificios habitacionales e instalaciones industriales	Ángulo	> 60°	> 30°	--	Requerimiento B de soporte técnico.	Requerimiento C de soporte técnico.	Requerimiento C de soporte técnico.
NOTAS: - Esta tabla sólo tiene como intención servir como una guía de lo procedente. Cada situación debe de ser sopesada en sus méritos para decidir si son necesarios, o no, los procedimientos de investigación recomendados, o si condiciones peculiares requieren incluso investigaciones o exploraciones más detalladas. - Mientras lo anterior da una indicación de los requerimientos para la investigación geotécnica bajo ciertas condiciones generales, deben consultarse manuales geotécnicos para encontrar la información más precisa acerca de cómo se pueden cumplir los requerimientos anteriores. - Para laderas en las que haya fragmentos rocosos o boleos inestables, los servicios de un ingeniero geotécnico experimentado o ingeniero geólogo serán siempre necesarios. - Las categorías de riesgo deben ser estimadas con referencia tanto a los usos actuales como al potencial desarrollo futuro del área. - La clasificación de la ladera debe basarse ya sea en su altura o ángulo, cualquiera que dé la categoría más alta de riesgo. - Requerimientos para la asesoría de un especialista: - No son necesarios los servicios de un ingeniero geotécnico experimentado o de un ingeniero geólogo. - Los servicios de un ingeniero geotécnico experimentado o de un ingeniero geólogo dependen de la posición relativa del sitio de interés o del sitio por desarrollar. - Los servicios de un ingeniero geotécnico experimentado o de un ingeniero geólogo son esenciales.								

Tabla 5.4 Ejemplos típicos de fallas de laderas en cada categoría de riesgo para la vida

Ejemplo	Riesgo para la vida		
	Despreciable	Bajo	Alto
1. Las fallas afectan parques y áreas de recreación al aire libre poco frecuentadas.	✓		
2. Las fallas afectan caminos con baja densidad de tráfico.	✓		
3. Las fallas afectan bodegas que almacenan productos no peligrosos.	✓		
4. Las fallas afectan espacios abiertos densamente frecuentados (p. ej. áreas recreacionales, plazoleta de una localidad, estacionamientos, etc.).		✓	
5. Las fallas afectan caminos con alta densidad de tráfico.		✓	
6. Las fallas afectan áreas de espera pública (por ej. andenes, paradas de autobuses).		✓	
7. Las fallas afectan edificios ocupados (p. ej. residenciales, educativos, comerciales o industriales).			✓
8. Las fallas afectan edificios que almacenan productos peligrosos.			✓

Tabla 5.5 Ejemplos típicos de fallas de laderas en cada categoría de riesgo económico

Ejemplo	Riesgo económico		
	Despreciable	Bajo	Alto
1. Fallas que afecten terrenos baldíos o sin cultivos.	✓		
2. Fallas que afecten a terrenos de labranza y a caminos locales que no sean de acceso único.	✓		
3. Fallas que afecten estacionamiento de vehículos al aire libre.	✓		
4. Fallas que afecten caminos primarios distribuidores, y que no sean de acceso único.		✓	
5. Fallas que afecten los servicios esenciales, las que podrían causar la pérdida de ese servicio por un período temporal (p. ej. subestaciones eléctricas, plantas para bombeo de agua y gas).		✓	
6. Fallas que afectan caminos troncales rurales o urbanos, de importancia estratégica.			✓
7. Fallas que afecten los servicios esenciales, las que podrían provocar la pérdida de ese servicio por un tiempo prolongado.			✓
8. Fallas que afecten edificios, las que podrían causar daños estructurales excesivos.			✓
Nota: Estos ejemplos son únicamente para guía. Quien o quienes tomen decisiones, deben decidir el grado de riesgo económico y debe balancear el riesgo económico potencial ante el evento de una falla, contra los mayores costos de construcción requeridos para alcanzar un factor de seguridad más alto.			

Es importante enfatizar que la inclinación y la altura de una ladera no son los únicos factores que determinan si una ladera es peligrosa. El tipo de materiales y su grado de alteración juegan roles decisivos en ello. Se conocen casos en los que se pasó por alto lo anterior, juzgándose un peligro mayor en una ladera muy escarpada en rocas suaves poco alteradas, que otra ladera más tendida pero en suelos arcillosos de baja consistencia; esta última falló, y lo antes señalado condujo a decisiones equivocadas.

5.5 CRITERIOS PARA ESTIMAR LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTOS

5.5.1 Un criterio simple para identificar el peligro de deslizamiento

A reserva de abordar la estimación de la amenaza de deslizamiento de manera más formal, se exponen en la tabla 5.6 unos primeros criterios que permiten establecer el grado de peligro al deslizamiento, que podrían ofrecer diversos tipos de laderas. En lo que resta de esta sección, se distinguen con mayor detalle cada uno de los factores que influyen en el problema, asignándoles una calificación relativa a cada uno de ellos.

5.5.2 Proceso para la estimación de la amenaza y del riesgo

En la tarea de estimar el riesgo por deslizamiento y tomar medidas para reducirlo participan dos grupos de personas: los analistas o consultores geotécnicos o geológicos, quienes definen el peligro y la amenaza, y los que toman decisiones (personal de protección civil, dueños, políticos o administradores) quienes implementan las acciones relativas a la administración del riesgo. Con frecuencia se tienen problemas de comunicación entre estos dos grupos, como resultado de su diferente base de conocimientos y profesión, así como por su particular enfoque y perspectiva. Usualmente cada grupo percibe de manera diferente los beneficios potenciales y las responsabilidades dentro de un estudio de riesgos.

Tabla 5.6 Peligro en laderas

Peligro	Tipo de ladera
Muy alto	Laderas con agrietamientos, escarpas o salientes. Suelos muy alterados (véase la fig. 5.7), sueltos y / o saturados. Presencia de discontinuidades desfavorables. Antecedentes de deslizamientos en el área o sitio. Ladera deforestada.
Alto	Laderas que exhiben zonas de falla. Meteorización de moderada a alta. Posee discontinuidades desfavorables, donde han ocurrido deslizamientos. Ladera deforestada.
Moderado	Laderas con algunas zonas de fallas. Formaciones rocosas con alteración y agrietamientos moderados. Sin antecedentes de deslizamientos en el sitio o región.
Bajo	Laderas en formaciones rocosas con alteración de baja a moderada. Planos de discontinuidades pocos favorables al deslizamiento. Ladera sin deforestación. Capa de suelos compactos de poco espesor.
Muy bajo	Laderas en formaciones rocosas no alteradas, poco agrietadas o fisuradas. Sin planos de discontinuidad que favorezcan el deslizamiento. Ladera sin deforestación

Tradicionalmente, la práctica de estimar la amenaza y el riesgo por deslizamientos recae en el grupo de profesionales de ciencias de la tierra, quienes cargan no sólo con su responsabilidad, sino con la de otros, que deberían tomar parte en la toma de decisiones. Tal procedimiento convencional se realiza con los pasos que se enlistan en la tabla 5.7.

Tabla 5.7 Procedimiento para estimar el peligro y el riesgo por deslizamiento, según la UNESCO (Fell, 1994)

Paso	Acción
1	Reconocimiento del peligro (p. ej., hay posibilidad de deslizamientos de ciertos tipos)
2	Estimación de magnitudes (volúmenes)
3	Estimación de las probabilidades de ocurrencia correspondientes
4	Determinación de los elementos en riesgo
5	Estimación de vulnerabilidades
6	Cálculo de riesgos específicos
7	Cálculo del riesgo total
8	Estimación de la aceptabilidad del riesgo
9	Mitigación del riesgo (si es necesario)

Hungr (1997) distingue que existen casos en los que el consultor geotécnico solo, no puede completar el proceso más allá del paso 3, distinguiendo que es necesario el concurso de otras partes; tales casos ocurren para a) estudios de planeación donde los elementos en riesgo son todavía desconocidos; b) casos donde la estimación de la vulnerabilidad de estructuras existentes requiere conocimientos especializados (por ejemplo, tuberías); y c) estudios preliminares, detallados de manera insuficiente como para permitir la estimación cuantitativa del riesgo. Sin embargo, se reconoce que una vez que se ha definido e incluso mapeado la intensidad en el área de estudio, la derivación subsecuente de vulnerabilidades y riesgos requiere poco conocimiento geocientífico especializado. Estos enfoques encuentran cierto paralelismo con la tarea de un sismólogo, cuyo trabajo concluye en gran medida con la predicción de la intensidad de un sismo; los análisis adicionales y subsecuentes de daños potenciales, los realizan otros profesionales.

Con base en estas ideas, Hungr (1997) propone una modificación al procedimiento convencional que se detalló en la tabla 5.7, por el que presenta en la tabla 5.8, el cual incluye dos etapas. De esta manera, la primera etapa que comprende la identificación del peligro y la estimación de la amenaza, es hecha totalmente por un consultor en geociencias, y es su responsabilidad. Tal estimación depende de las condiciones del sitio y de procesos naturales; mismos que se han descrito en las secciones previas, y que son ajenos a la presencia de posibles elementos en riesgo. Como conclusión de estas actividades debería liberarse un reporte que incluiría un mapa de distribución de intensidades potenciales, y una tabla de probabilidades asociadas. En esta guía metodológica se ha adoptado el enfoque de Hungr, presentando entonces en esta sección los elementos necesarios para llevar a cabo los pasos 1 a 6 de la tabla 5.8, que corresponden a la estimación de la amenaza. La descripción de las actividades que implica los pasos 7 a 12 para estimar el riesgo, se aborda en la sección siguiente.

Tabla 5.8 Procedimientos para estimar la amenaza y el riesgo por deslizamiento de laderas, usando el concepto de intensidad de la amenaza, según Hungr (1997)

Etapa 1. Estimación de la amenaza	
Paso	Acción
1	Reconocimiento del peligro (por ejemplo, hay posibilidad de deslizamientos de ciertos tipos)
2	Estimación de magnitudes (volúmenes)
3	Estimación de las probabilidades de ocurrencia correspondientes
4	Estimación de la distribución de la intensidad de la amenaza
5	Estimación de las probabilidades relacionadas con la intensidad
6	Reporte de la estimación de la amenaza
Etapa 2. Estimación del riesgo	
7	Determinación de los elementos en riesgo
8	Estimación de vulnerabilidades
9	Cálculo de riesgos específicos
10	Cálculo del riesgo total
11	Estimación de la aceptabilidad del riesgo
12	Mitigación del riesgo (si es necesario)

5.5.3 Estimación de atributos geotécnicos, topográficos y ambientales

A fin de estimar la amenaza que puede representar el deslizamiento de una ladera, es necesario investigar las condiciones del sitio distinguiendo: a) Los deslizamientos que hayan ocurrido en la zona; b) las peculiaridades topográficas y geomorfológicas; c) las características geotécnicas de los materiales; y d) las condiciones ambientales.

Ya se ha señalado que el análisis tradicional de la estabilidad de una ladera se realiza con la cuantificación del factor de seguridad. Ello exige la determinación de propiedades de resistencia de los suelos o rocas, lo que sólo en contadas ocasiones es posible realizar, ya que la mayoría de las veces que Protección Civil interviene en estos menesteres, es porque se ha iniciado ya la inestabilidad. Usualmente, las condiciones imperantes exigen la toma de decisiones a corto plazo para establecer incluso un posible desalojo, a fin de proteger la vida, salud y patrimonio de las personas; de aquí que se requiera un procedimiento, aunque sencillo, suficientemente sólido y sistemático para fundamentar decisiones.

Así pues, se plantean en la tabla 5.9 de esta guía algunos criterios para asignar calificaciones a los atributos que determinan la estabilidad de una ladera. Se trata de una metodología de naturaleza cualitativa y empírica para juzgar la susceptibilidad al deslizamiento, y con ello la amenaza de deslizamiento en una ladera; es una versión modificada y ampliada de los criterios y calificaciones citados por Suárez (1998). Los valores que aquí se incluyen son meramente indicativos y deberán revisarse caso a caso, ajustándolos dentro de un contexto regional. Se califica así el grado de influencia relativa que los factores citados tienen en la ocurrencia de un deslizamiento, y podrán adoptarse valores intermedios a los señalados. Es claro que la asignación de valores a cada rubro requiere el concurso preferentemente de un ingeniero civil con especialidad en geotecnia.

Tabla 5.9 Formato para la estimación de la amenaza de deslizamiento de laderas

FACTORES TOPOGRÁFICOS E HISTÓRICOS				
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro.	
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas. Niveles dudosos con GPS.	
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200 m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de lugareños.	
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

Continúa

Tabla 5.9 Continuación. Formato para la estimación de la amenaza de deslizamiento de laderas

FACTORES GEOTÉCNICOS					
Factor	Intervalos o categorías		Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipo de suelos o rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.		1.5 a 2.5	Vulnerables a la erosión; o suelos de consistencia blanda.	
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas.		1.2 a 2.0		
	Suelos arcillosos consistentes o areno limosos compactos.		0.5 a 1.0	Multiplicar por 1.3 si está agrietado.	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes.		0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización.	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.).		0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según el grado de meteorización.	
	Espesor de la capa de suelo.	Menos de 5 m	0.5	Revisense cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.	
		5 a 10 m	1.0		
10 a 15 m		1.4			
15 a 20 m		1.8			
Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad.	Menos de 15°	0.3	Considérense planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad. Ver figura 5.8.	
		25 a 35°	0.6		
		Más de 45°	0.9		
	Ángulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación del talud. Ver figura 5.9.	
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
		Más de -10°	1.0		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud.	Más de 30°	0.2	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas.	
		10° a 20°	0.3		
		Menos de 5°	0.5		
FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES					
Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes		0.0	Formas de conchas o de embudo (flujos).	
	Volúmenes moderados		0.5		
	Grandes volúmenes faltantes		1.0		
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana		2.0	Considérense no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima.	
	Cultivos anuales		1.5		
	Vegetación intensa		0.0		
	Vegetación moderada		0.8		
	Área deforestada		2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial		1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	
	Nivel freático inexistente		0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o la plataforma		1.0		
				SUMATORIA	

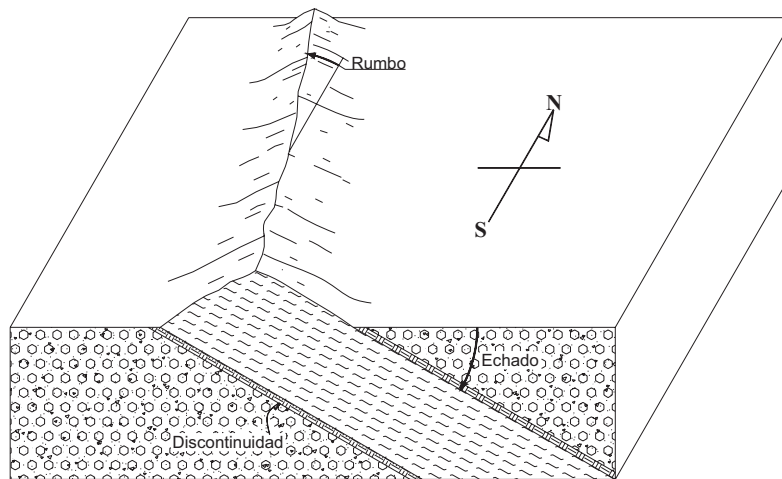


Figura 5.8 Rumbo y echado de una formación geológica

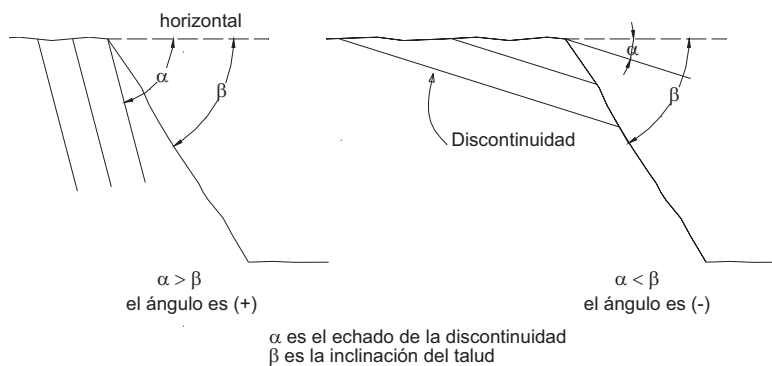


Figura 5.9 Relación entre el echado de discontinuidades y la inclinación de la ladera

5.5.4 Estimación del grado de amenaza de deslizamiento de una ladera

Calificados los diferentes factores que influyen en la estabilidad de una ladera, podrá hacerse su sumatoria, a fin de estimar el grado de la amenaza de deslizamiento que pudiese adjudicársele a una ladera. En la tabla 5.10 se distinguen cinco grados de esa amenaza, desde la muy baja hasta la muy alta.

Esta metodología podría ser la base para la generación del mapeo regional de amenazas, zonificando las áreas del terreno con igual o semejante potencial de inestabilidad, en combinación con un sistema de información geográfica (SIG). Estos mapas de amenaza están fuera del alcance de esta guía. Sin embargo, el procedimiento antes descrito sería prácticamente invariante de la escala en que se aplique; esto es, que tanto se puede aplicar para una ladera específica de cierta dimensión; o bien, a escala de una ciudad, municipio o región, haciendo uso de mapas topográficos y geológicos de un SIG. Atendiendo a la escala correspondiente de planos o mapas topográficos, y tomando en cuenta lo hasta aquí tratado, deberá estimarse el volumen potencial de un deslizamiento, a fin de cumplir con el paso 2 indicado en la tabla 5.10.

Tabla 5.10 Estimación del grado de la amenaza de deslizamiento

Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
5	Amenaza muy alta	Más de 10
4	Amenaza alta	8.5 a 10
3	Amenaza moderada	7 a 8.5
2	Amenaza baja	5 a 7
1	Amenaza muy baja	Menos de 5

5.5.5 Velocidad y distancia de recorrido

Los daños que puede causar una inestabilidad de ladera no se concentran en la zona de falla o separación, sino que en muchas ocasiones éstos se propagan en una zona más amplia pendiente abajo, o incluso pendiente arriba tratándose de deslizamientos retrógrados; por ello, la correcta evaluación de las áreas en riesgo presupone la determinación de esas zonas de impacto o recepción. Debe reconocerse la dificultad para llevar a cabo esta tarea, debido a la complejidad del fenómeno involucrado y por el costo de los estudios sistematizados de las posibles trayectorias y sus escenarios. En efecto, la dificultad estriba en modelar la propagación de grandes masas, puesto que las leyes de su comportamiento varían con el tiempo; pueden cambiar de un comportamiento de un sólido a uno viscoso, entre el inicio y el fin de la propagación.

El estado actual del conocimiento (IUGS, 1997) para el análisis de los mecanismos de distancia de recorrido y velocidad varían considerablemente, dependiendo del tipo de inestabilidad. En un sentido general, pueden establecerse los siguientes hechos:

- Caídos y volcamientos: Se cuenta con métodos relativamente sofisticados, en los que las fases iniciales del movimiento están mejor modeladas que las etapas posteriores.
- Deslizamientos: Los modelos son pobres para después de que se inicia el movimiento. Es deseable poder estimar los movimientos diferenciales y la velocidad de su evolución.
- Flujos: Existen modelos del mecanismo, pero existen serias limitaciones debido a la dificultad de estimar parámetros de entrada, y a que varían las propiedades en diferentes porciones del flujo; por ejemplo, un flujo de detritos puede tener una parte frontal constituida por grandes boleos e incluso árboles, una masa principal de gravas, arenas y limo, y una capa en la base de suelo fino con alto contenido de agua. Las propiedades y el volumen del material se alteran frecuentemente durante el evento.

Es claro que cuanto mayor sea la velocidad de movimiento de un deslizamiento o flujo, su poder destructivo es mayor; en la tabla 5.11 se incluyen valores y términos que se adoptan para denotar la velocidad, y se asocian a su posible destructividad.

Tabla 5.11 Velocidad y destructividad de deslizamientos y flujos

Velocidad	Interpretación de la velocidad	Posible impacto destructivo
	Extremadamente lento	No hay daño a las estructuras construidas con criterios sanos de ingeniería.
0.05 a 0.016 m/año	Muy lento	En general, las estructuras edificadas con criterios ingenieriles no sufren daños; y si ocurren, son reparables.
	Lento	Carreteras y estructuras bien construidas pueden sobrevivir si se les da el mantenimiento adecuado y constante.
1.5 a 13 m/mes	Moderado	Estructuras bien construidas pueden sobrevivir.
1.5 m/día, a 1.8 m/hora	Rápido	Posible escape y evacuación. Construcciones y equipo destruidos.
0.3 a 3 m/s	Muy rápido	Pérdida de algunas vidas. Gran destrucción.
3 a 5 m/s	Extremadamente rápido	Catástrofe de gran magnitud.

En la definición de estas velocidades, juega un papel relevante el monitoreo a través del tiempo, de la magnitud de los movimientos en grietas y otras manifestaciones, principalmente en las etapas tempranas de la inestabilidad. En publicación reciente del CENAPRED (Mendoza y coautores, 2002) se reúnen los elementos y técnicas disponibles para poder llevar a cabo esta tarea.

5.5.6 Intensidad del peligro de deslizamiento

Parece conveniente buscar un tratamiento similar al enfoque que se da a otros peligros naturales como el sísmico. Así, se ha considerado pertinente el enfoque de Hungr (1997), en el que los deslizamientos son caracterizados por su intensidad. La intensidad puede definirse como un conjunto de parámetros cuantitativos o cualitativos distribuidos espacialmente, con los que se puede determinar el potencial que tiene un fenómeno de deslizamiento para causar daños. La intensidad sísmica reúne a un conjunto de parámetros distribuidos espacialmente para descubrir la potencia destructiva de movimientos del terreno. Estos parámetros pueden ser cuantitativos, tal como la aceleración máxima o la velocidad máxima –ver capítulo 3–, o cualitativos como la escala de Mercalli modificada (MM).

Tratándose de la intensidad de un deslizamiento estaríamos refiriéndonos a los parámetros que describen su destructividad. Debe reconocerse que todavía no existe una escala como el de la intensidad sísmica (MM); en ello debe establecerse la dificultad para definir tal escala, en virtud de que los efectos de los movimientos masivos téreos sobre las estructuras e infraestructura, son mucho más diversos que aquellos debidos a los temblores de tierra.

Uno de los parámetros más importantes para definir la intensidad de un deslizamiento, es la velocidad máxima de movimiento. Este dato junto con la estimación de la magnitud o volumen del deslizamiento, la profundidad de la masa en movimiento y el desplazamiento total ofrecen elementos para juzgar la posible destructividad de un deslizamiento.

5.5.7 Análisis de la probabilidad de deslizamientos y de su intensidad

5.5.7.1 Probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento

Como se ha expuesto hasta aquí, la caracterización de deslizamientos potenciales deberá incluir su ubicación, tamaño, mecanismo de deslizamiento, composición, velocidad y distancia de recorrido. Para completar estos datos, es necesario analizar la distribución de probabilidad de deslizamiento, en términos del número y características de los taludes o laderas, y los deslizamientos en el entorno de interés; esto es, P_h [número y características de los deslizamientos]. Para ello, es frecuente separar el análisis, reconociendo por una parte la separación en sí de la masa deslizante; y por otra, su movimiento. Así, puede establecerse una probabilidad condicional tal que, si sucede una separación, un deslizamiento pueda mantenerse como una masa única con cierto movimiento reducido, y una probabilidad de que se convierta en un flujo de detritos que se mueva con cierta velocidad.

La probabilidad de deslizamiento se puede expresar en términos de (IUGS, 1997):

- El número de deslizamientos de una cierta característica que podría ocurrir en el área de estudio, por año,
- la probabilidad de que una ladera en particular experimente deslizamiento en un periodo dado, por ejemplo un año, y
- las fuerzas motoras que exceden las fuerzas resistentes en términos de probabilidad o confiabilidad, sin relacionar el análisis a una frecuencia anual.

Existen diversas maneras de calcular estas probabilidades, las cuales se enumeran enseguida atendiendo a una complejidad y rigor crecientes:

- I) Datos históricos dentro del área de estudio, o incluso adoptando los de otros sitios con condiciones geotécnicas y geomorfológicas similares.
- II) Métodos empíricos basados en correlaciones relativas a sistemas con calificaciones de laderas inestables.
- III) Uso de evidencia geomorfológica (acoplada con datos históricos y juicio).
- IV) Relación a la frecuencia e intensidad del evento desencadenante; por ejemplo, lluvias intensas o sismo.
- V) Estimación directa basada en juicio experto, el cual puede ejecutarse con referencia a un modelo conceptual; como por ejemplo, con la técnica del árbol de eventos (Whitman, 1984).
- VI) Modelado de la variable básica; por ejemplo, las cargas piezométricas o alturas de carga hidráulica versus el evento disparador, en combinación con la geometría de la ladera y la resistencia cortante de los geomateriales.
- VII) Aplicación de métodos probabilísticos formales, tomando en cuenta la incertidumbre en relación con la geometría de la ladera, la resistencia cortante, mecanismo de deslizamiento, y las cargas piezométricas; y
- VIII) Una combinación de los métodos precedentes.

La metodología que se ha presentado en esta guía, resulta de la combinación de procedimientos del I) al IV). Aquí se quisiera ser enfático para señalar que el recurrir a métodos de análisis más rigurosos, no necesariamente conduce a una mayor precisión en la estimación de la probabilidad. Así mismo, como se puntualizó en la sección 5.5.3, frecuentemente la mayor área de incertidumbre es la predicción de la presión de poro en una ladera, y ningún grado de sofisticación en el modelado de la incertidumbre para la resistencia cortante o la geometría puede dar respuestas realistas, a menos que se adopte una pertinente y bien modelada distribución de presiones de poro.

5.5.7.2 Probabilidad de la intensidad de un deslizamiento

Debe reconocerse que la intensidad de la amenaza por deslizamiento tiene usualmente una menor probabilidad de ocurrencia que la del deslizamiento en sí. Si reconocemos a P_i como la probabilidad de que se alcance cierto nivel de intensidad en un sitio y debido a un deslizamiento dado, entonces ésta debe resultar de la multiplicación de la probabilidad de ocurrencia del deslizamiento, P_h , y una función de probabilidad de impacto espacial, P_s ; así resulta:

$$P_i = P_h \times P_s$$

En la figura 5.10 se presenta un ejemplo en el que la función P_s alcanzaría un valor unitario justo al pie de una ladera, ante un evento de caídos de fragmentos de rocas, e iría disminuyendo rápidamente en la medida que el punto de interés se ubique más distante del pie.

Una escala semicuantitativa de las probabilidades de deslizamiento P_h es la empleada en la provincia de Columbia Británica, Canadá, y que se reproduce en la tabla 5.12. Estos límites de clase fueron seleccionados para poseer cierto significado físico.

Tabla 5.12 Escala sugerida de probabilidades para la magnitud o intensidad de un deslizamiento (Hungry, 1997)

Término	Rango de frecuencia (1 / año)	Significado
Muy alta probabilidad	$> 1/20$	El deslizamiento puede ser inminente. Los eventos de deslizamiento ocurrirían con un periodo de retorno de 20 años, o menos, y dejarían signos claros de perturbación relativamente frescos.
Alta	$1/100 \sim 1/20$	Debe esperarse que ocurra un deslizamiento dentro del tiempo de vida de una persona, o de una estructura típica. Son identificables las perturbaciones, pero no parecen recientes.
Media	$1/500 \sim 1/100$	La ocurrencia de un deslizamiento en el término de un tiempo de vida no es probable, pero es posible.
Baja	$1/2500 \sim 1/500$	Una probabilidad anual de $1/2500$ es de significado incierto.
Muy baja	$< 1/2500$	Este límite es comparable a la probabilidad asociada al sismo creíble máximo que se usa para el diseño de presas en Canadá.

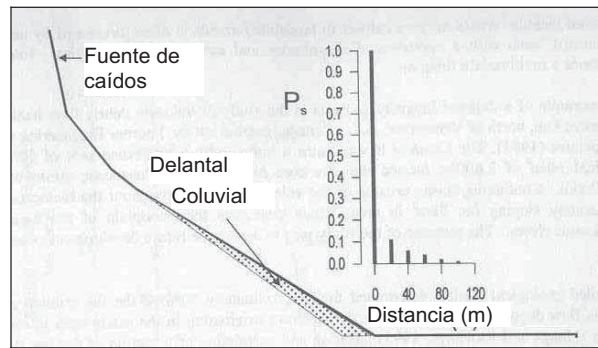


Figura 5.10 Función de probabilidad espacial a lo largo de un perfil de un pie de monte

Los términos incluidos en la tabla 5.12 podrían relacionarse con los términos “frecuente”, “probable”, “ocasional”, “remoto” e “improbable”, correspondientemente. Por otra parte, se estima que a los grados de amenaza establecidos en la tabla 5.10, podrían asignárseles, correspondientemente, las probabilidades señaladas en la tabla 5.12; así, al Grado 1 le correspondería una probabilidad de menos de 1/20, con el significado de que los deslizamientos para el caso analizado al que se le estimó un grado de amenaza 1, ocurrirían con un periodo de retorno de 20 años, o menos.

Como ejemplo del análisis de intensidad de un deslizamiento, se presenta el caso de un flujo de detritos de origen volcánico que ha formado un abanico con pendiente moderada. En la figura 5.11 se presenta una planta en la que se han mapeado zonas con seis niveles de intensidad, acordes a las características definidas en la tabla 5.13. Como ya se señaló, un parámetro muy significativo acerca de la destructividad de un flujo como el evaluado, es su velocidad máxima V ; así está reconocido en esta tabla, distinguiendo también el espesor máximo de depósitos, D , que generaría el flujo. La escala de velocidades es la adaptada por el grupo de trabajo de la IUGS. El valor de la función de probabilidad espacial P_s se cuantificó estimando una anchura del corredor o canal potencial del flujo, dividida entre la total del abanico.

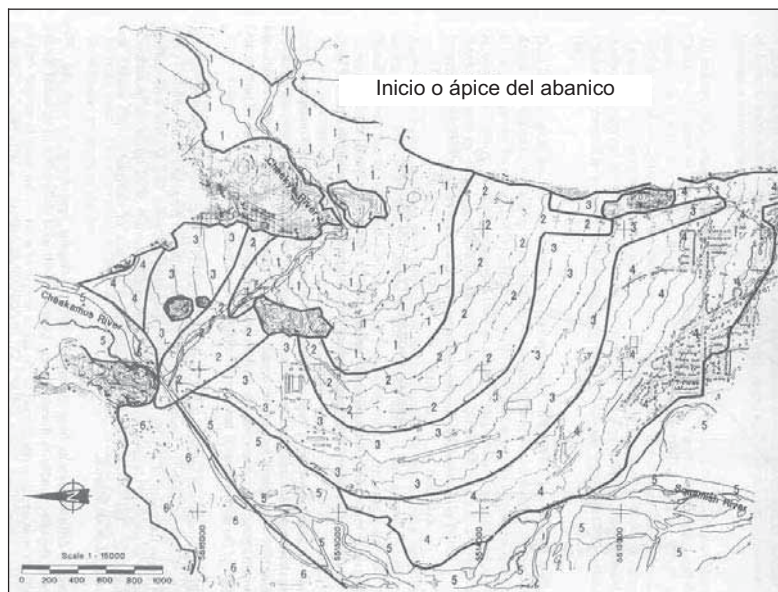


Figura 5.11 Ejemplo de una zonificación de la intensidad de la amenaza Caso: Abanico Cheekye, Columbia Británica (Hungr, 1997)

Tabla 5.13 Distribución de la intensidad de la amenaza para las zonas mostradas en la fig 5.11 del Abanico Cheekye (Hung, 1997)

Zona	Flujo de detritos A	Flujo de detritos B	Flujo de detritos C	Inundación de detritos
	$M = 3 \text{ a } 7 (10)^6 \text{ m}^3$ $P_h = 0.0001 - 0.0004$	$M = 1 \text{ a } 3 (10)^6 \text{ m}^3$ $P_h = 0.0004 - 0.001$	$M = 100,000 \text{ a } 1 (10)^6 \text{ m}^3$ $P_h = 0.001 - 0.02$	$M < 100,000 \text{ m}^3$ $P_h = 0.05 - 0.1$
1	Movimiento sumamente rápido de flujos masivos; deposición profunda; la vegetación y la mayoría de edificios son destruidos, cambió de la topografía. $V = 7 \text{ m/s}$, $D = 5 \text{ m}$, $P_s = 1.0$	Flujo muy rápido y destructivo; depósitos de gran espesor en una parte del recorrido, grandes cambios en el patrón de drenaje. $V = 4 \text{ m/s}$, $D = 4 \text{ m}$, $P_s = 1.0$	Flujo muy rápido destructivos que surgen cerca del canal del río existente; Destrucción parcial en áreas abiertas. $V = 3 \text{ m/s}$, $D = 3 \text{ m}$, $P_s = 0.5$	Deposición de gravas y erosión debido al flujo de inundación en cauces nuevos. $P_s = 0.5$
2	Movimiento muy rápido y destructivo, depósitos de espesor variables; flujo preferencial a lo largo de barrancas, la vegetación y la mayoría de edificios permanecen en pie. $V = 4 \text{ m/s}$, $D = 3.5 \text{ m}$, $P_s = 0.5$	Flujo muy rápido con profundidad moderada, la mayor parte de la vegetación y edificios se mantienen y no son destruidos; alguna destrucción concentrada en áreas abiertas. $V = 3 \text{ m/s}$, $D = 2.5 \text{ m}$, $P_s = 0.23$	Movimiento muy rápido pero relativamente poco profundo en áreas abiertas; depósitos discontinuos moderadamente gruesos; vegetación y edificios son alcanzados por el flujo o son destruidos. $V = 2 \text{ m/s}$, $D = 2 \text{ m}$, $P_s = 0.17$	Flujo difuso (excepto cerca del cauce del río Cheekye); deposición de grava en áreas bajas, erosión. $P_s = 0.17$
3	Flujo muy rápido de profundidad moderada, edificios y vegetación son alcanzados o dañados, depósitos discontinuos en áreas bajas; algunos depósitos trabajados por el agua. $V = 3 \text{ m/s}$, $D = 2 \text{ m}$, $P_s = 0.25$	Flujo muy rápido pero poco profundo, deposición de materiales de poco espesor controlados por detalles topográficos y obstrucciones. Daño estructural menor, erosión en cauces nuevos. $V = 2 \text{ m/s}$, $D = 1 \text{ m}$, $P_s = 0.23$	Daño por inundación; capas delgadas de depósitos de grava; erosión por flujo en cauces nuevos; acumulación de agua en depresiones. Sin daño estructural. $V < 1 \text{ m/s}$, $D = 0.5 \text{ m}$, $P_s = 0.05$	Similar a la zona 2 $P_s = 0.05$
4	Movimientos lentos, depósitos delgados discontinuos de suelos finos, fuertemente controlados por los detalles topográficos. Daño estructural menor; erosión por agua. $V < 1 \text{ m/s}$, $D = 1 \text{ m}$, $P_s = 0.08$	La mayoría el daño es ocasionado por el flujo de agua; depósitos de capas delgadas de gravas; erosión en cauces nuevos; agua y sedimentos se acumulan en depresiones. $V < 1 \text{ m/s}$, $D = 0.5 \text{ m}$, $P_s = 0.04$	Daño menor por inundación (deposición de grava, erosión); agua y sedimentos se acumulan en depresiones. $V < 1 \text{ m/s}$, $D = 0.5 \text{ m}$, $P_s = 0.04$	Daño de inundación menor (deposición de grava, erosión); agua y sedimentos se acumulan en depresiones. $P_s = 0.04$
5	Los flujos inundan algunos sitios de las planicies de inundación; cambio del curso de ríos; posible generación de olas.	Cambio temporal en la confluencia de los ríos. Cambio del flujo del río debido a sobrecarga de sedimentos.	Posible represa pequeña temporal en la confluencia de los ríos. Cambio moderado del flujo del río debido a la sobrecarga de sedimentos.	Erosión de la escarpa marginal del abanico. Incremento de la carga de sedimentos del río.
6	Desbordamiento del río Cheakamus.	Inundación en el río Cheakamus.	Inundación en el río Cheakamus.	Ningún efecto

Notas: M = Magnitud, P_h = Probabilidad anual, V = Velocidad máxima del deslizamiento, D = Espesor máximo de materiales, P_s = Probabilidad espacial.

5.5.8 Influencia de los factores externos en la amenaza global

En el caso de laderas naturales puede asumirse como premisa que son intrínsecamente estables, toda vez que así se han mantenido por muchos años. Sin embargo, por los estudios y experiencias de laderas falladas, se han establecido características y condiciones de suelos y rocas que hacen que ciertas laderas sean más susceptibles que otras a perder esa condición de estabilidad. El que una ladera sea estable o no depende en gran medida de los factores internos que aquí se han

expuesto y que se han pormenorizado y cuantificado relativamente en la tabla 5.9. Cabría finalmente tomar en cuenta la influencia que tienen los factores externos, a fin de definir una amenaza global. Es bien reconocido que los factores externos se convierten en francos disparadores de las inestabilidades, exacerbando precisamente a aquellas laderas más susceptibles y propensas al deslizamiento. Para el caso de las laderas calificadas con grados de amenaza 1 ó 2, puede afirmarse que la probabilidad de la ocurrencia de deslizamiento sería la misma que la del agente perturbador externo, sean lluvias intensas o sismo.

5.5.8.1 Funciones de transferencia

El modelado de la inestabilidad de una ladera debido a un agente agravante o disparador, está basado en el establecimiento de funciones de transferencia, con las ideas que se presentan en la fig. 5.12. La función de transferencia se define como sigue (Leroi, 1997):

$$\text{mov} (X, Y, Z, t) = f [D (X', Y', Z', t - \Delta t)]$$

$\text{mov} (X, Y, Z, t)$	corresponde a un movimiento dado de una intensidad dada, en un punto específico en el espacio, y en una fecha t ;
$D (X', Y', Z', t - \Delta t)$	es el tipo de disparador en la fecha $t - \Delta t$, pero en otro punto en el espacio.
f	es una función de transferencia que describe los cambios en el factor agravante, entre su fuente en el punto $P' (X', Y', Z')$ y el sitio con coordenadas (X, Y, Z) .

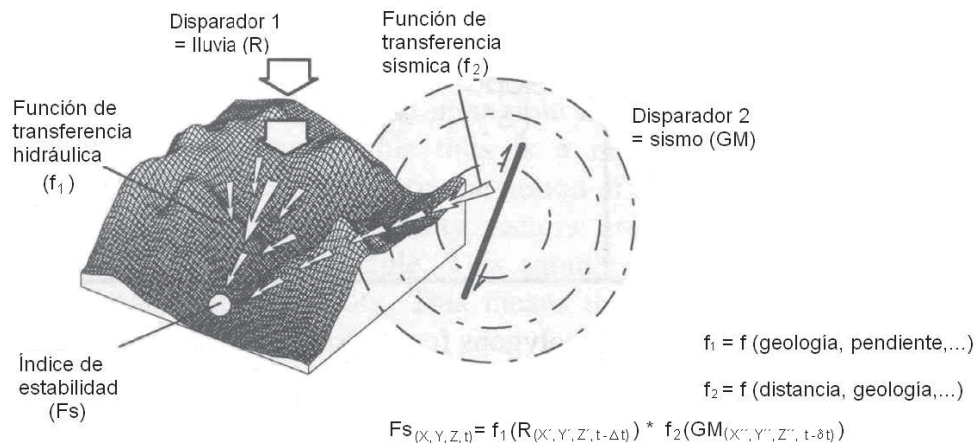


Figura 5.12 Representación de las funciones de transferencia

Existen dos métodos diferentes para definir la función de transferencia para el disparador por lluvias intensas. La primera está basada en el análisis estadístico de la correlación entre los datos de lluvia y todos los movimientos del terreno presuntamente inducidos. El objetivo es no sólo ajustar las correlaciones, sino también identificar cualquier retraso o desfase en el tiempo, entre la fecha de un evento de lluvia dado, y cierto movimiento. Este análisis requiere una serie de datos relativamente grande, así como registros exhaustivos sobre los movimientos del terreno; como se ha reconocido en la sección 5.3, en el país no se cuenta con bases de datos hidrometeorológicos

suficientes, y menos todavía de movimientos de laderas; sin duda, hay necesidad de implementar la adquisición y acopio de esta información. Este análisis de tipo caja negra hace difícil extrapolar sus resultados a otras zonas de estudio.

El segundo método está basado en el modelado determinístico de los modos de circulación y concentración del agua en el suelo, con las condiciones parcialmente saturadas y saturadas de la ladera que impone el régimen climático y las propiedades hidráulicas de los geomateriales. Exige su aplicación el conocimiento espacial detallado de la distribución de presiones en el agua del subsuelo, por lo que su aplicación parece sólo justificarse para casos particulares.

5.6 CONSIDERACIONES PARA ESTIMAR EL RIESGO DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS

5.6.1 Enfoques del análisis del riesgo

En su forma más simple, el análisis cualitativo del riesgo de deslizamiento involucra la adquisición de conocimientos acerca de las amenazas, los elementos en riesgo y la estimación de sus vulnerabilidades; todo ello de manera cualitativa, adjudicando típicamente atributos dentro de ciertos rangos. Este es el alcance de análisis para el que se establecen criterios en esta guía. Cuando se realizan valoraciones más sofisticadas, se aumentan las expresiones cuantitativas de los parámetros de entrada, aun cuando tales números puedan tener una base subjetiva y de criterio, se convierte entonces en una forma cuantitativa de la valoración del riesgo. En los subcapítulos previos se explicaron los criterios para identificar los peligros asociados a laderas, y se presentó una metodología para estimar la amenaza de deslizamientos; en este subcapítulo se exponen las ideas básicas que llevan a estimar el riesgo.

Como ya fue reconocido en la sección 5.5.2, la definición del riesgo y a partir de ahí tomar decisiones para su administración, debe ser una tarea que deben realizar políticos, personal de protección civil, urbanistas, economistas e incluso sociólogos; todo ello, con la asesoría de un ingeniero geotecnista o geólogo. Este análisis del riesgo engloba las tareas o pasos del 7 al 12 que se indican en la tabla 5.8; a fin de mostrar un panorama completo, aquí se exponen sólo algunas consideraciones relativas a estas actividades.

5.6.2 Determinación de los elementos en riesgo

El objetivo es determinar la distribución de la probabilidad para el número, naturaleza y características de los elementos en riesgo (personas, infraestructura, propiedades), que pudiesen ser afectados por la amenaza; esto es, P [características de los elementos en riesgo]. En muchos casos esto simplemente involucrará la determinación del número y naturaleza de los elementos.

Las características relevantes que necesitan tomarse en cuenta son la ubicación del elemento con relación a la amenaza y su tamaño; por ejemplo, si se localiza en la ladera, en su cima, o a cierta distancia del pie. También, si ese elemento tiene una posición fija, por ejemplo una casa; o si es móvil, como podrían ser personas o un tren. Además, es importante conocer si existen algunas medidas de mitigación que pudieran afectar la probabilidad temporal. Lo anterior se ejecuta con base en cuestionarios o levantamientos de campo, tratándose de desarrollos o comunidades existentes; o bien, a partir de los planes de uso de la tierra para desarrollos futuros.

5.6.3 Estimación de vulnerabilidades

El objetivo es estimar la probabilidad de pérdida de vidas y grado de daño dentro de los elementos en riesgo, mismos que caen dentro de la amenaza por el deslizamiento de una ladera; incluye el análisis de las disfunciones que pueden causar en la sociedad. Esta tarea se realiza en dos fases complementarias. Primeramente se definen las interacciones entre el fenómeno y los elementos en riesgo para establecer las funciones de daño; en la segunda, se determinan las perturbaciones que causan tales daños de forma directa o indirecta, y de manera inmediata o pasado algún tiempo. Desde luego, alternativamente al establecimiento de funciones de daño, puede recurrirse más simplemente a un valor único estimado, que puede ser adoptado con base en experiencias y juicios previos.

Para el caso de deslizamiento de laderas, no se han generalizado metodologías para determinar las funciones de daño; la dificultad estriba en que, a diferencia del peligro sísmico que adopta ya sea la velocidad o aceleración máxima como parámetro único, los problemas asociados a deslizamientos están dados en función de varios parámetros. Leroi (1997) distingue que dependiendo de cada tipo de movimiento considerado, el parámetro o los parámetros físicos que definen la vulnerabilidad, son diferentes.

5.6.4 Análisis del riesgo

El objetivo es determinar la distribución de probabilidad por las consecuencias que surjan de la amenaza del deslizamiento de laderas; o sea, P [consecuencias del riesgo]. Existen varias formas de expresar el riesgo. Primordialmente por lo que toca a Protección Civil, sería necesario generar curvas f-N que relacionaran frecuencia versus número de personas fallecidas y lesionadas; o bien, curvas F-N de frecuencia de N o más víctimas. Sin embargo, las consecuencias deberán involucrar también el costo primario (directo e indirecto), impacto ambiental, impacto social e incluso imagen.

El cálculo de riesgo comprende primariamente un tratamiento matemático, basado en la amenaza, los elementos en riesgo y la vulnerabilidad de éstos; para ello, se recurre al álgebra probabilista (como podrían ser árboles de eventos), o bien a métodos de confiabilidad o simulación. La evaluación del riesgo, R involucra la noción de amenaza, vulnerabilidad y costo. “Matemáticamente” se define como:

$$R = \sum_i A_i \times \left(\sum_j V_{ji} \times C_j \right)$$

donde:

A_i es la amenaza i;

V_{ji} es la vulnerabilidad del elemento j expuesto a la amenaza i; y

C_j es el “costo” o valor del elemento j.

5.6.5 Administración del riesgo

La estimación del riesgo debe llevar a determinar la mejor decisión de entre las opciones para mitigar el riesgo, considerando todos los objetivos. Las opciones de decisión deben tamizarse contra los requerimientos, tales como el nivel de riesgo aceptable; y luego revalorarse en términos de las consecuencias que pudieran surgir.

RECAPITULACIÓN

La estimación de la amenaza de deslizamientos en laderas requiere del conocimiento de los factores que contribuyen a su ocurrencia. Estos pueden englobarse en internos y externos, siendo los primeros los relativos a las propiedades de los suelos y rocas que constituyen la ladera, incluyendo sus discontinuidades o planos de debilidad, así como su inclinación y altura. Las lluvias intensas y prolongadas, los sismos, la actividad volcánica, la erosión... y el hombre, son los factores externos o detonadores de caídos, deslizamientos y flujos en laderas.

Las formaciones rocosas muy intemperizadas que por ello se convierten en suelos residuales, son con frecuencia proclives a los deslizamientos y flujos, ante lluvias muy intensas y prolongadas. Se expuso en este capítulo información disponible acerca de los umbrales de lluvia horaria o lluvia diaria, más allá de los cuales ocurren deslizamientos en laderas de México y otros sitios del mundo. Ante sismos intensos, los depósitos volcánicos de suelos granulares, particularmente en condición saturada y suelta, son susceptibles de generar flujos de lodo muy destructivos. La identificación de materiales y la estimación de características geotécnicas juegan un papel relevante en la definición de la amenaza de deslizamiento de laderas. Influyen también los rasgos geomorfológicos, los factores ambientales y los antecedentes regionales de deslizamientos; se describieron aquí las actividades de campo y los criterios para investigar estos aspectos.

Se propuso en este capítulo una metodología para estimar cualitativamente la amenaza de deslizamiento basada en la asignación de valores numéricos a cada uno de los factores influyentes, según sus atributos. Tales factores reúnen aspectos topográficos, geotécnicos, históricos, geomorfológicos y ambientales. En función de la suma total de las calificaciones asignadas, se establecen cinco grados de la amenaza del deslizamiento, que van desde una muy baja hasta una muy alta. Los valores propuestos para calificar los diversos atributos de una ladera deben considerarse sólo indicativos, y deberán revisarse regionalmente para irse adecuando atendiendo a las experiencias de deslizamientos pasados y los que ocurran en el futuro.

Se estima que esta metodología puede ser parte de la que deberá adoptarse para generar mapas regionales de amenazas y de riesgos, en combinación con sistemas de información geográfica. Para producir los mapas de riesgo deberán involucrarse los elementos en riesgo, así como el análisis de su vulnerabilidad al impacto de los deslizamientos posibles; en este capítulo se han descrito los fundamentos y consideraciones necesarias para generar esta información.

REFERENCIAS

- Alonso, E. E., Lloret, A. y Romero, E., "Rainfall induced deformations of road embankments", *Landslides, Proc. 8th Int. Conf. and Field Trip on Landslides*, Granada, España, Balkema, pp. 97-108, 1996.
- Brand, E. W., "Predicting the performance of residual soil slopes", *Proc. 11th Int. Conf. on Soil Mechs. and Foundation Engrg.*, San Francisco, Balkema, Vol. 5, pp. 2541-2578, 1985.
- Cruden, D. M., "A simple definition of landslide", *Bull. Int. Assoc. of Engrg. Geology*, No. 43, pp. 27-29, 1991.
- Fell, R., "Landslide risk assessment and acceptable risk", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 31, pp. 261-272, 1994.
- García, F., Fuentes, O. A. y Navarrete, S. L., "Análisis semicualitativo del comportamiento de las laderas en la ciudad de Tijuana durante la temporada de lluvias", Informe RH/02/99 del CENAPRED, México, 1999.
- Geotechnical Control Office, Engineering Development Department, *Geotechnical Manual for Slopes*, Government Publication Centre, Hong Kong, 295 pp, 1984.
- Hungr, O., "Some methods of landslide hazard intensity mapping", *Landslide risk assessment*, Cruden & Fell (eds), Balkema, pp. 215-226, 1997.
- IUGS Working Group on Landslides, "Quantitative risk assessment for slopes and landslides – The State of the Art", *Proc. of the Int. Workshop on Landslide Risk Assessment*, Honolulu, Balkema, pp. 3-12, 1997.
- Leroi, E., "Landslide risk mapping: Problems, limitations and developments", *Landslide risk assessment*, Cruden & Fell (eds), Balkema, pp. 239-250, 1997.
- Mendoza, M. J. y Noriega, I., "Deslizamientos de laderas en Tezuitlán, Puebla, provocados por las lluvias intensas de octubre de 1999", *Memorias de la XX Reunión Nal. de Mec. de Suelos*, Puebla, Pue., SMMS, Vol. 1, pp. 49-58, México, 2000.
- Mendoza, M. J., Domínguez, L. y Melara, E. E., "Deslizamiento y flujo de tierras en una ladera debidos a un sismo: el caso de "Las Colinas", Santa Tecla, El Salvador C. A., del 13 de enero del 2001", *Memorias de la XXI Reunión Nal. de Mec. de Suelos*, Queretaro Qro., Vol. 1, pp. 399-408, México, 2002.
- Mendoza, M. J., Domínguez, L., Noriega, I. y Guevara, E., *Monitoreo de laderas con fines de evaluación y alertamiento*, Informe Técnico del CENAPRED, 78 pp. México, 2002.
- Morgenstern, N. R., "Toward landslide risk assessment in practice", *Proc. of the Int. Workshop on Landslide Risk Assessment*, Honolulu, Balkema, pp. 15-23, 1997.
- Peck, R. B., "Stability of natural slopes", *Journal of the Soil Mechs. and Foundations Div.*, ASCE, Vol. 93, No. SM4, pp. 403-417, 1967.
- Schuster, R. L., "The 25 most catastrophic landslides of the 20th Century", *Landslides, Proc. 8th Int. Conf. and Field Trip on Landslides*, Granada, España, Balkema, pp. 53-62, 1996.
- Smith G. N. & Pole, E. L., "Elements of foundation design", Garland STPM press, 1980.

Suarez, J., “Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales”, Instituto de Investigaciones Sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos Ltda., Bucaramanga Colombia, 548 pp. 1998.

Whitman, R., “Evaluating calculated risk in geotechnical engineering”, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 110, No. 2, pp. 145-187, 1994.



Fenómenos Hidrometeorológicos

VI. 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 y María Teresa Vázquez Conde

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 lo que las Unidades Estatales y Municipales de Protección Civil de toda la República Mexicana podrán realizar dichos mapas en aquellas localidades con problemas recurrentes de inundación, utilizando los conceptos básicos y recursos disponibles de Prevención en sus áreas de trabajo y con la asesoría del CENAPRED.

6.1 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, las cuales han sido denominadas estructurales y no estructurales, que procuran 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 y de desarrollo urbano y ordenamiento territorial, en la delimitación de áreas de peligro para la población.

Asimismo, en la elaboración de mapas de riesgo hidrometeorológico, que abarcan los temas 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 para cada uno de estos fenómenos, que permitan de manera clara y relativamente sencilla, precisarlos 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 vienen siempre acompañadas de arrastre 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. Asimismo, dichas características nos ayudan a definir 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 montañas 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 mucho tiempo de antelación. Como consecuencia de ello, este fenómeno puede cobrar una mayor cantidad de vidas humanas, en comparación con una inundación lenta.

Para este trabajo en particular se incluye 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.

La metodología contemplará 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 ejemplo de cómo aplicar esta guía.

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

El objetivo de esta sección es contar con una metodología que permita identificar, como 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 de protección sencillas.

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 para la difusión de esta guía, 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 duraciones.

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

6.2.1 Identificación del arroyo

El primer paso es la adquisición de un plano topográfico que contenga al 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 de INEGI o de planeación urbana del estado. Dicho plano servirá para identificar cual es la zona que aporta el escurrimiento, su área y la pendiente del arroyo.

6.2.2 Visita al sitio

Adicionalmente 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, y mediante el uso de flexómetros se podrán establecer las dimensiones de las secciones y las pendientes de los tramos del arroyo. Lo ideal sería contar con un geoposicionador satelital (GPS) para marcar las coordenadas de estos lugares.

6.2.3 Identificación de la cuenca del 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 6.1). Para identificar la cuenca se requiere trazar su parteaguas, que no es nada más que 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 otras. En la sección 6.5 se verá con detalle cómo identificar una cuenca.

6.2.4 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 6.2a). Este es el caso más típico de cuenca hidrológica, por ejemplo, el río Bravo, que es la frontera norte de nuestro país, 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 Matamoros, en el estado de Tamaulipas.
2. Endorreica: La cuenca no tiene salida, y por lo general es un lago (figura 6.2b). 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 se 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 $> 100 \text{ km}^2$

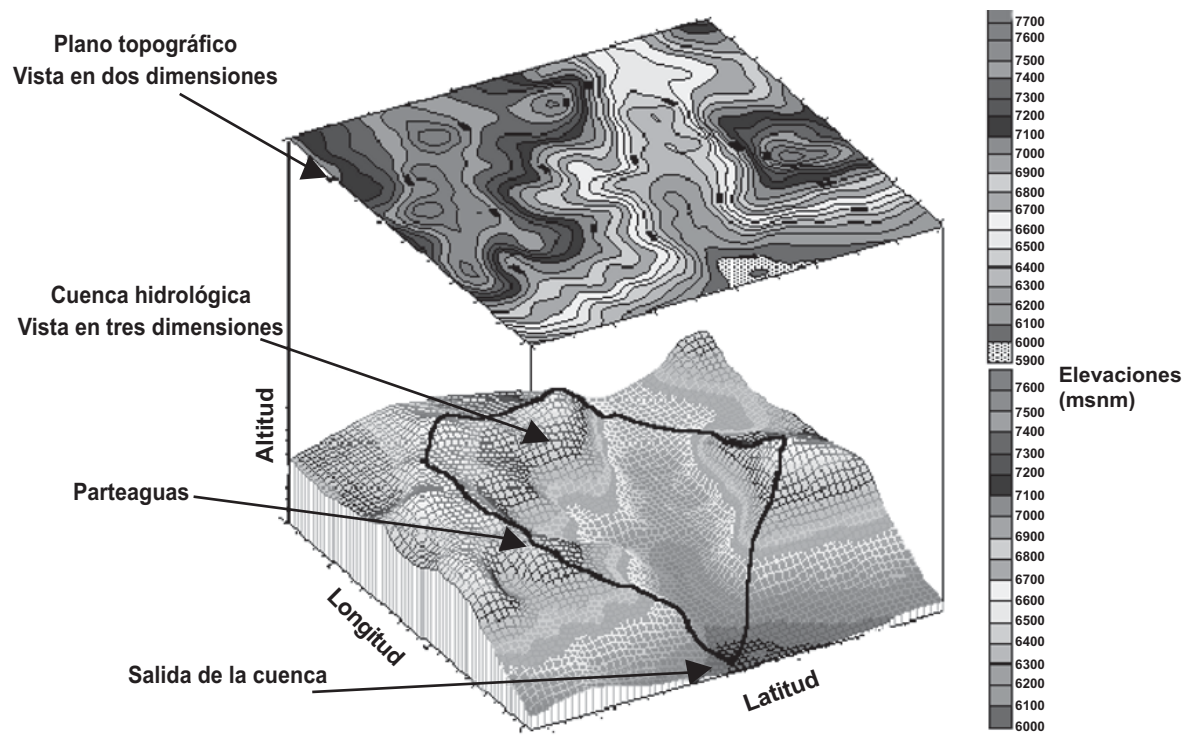


Figura 6.1 Cuenca hidrológica

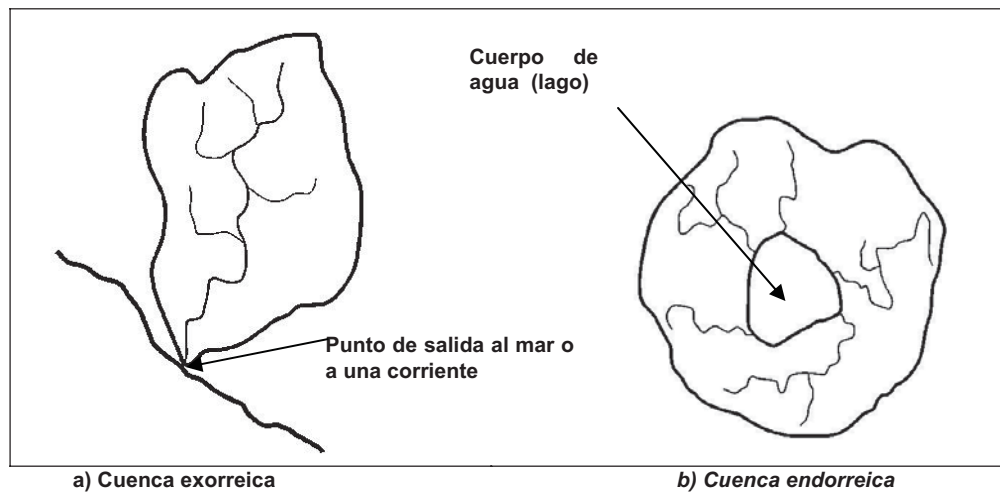


Figura 6.2 Tipos de cuencas (fuente: <http://www.ccvn.org.mx/gestion.htm#1>)

6.2.5 Características fisiográficas de la cuenca

Identificada la cuenca del arroyo en estudio 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 6.3).

Área de la cuenca

El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas (figura 6.3).

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.

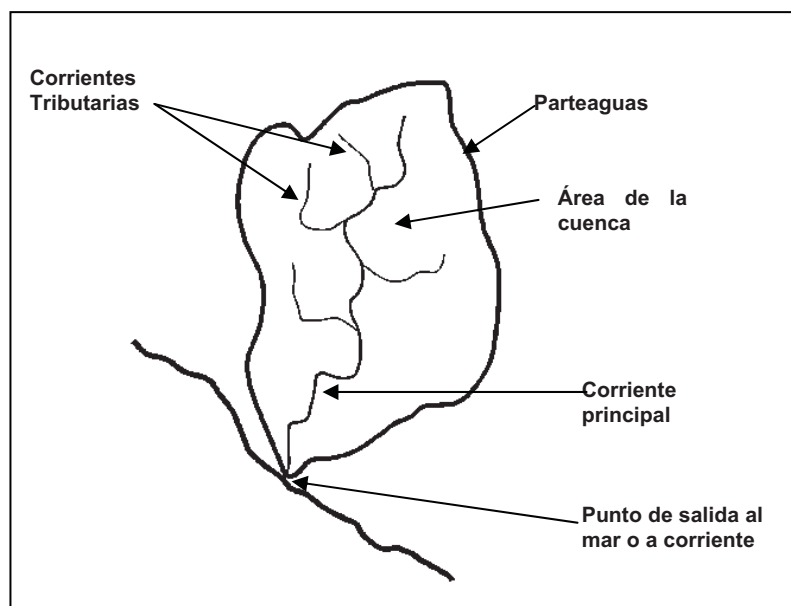


Figura 6.3 Principales características de una cuenca hidrológica

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 6.3 y 6.4). 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.

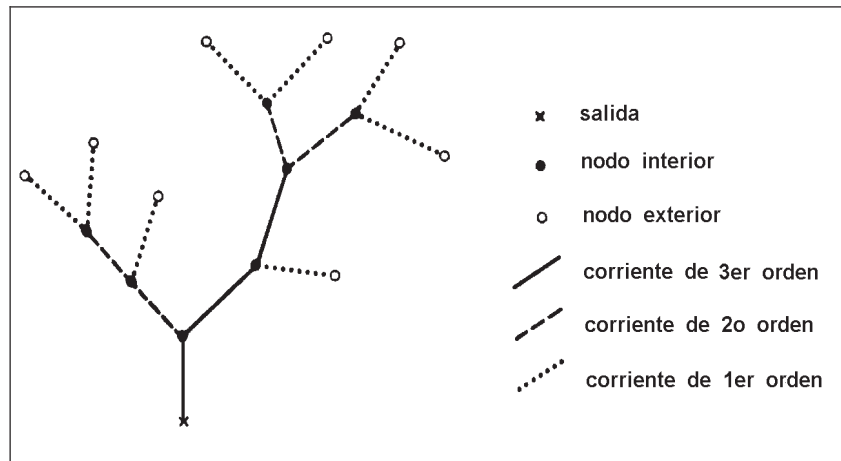


Figura 6.4 Sistema de ordenación de corrientes

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 6.4 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.

Pendiente de la cuenca (criterio de Nash)

La pendiente de la cuenca es uno de los factores que deben ser considerados en la fórmula para el cálculo del índice de 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 6.5) 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

$desn$ 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.

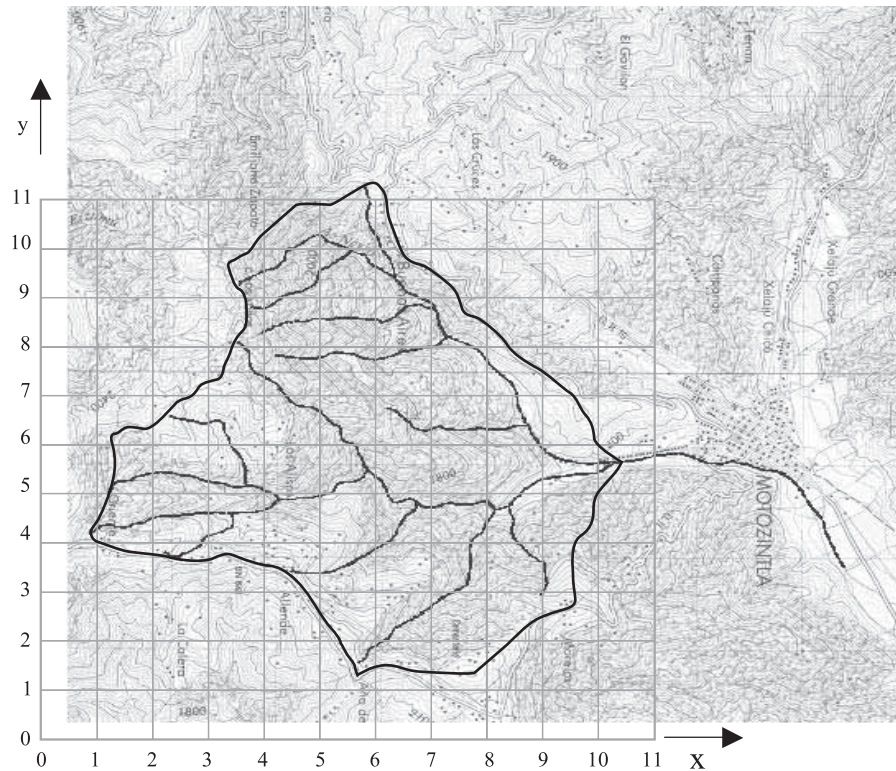


Figura 6.5 Cuadrícula para el cálculo de la pendiente de la cuenca

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 nudo

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

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.

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

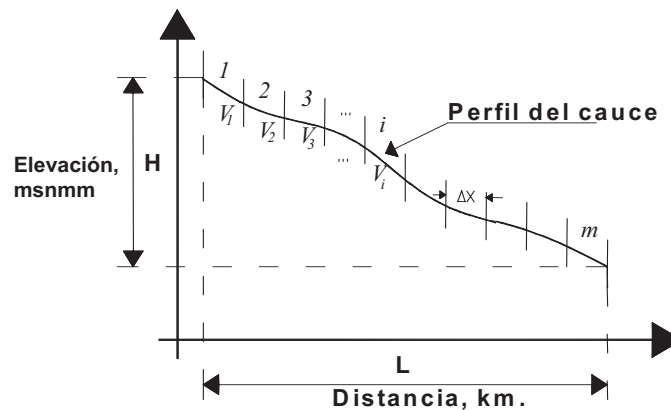


Figura 6.6 La pendiente media

6.2.6 Tipo de suelo

Para los fines de este capítulo, los suelos se clasifican en finos y gruesos, como se observa en la tabla 6.1. Los gruesos se refieren a material que varía desde rocas, 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 siguientes pruebas (ver también tabla 6.1).

Tabla 6.1 Tipo de Suelo

Gruesos	Macizo Rocosos
	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
	Arena arcillosa
Finos	Limo arenoso
	Arcilla arenosa
	Limo
	Arcilla

Donde 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 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 6.7).

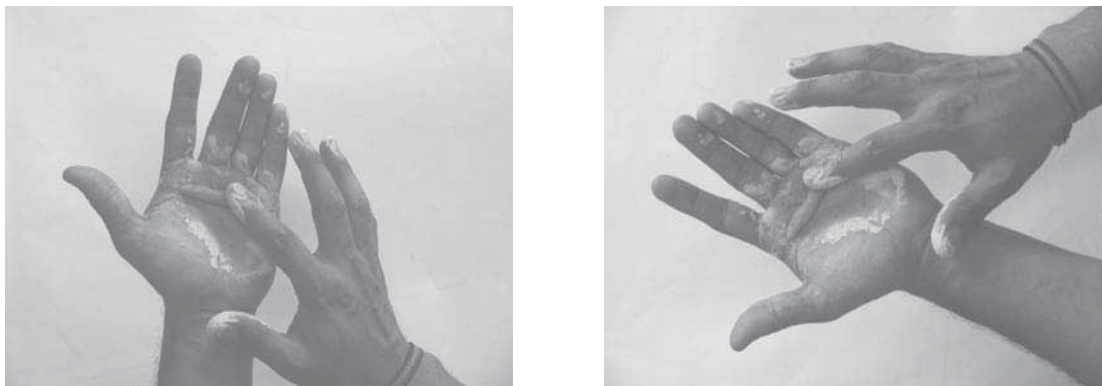


Figura 6.7 Método “consistencia cerca del límite plástico”

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 6.8). 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, se dice que es un limo, de lo contrario es una arcilla.

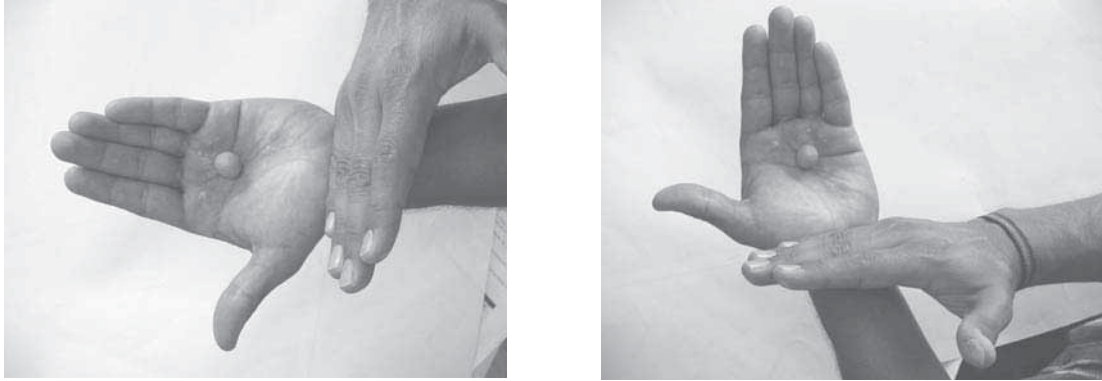


Figura 6.8 Método “dilatancia”

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 6.9).
- b) Se identifican los centroides de cada cuadro como los lugares donde se tomarán las muestras de suelo.

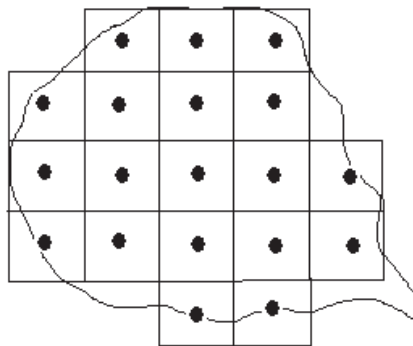


Figura 6.9 Malla para muestreo

- 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 predominante deberá considerarse posteriormente un promedio de sus características (ver punto 6.2.8, Gasto sólido).

6.2.7 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.

6.2.8 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 m³/s.
- C coeficiente de escurrimiento (usualmente entre 0.5 y 0.8, ver tabla 6.2 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 km².

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

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

Donde:

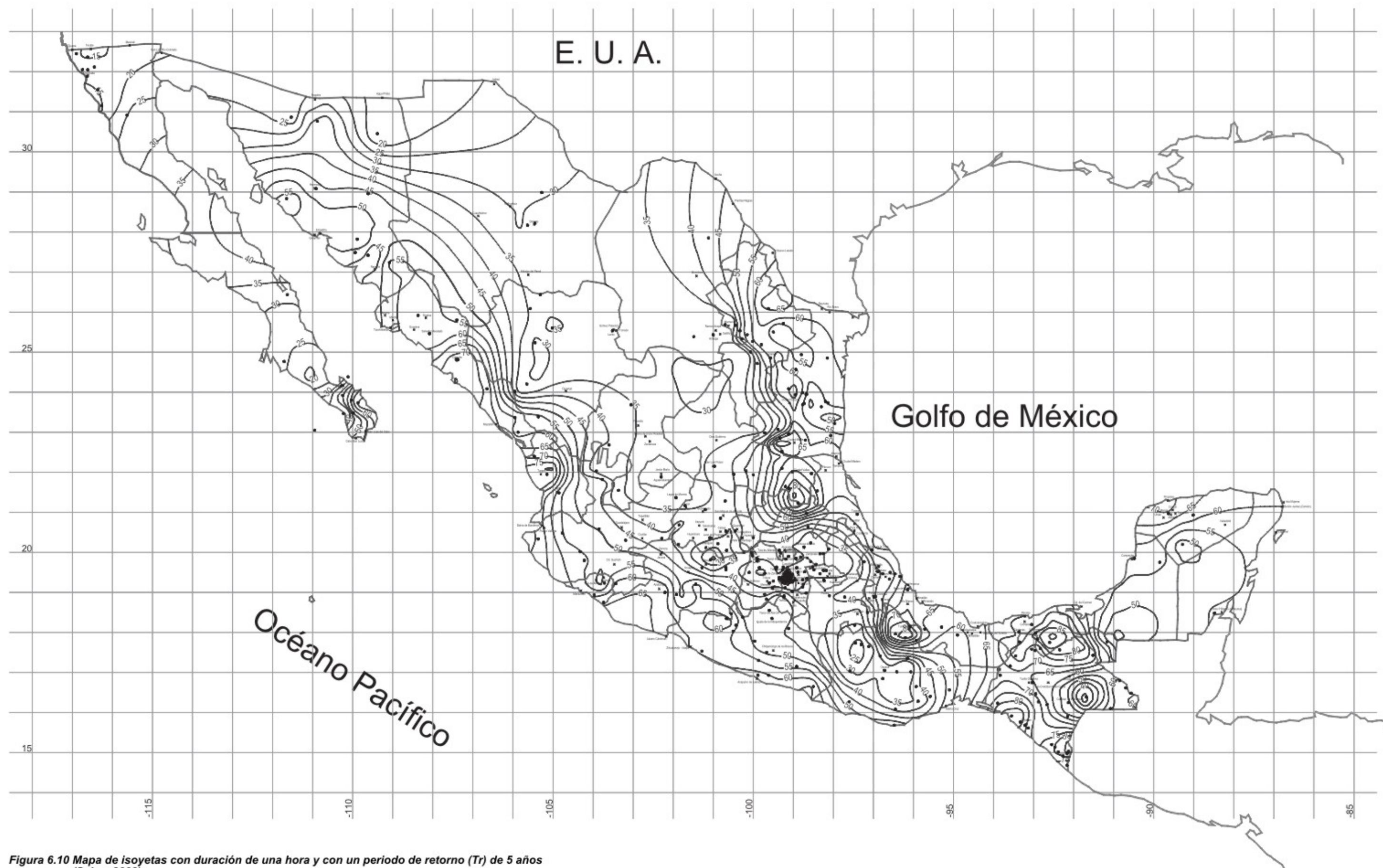
S es la pendiente media del cauce principal.
 L es la longitud del cauce principal, en m.
 t_c es el tiempo de concentración, en horas.

Para el caso de las avenidas súbitas, el rango de tiempos de concentración que se ha encontrado, es entre 0.03 horas y 4 horas, con un promedio de 0.48 horas (29 min) (tabla 6.3).

Para determinar la intensidad a la que se refiere la formula racional, se utilizarán los mapas de isoyetas asociados a diferentes periodos de retorno (T_r) (figura 6.10), por lo que se podrán calcular diferentes gastos para cada uno de los periodos antes mencionados.

Tabla 6.2 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 0.02 ó menos)	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.15
Suelos arenosos escarpados (0.07 o más)	0.20
Suelos arcillosos planos (0.02 ó menos)	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.22
Suelos arcillosos escarpados (0.07 ó más)	0.35



En la tabla 6.3 se muestran los casos estudiados de avenidas súbitas en México, en E. U. A. y Venezuela.

Tabla 6.3 Avenidas súbitas históricas

Número	Nombre de la cuenca	Área de la cuenca, km ²	Pendiente del cauce	Pendiente del cauce, grados	Longitud, m	Tiempo de concentración, h	Pendiente de la cuenca	Pendiente 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	MOTOZ 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

Continúa

Tabla 6.3 Avenidas súbitas históricas

Número	Nombre de la cuenca	Área de la cuenca, km ²	Pendiente del cauce	Pendiente del cauce, grados	Longitud, m	Tiempo de concentración, h	Pendiente de la cuenca	Pendiente de la cuenca, grados
E. U. A. (Colorado)								
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

Se observa que, en general, los tiempos de concentración son menores a 4 horas, y en general, se trata de cuencas relativamente pequeñas (en promedio son menores de 30 km²).

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 obtenida del mapa de isoyetas de una hora de duración y período de retorno de 5 años (figura 6.10), en mm/h.

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 siguiente tabla.

Tabla 6.4 Valor del parámetro K

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

Factor LS

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

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

Donde:

x es la longitud del cauce, en metros

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

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

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

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. Una manera de determinar la cobertura vegetal es mediante 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.

Para determinar el valor de C se entra a la siguiente tabla.

Tabla 6.5 Valores del factor C

Cobertura vegetal en porcentaje (%)	Factor C
Bosques bien definidos ($\geq 97\%$)	0.02
$80\% \leq \text{Cobertura vegetal} \leq 96\%$	0.2
$60\% \leq \text{Cobertura vegetal} \leq 79\%$	0.3
$40\% \leq \text{Cobertura vegetal} \leq 59\%$	0.4
$16\% \leq \text{Cobertura vegetal} \leq 39\%$	0.5
$5\% \leq \text{Cobertura vegetal} \leq 15\%$	0.6
Suelo desnudo $\leq 4\%$ 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 siguiente tabla se presentan los valores que puede tomar el factor P para diferentes actividades de control de erosión.

Tabla 6.6 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 Cs 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 Cs se determina primero el valor de E.; Si éste es mayor que 30, entonces Cs será igual a 0.6; si E es menor a 30 se sustituye en la siguiente ecuación.

$$Cs = 0.00063 A^2$$

Con los valores calculados del gasto líquido (Qp) y la concentración de sedimentos (Cs) 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 m³/s

Q_T es el gasto total que escurre sobre el cauce al final de la cuenca, en m³/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 m³/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, como se muestra a continuación.

6.2.9 Determinación del área hidráulica requerida

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 m³/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 siguiente expresión:

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

Donde:

L es la longitud del cauce principal, en m.
 t_c es el tiempo de concentración, en h.

Para cada una de las lluvias analizadas, recordando que en este documento se muestra la asociada a un periodo de retorno de 5 años (figura 6.10), se tiene un gasto total, por lo que para cada uno de estos gastos se determinarán las áreas hidráulicas permisibles correspondientes.

6.2.10 Levantamiento topográfico del arroyo

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, para identificar las zonas potencialmente inundables (figura 6.11).

De acuerdo con la visita de campo mencionada en la sección anterior 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 6.12 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.

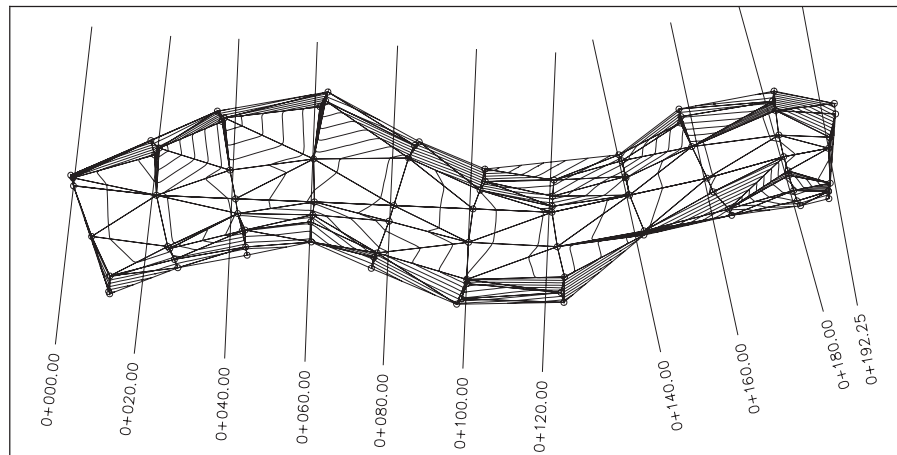


Figura 6.11 Dibujo en planta del levantamiento de un arroyo

En la figura 6.13 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 6.14)

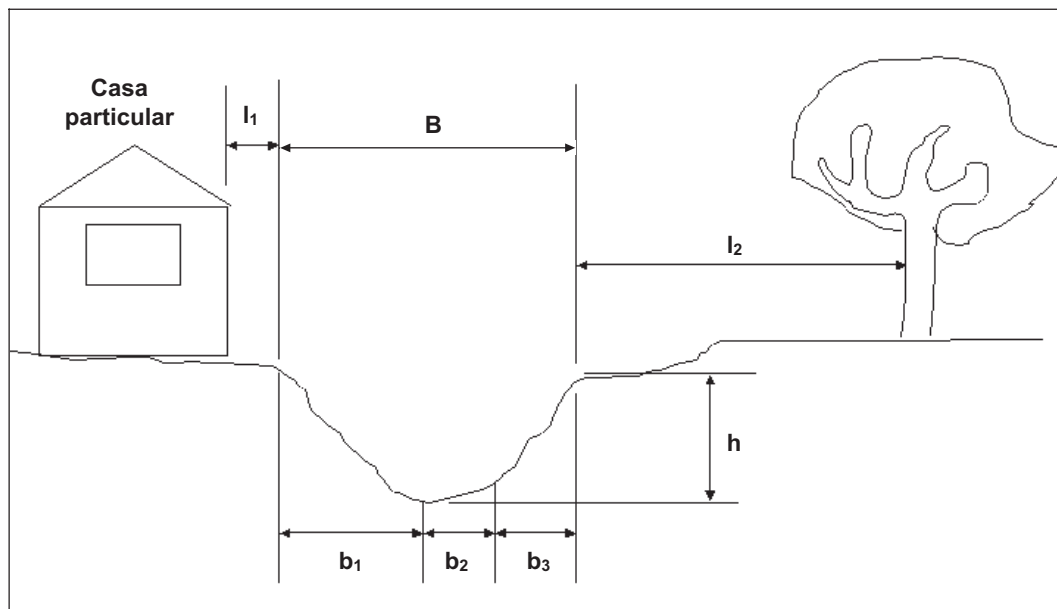


Figura 6.12 Levantamiento de una sección crítica para un cauce natural

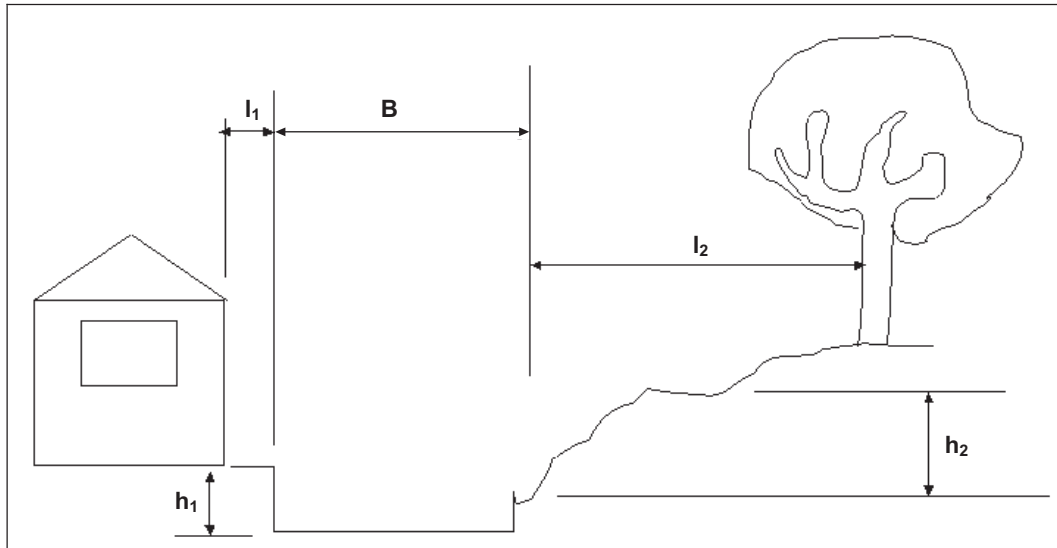


Figura 6.13 Levantamiento de una sección crítica para un cauce no natural

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.

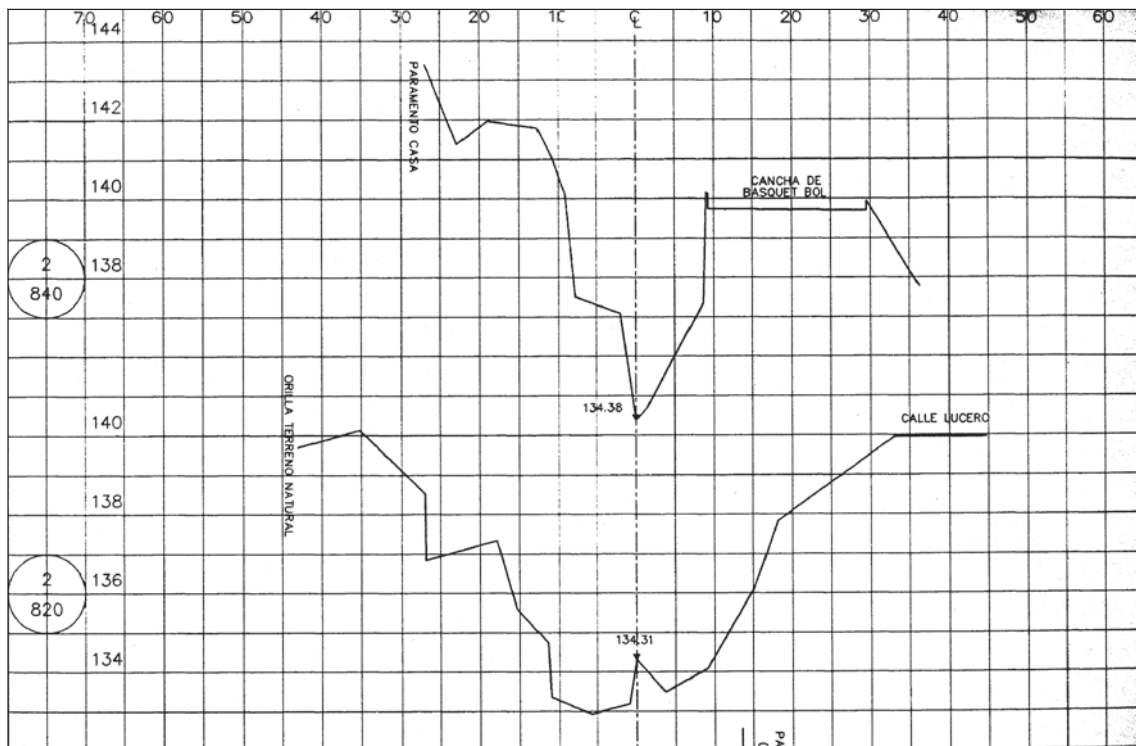


Figura 6.14 Dibujo de dos secciones transversales a escala

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 6.7 se muestran las fórmulas que permiten calcular el área geométrica de las figuras más simples que se pueden utilizar.

En la figura 6.15 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 6.16 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.

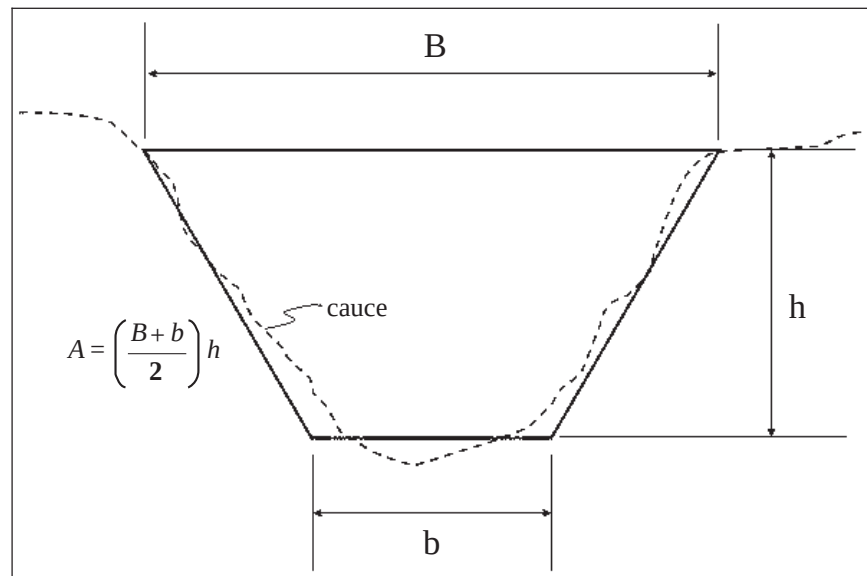


Figura 6.15 Sección transversal de un cauce natural circunscrita en un trapecio

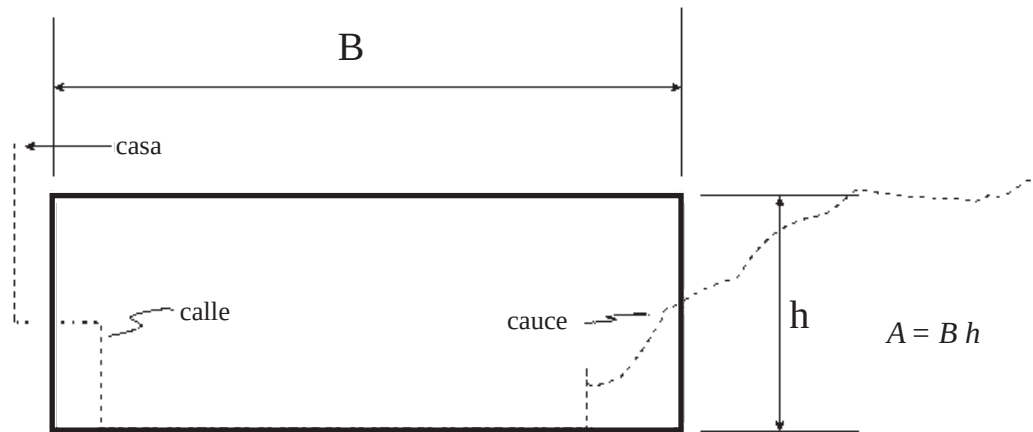


Figura 6.16 Sección transversal de un cauce no natural circunscrita en un rectángulo

Tabla 6.7 Figuras geométricas regulares

Figura	Área
Diagrama de un rectángulo con base B y altura h.	$A = B \cdot h$
Diagrama de un trapecio con base B, altura h y base superior b.	$A = \frac{B + b}{2} \cdot h$
Diagrama de un triángulo con base B y altura h.	$A = \frac{B \cdot h}{2}$

6.2.11 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 6.4 sobre evaluación del riesgo se sugieren los periodos de retorno que deberán calcularse.

6.2.12 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 6.17). 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.

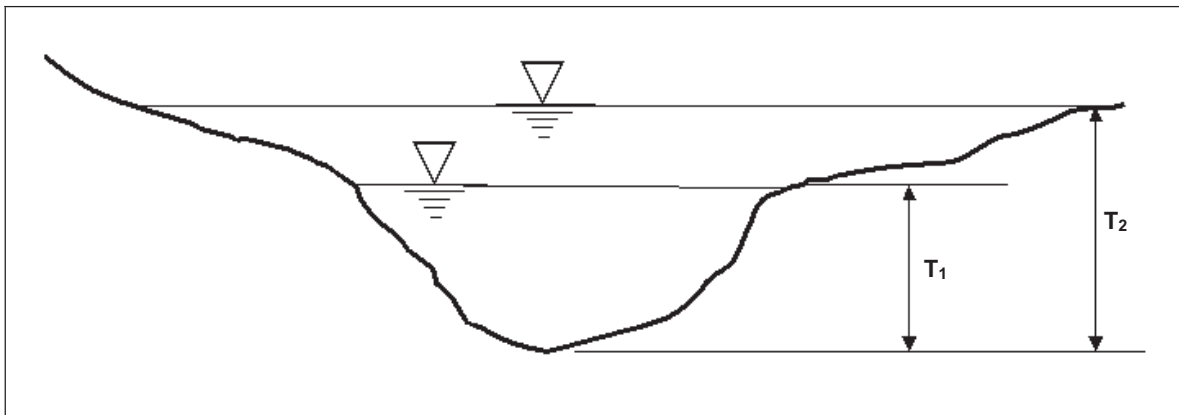


Figura 6.17 Si $A_G < A_h$ se presenta la inundación

6.3 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 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 a la relacionada con 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 alguno.

Para la elaboración de estos mapas se requiere de mecanismos tales como la ayuda de prestadores de servicio social de carreras como sociología, o incluso de alumnos de bachillerato, para trabajar junto con las unidades de protección civil municipal, así como también con la Comisión Nacional del Agua y el CENAPRED.

6.3.1 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 6.8.

Tabla 6.8 Material en muros de viviendas

Tipo	Descripción
M1	Cartón o plástico
M2	Piedra
M3	Láminas de cartón
M4	Bahareque
M5	Adobe sin repellado
M6	Madera
M7	Adobe con repellado
M8	Mampostería sin elementos de concreto
M9	Mampostería 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 6.9 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 6.8 y 6.9; 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 una de ellas se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 6.10 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 6.11). El tipo de vivienda, que tiene valores de I a V, puede verse en la tabla 6.12.

Tabla 6.11 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 6.12 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

6.3.2 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 6.18 se muestra un ejemplo del menaje que se ha considerado para elaborar la función de vulnerabilidad de una vivienda tipo I.

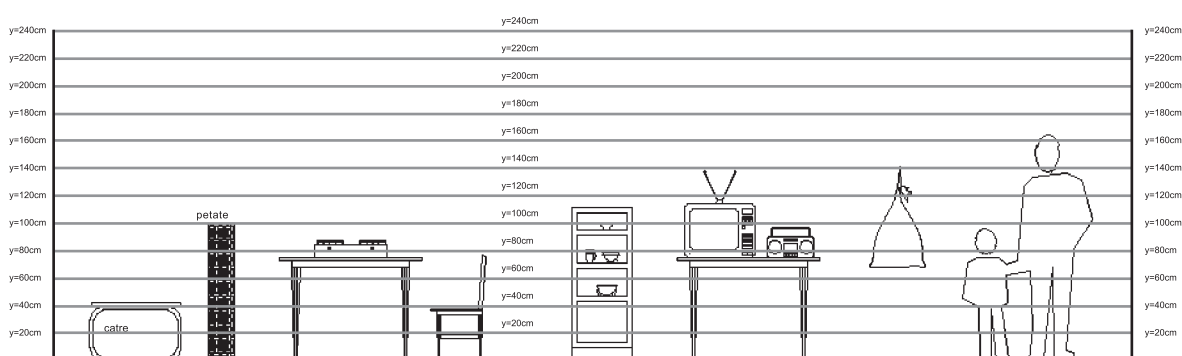


Figura 6.18 Menaje para la vivienda tipo I (una sola planta)

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 clase baja, donde la vivienda puede ser equiparada 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 6.19 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 6.20 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 6.21 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 confort.

En la figura 6.22 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 6.23 a 6.27).

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

En la figura 6.23 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 6.24, 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 6.26 y 6.27 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 6.19 Menaje para la vivienda tipo II (una sola planta)

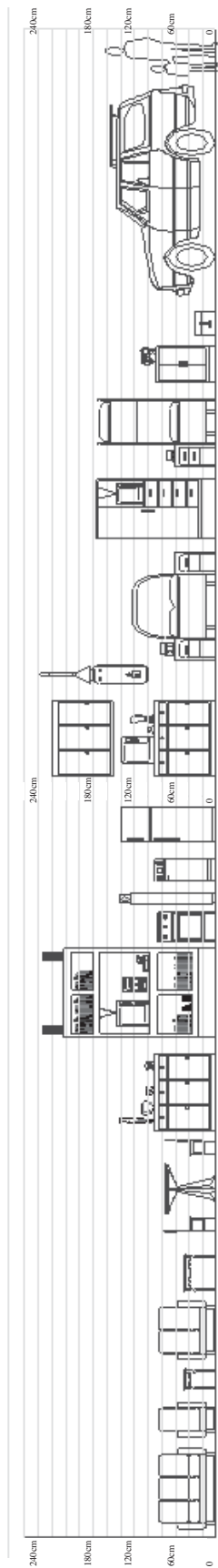


Figura 6.20 Menaje para la vivienda tipo III (una sola planta)



Figura 6.21 Menaje para la vivienda tipo IV (dos plantas)



Figura 6.22 Menaje para la vivienda tipo V (dos plantas)

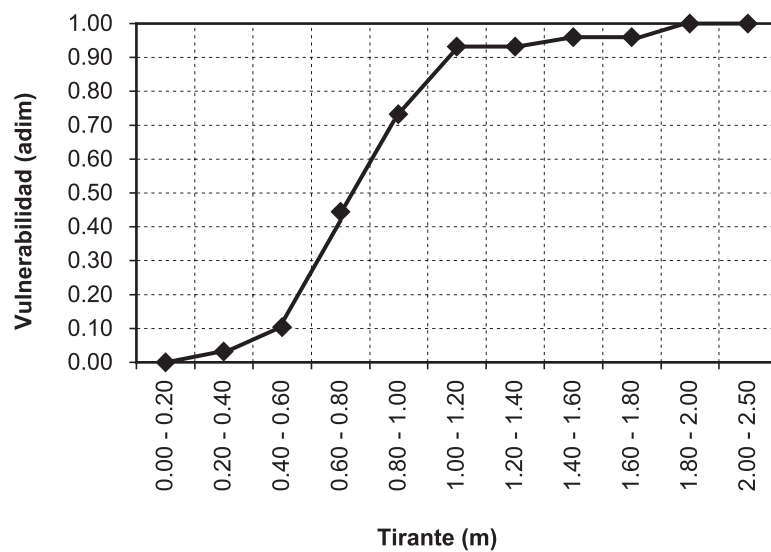


Figura 6.23 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo I

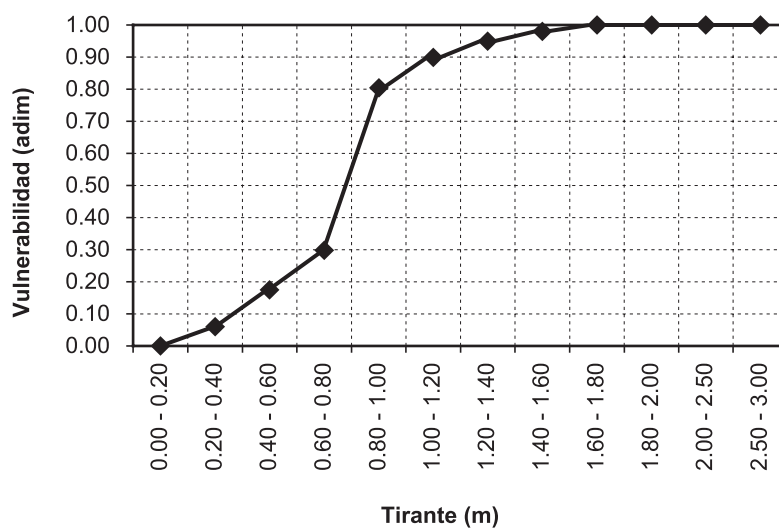


Figura 6.24 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo II

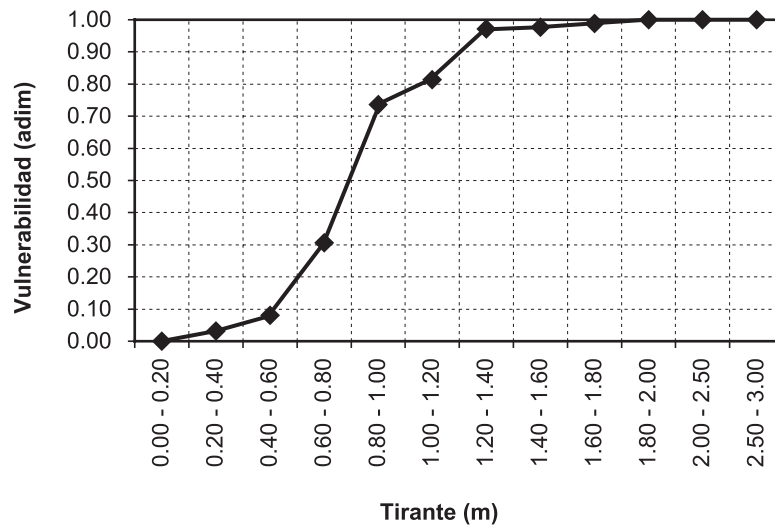


Figura 6.25 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo III

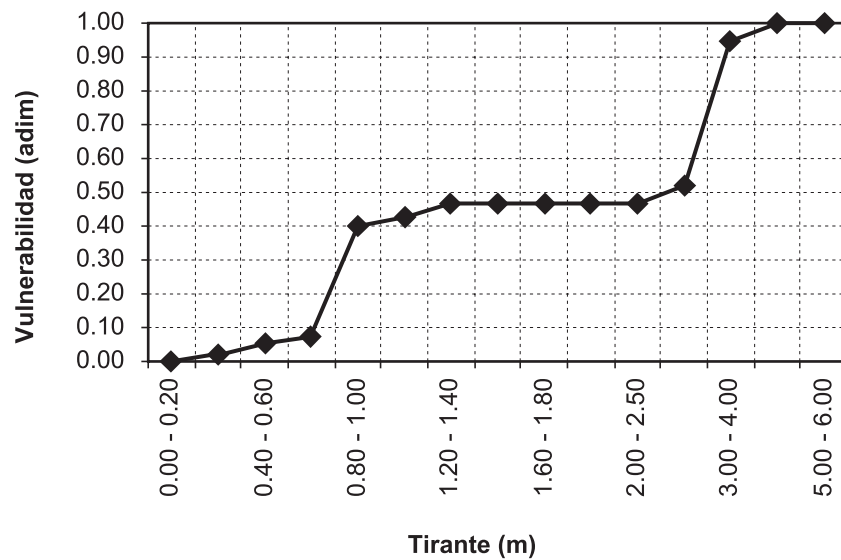


Figura 6.26 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo IV

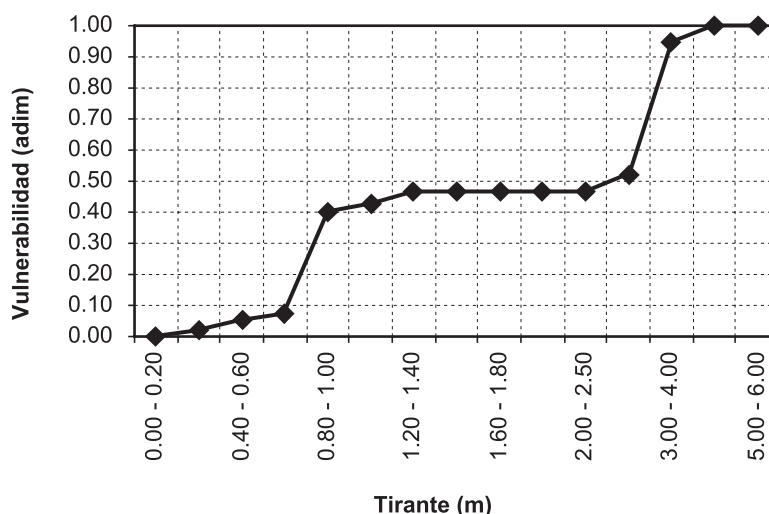


Figura 6.27 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo V

6.4 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 éstas variables 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 el porcentaje de daños de una vivienda por efecto de una inundación, o vulnerabilidad.

P es la probabilidad de que ocurra un hecho potencialmente dañino, o peligro.

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, como pesos.

El riesgo R puede expresarse de varias maneras:

- 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.

- 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. También será necesario discretizar la variable tirante, o profundidad de inundación, de tal manera que sea posible estimar un valor del peligro de acuerdo con un rango de tirantes. Por ejemplo, en la siguiente figura se observa una función de peligro discretizada 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 tirante grandes, es decir, los encharcamientos son más frecuentes que las inundaciones mayores.

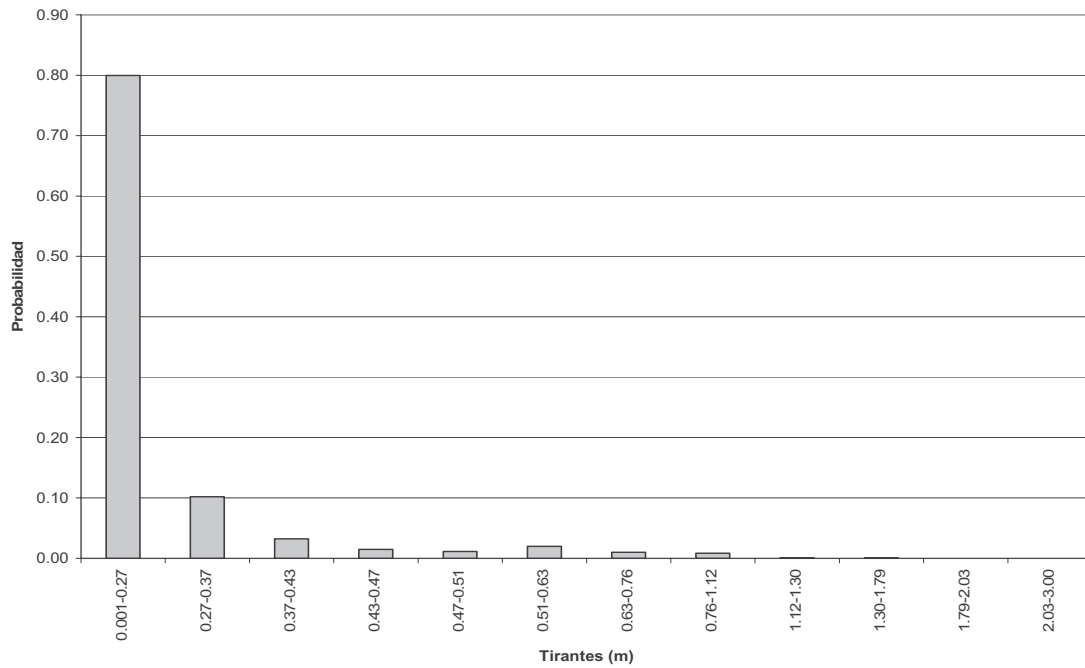


Figura 6.28 Función de peligro

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 $V(Y_i)$ 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 6.28 entonces m será igual a 12 y las funciones de peligro y la de vulnerabilidad estarán dadas por la tabla 6.13.

Tabla 6.13 Función de peligro y vulnerabilidad con 12 niveles de peligro

i	Tirante (m)	Tirante promedio	Tr	Probabilidad	Vulnerabilidad	Probabilidad X Vulnerabilidad
1	0.001-0.27	0.14	2	0.667	4%	0.0267
2	0.27-0.37	0.32	5	0.1905	24%	0.0457
3	0.37-0.43	0.40	10	0.0417	29%	0.0121
4	0.43-0.47	0.45	15	0.0181	32%	0.0058
5	0.47-0.51	0.49	20	0.0101	35%	0.0035
6	0.51-0.63	0.57	25	0.0097	44%	0.0043
7	0.63-0.76	0.70	50	0.0040	53%	0.0021
8	0.76-1.12	0.94	100	0.0053	74%	0.0039
9	1.12-1.30	1.21	500	0.0008	81%	0.0006
10	1.30-1.79	1.55	1000	0.0005	94%	0.0005
11	1.79-2.03	1.91	5000	0.0001	98%	0.0001
12	2.03-3.00	2.52	10000	0.00004	100%	0.0000
Suma:						0.1054

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

$$R_j = \sum_{i=1}^{12} C_j P(i) \cdot V_j(Y_i) = C_j \times 0.1054$$

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, y m define a la función de peligro que en el ejemplo anterior es igual a 12 (tabla 6.13).

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

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

I_{R_j} 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 (figura 6.29).

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 6.29a Mapa de peligro por inundaciones en una cierta localidad



Figura 6.29b Mapa de vulnerabilidad por inundaciones en una cierta localidad



Figura 6.29c Mapa de índice de riesgo por inundaciones en una cierta localidad

6.5 APLICACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES Y AVENIDAS SÚBITAS, Y ARRASTRE DE SEDIMENTOS

En esta sección se mostrará un caso resuelto con la metodología propuesta, en la que se tiene una población expuesta a inundaciones debido a la cercanía de un arroyo.

6.5.1 Identificación de la cuenca del arroyo

Una vez que se tiene el plano topográfico se procede a la identificación de la cuenca del arroyo, la cual es el área que aporta escurrimientos a éste. Para ello es necesario seguir los pasos siguientes:

- 1) Identificar en el plano la comunidad y el arroyo en 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, el cual puede estar antes o dentro de la zona rural analizada, con el único requisito de que en su trayectoria esté integrado por todos los puntos importantes o de interés. Esto puede llevar fuera de la población, hacia cerros o montañas, que es donde se originan los escurrimientos que dan origen a dicho arroyo (figura 6.30). Para el ejemplo se utilizó un plano topográfico escala 1:50,000 de INEGI.
- 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 en interés de las cuencas vecinas (figura 6.31).

Para trazar esta línea imaginaria es necesario estudiar las curvas de nivel, identificando donde sube y baja el terreno. Se iniciará el trazo en el punto de interés, imaginándose que uno mismo está en éste (en el terreno) 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 muestren que el terreno desciende y al frente asciende; el flanco derecho siempre verá la red de drenaje de la cuenca, mientras que el flanco izquierdo observará las cuencas vecinas.

Cuando se llega al punto más alto (cerca de la mitad del recorrido) del parteaguas, 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 6.31).

6.5.2 Características fisiográficas de la cuenca

Identificada la cuenca del arroyo en estudio será necesario determinar algunas características fisiográficas de la cuenca, siendo estas características las siguientes:

Área de la cuenca

El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas. 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 km², o la utilización de un planímetro. Para el primer caso, se contarán los cuadros enteros que caen dentro la cuenca y se sumarán al conteo los cuadros que puedan ser completados por dos o más fracciones.

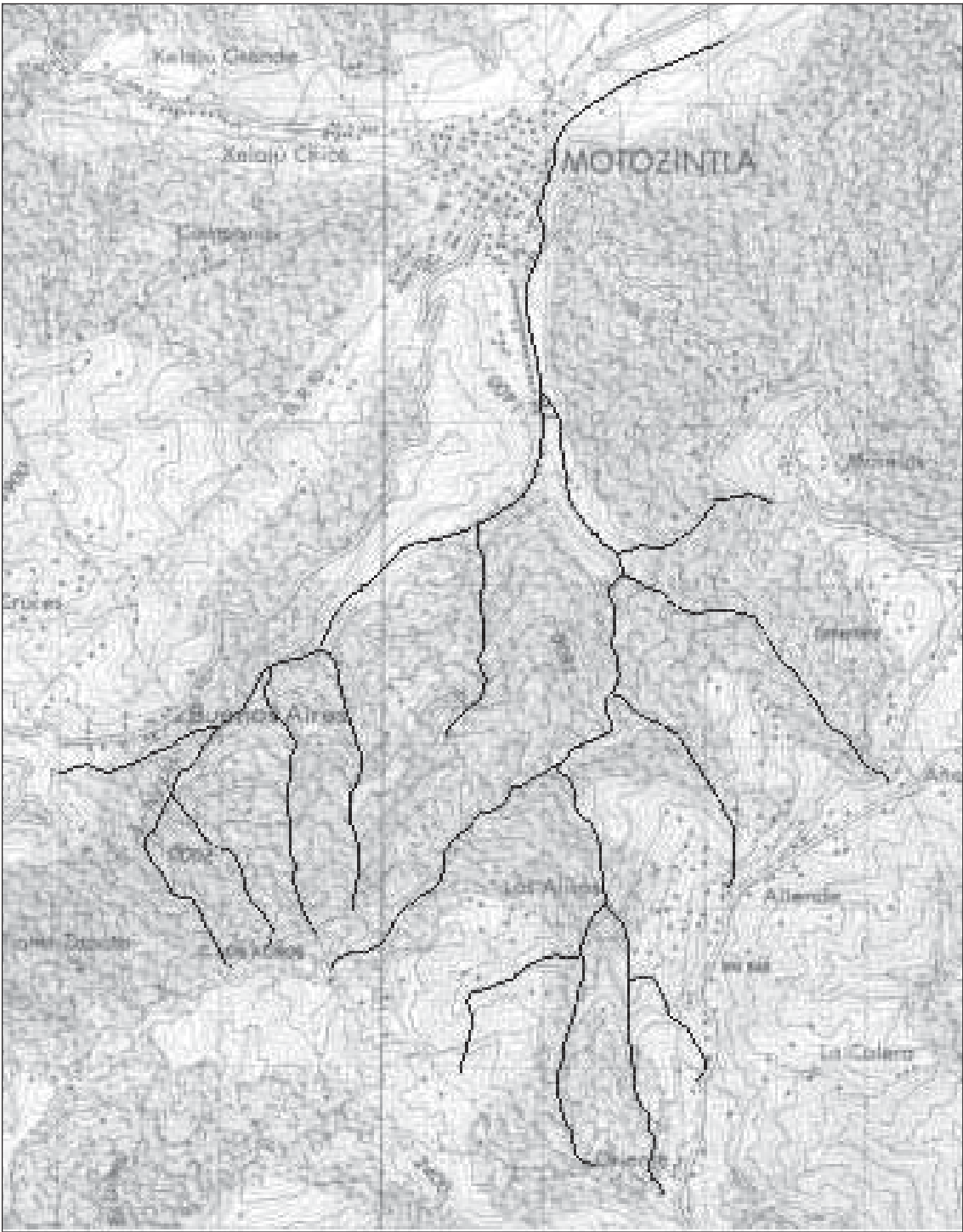


Figura 6.30 Identificación del arroyo y sus afluentes

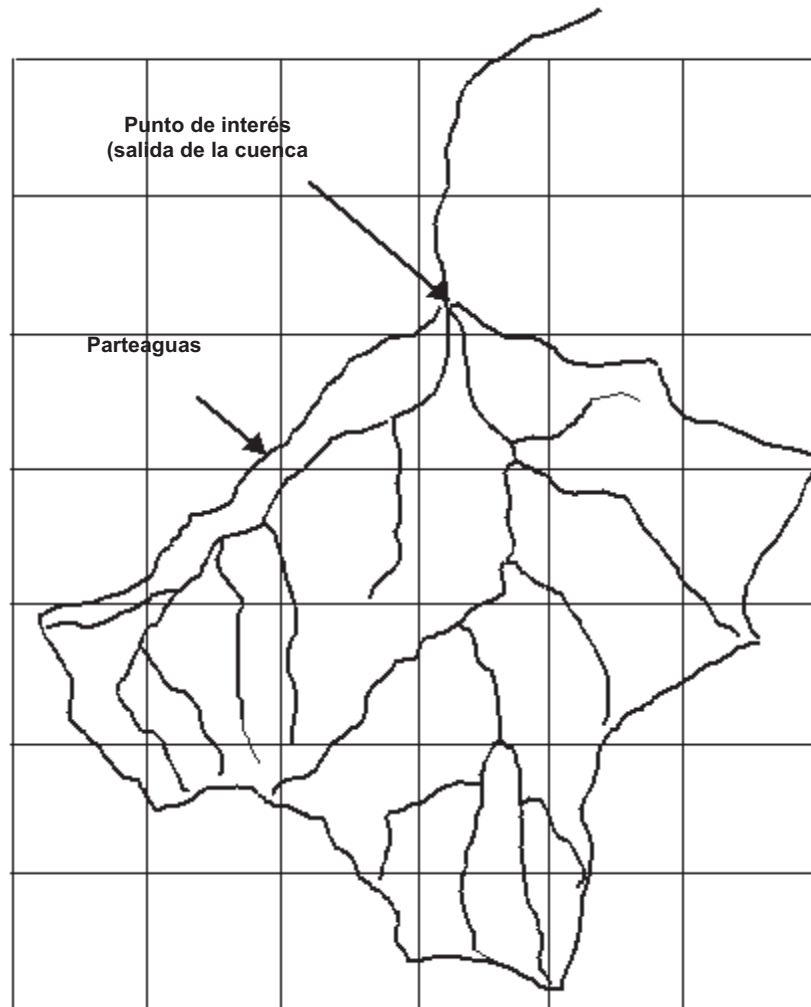


Figura 6.32 Cuadrícula para determinar el área de la cuenca

Para la cuenca del ejemplo, la corriente es de tercer orden. En la figura 6.32 se muestra cómo se identificó su corriente de mayor orden o corriente principal.

Pendiente de la cuenca (criterio de Nash)

Se utilizará la figura 6.5 del capítulo 6.2, que corresponde a la cuenca de Motozintla, Chiapas, con el trazo de la malla necesaria (que no corresponde necesariamente a 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 6.14 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.

Tabla 6.14 Pendientes y elevaciones en los puntos de intersección de la malla trazada para la cuenca de la población estudiada

Inter-sección	Coordenadas		Dist. mín, km	Pendiente S	Elev. msnm	Inter-sección	Coordenadas		Dist. Min.	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	
Sumatoria											34.2018	128010

De acuerdo con la tabla 6.14, 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).

Por lo tanto, según el rango establecido en el capítulo 6.2, la cuenca analizada es propensa al peligro por avenidas súbitas, debido al valor de la pendiente de su cuenca.

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 “Pendiente del cauce principal” del capítulo 6.2.

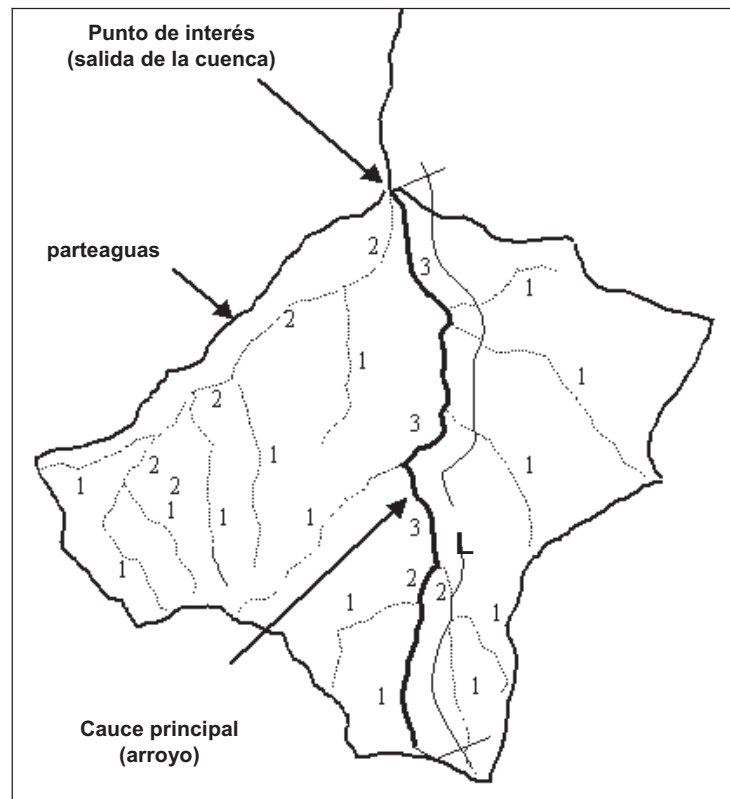


Figura 6.33 Identificación de la corriente de mayor orden o corriente principal

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 6.34.

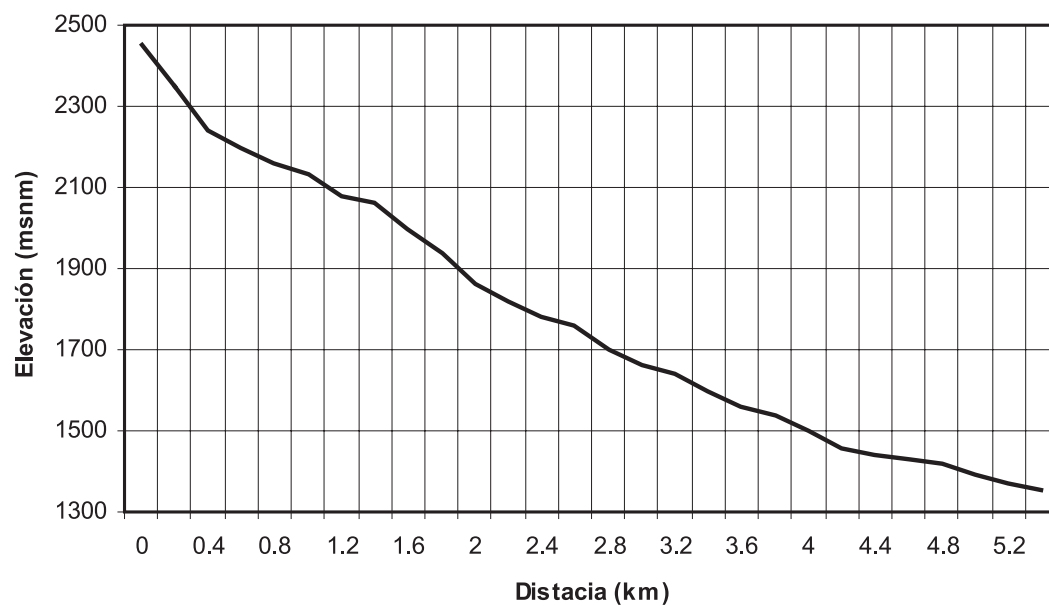


Figura 6.34 Perfil del cauce principal

Para el ejemplo, el cauce principal se divide en tres tramos, obteniéndose los siguientes datos (figura 6.35):

$m = 3$	
$L = 5000 \text{ m}$	$H_1 = 2450 \text{ m}$
$L_1 = 2400 \text{ m}$	$H_2 = 1800 \text{ m}$
$L_2 = 1400 \text{ m}$	$H_3 = 1500 \text{ m}$
$L_3 = 1200 \text{ m}$	$H_4 = 1360 \text{ m}$

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

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

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

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

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

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

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

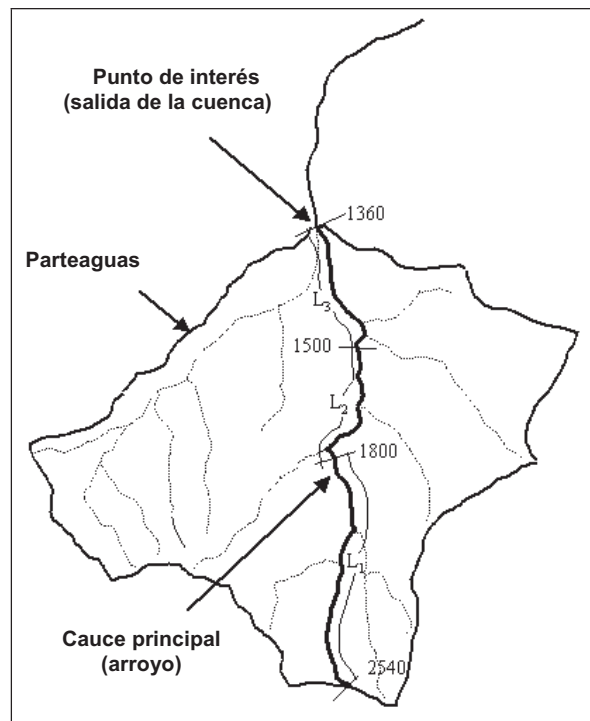


Figura 6.35 División de la corriente principal en tres tramos

Tipo de suelo

Se divide la cuenca en una cuadrícula de 1 km por 1 km (figura 6.36), 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 6.15.

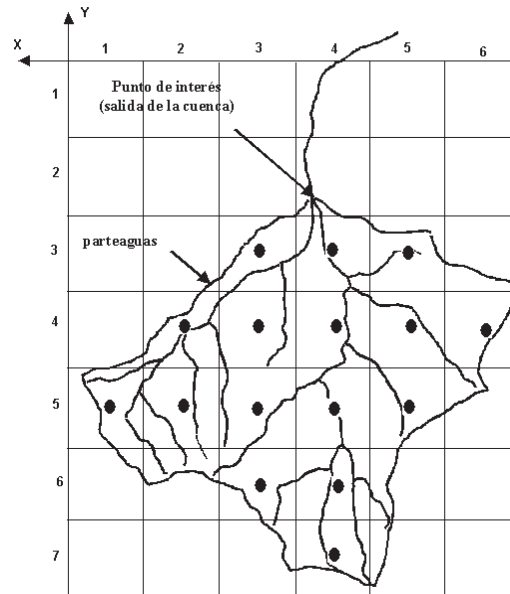


Figura 6.36 Muestreos para clasificar el tipo de suelo en la cuenca

Tabla 6.15 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”.

Cobertura vegetal

En 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.

Obras de protección contra erosión

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.

6.5.3 Estimación del escurrimiento crítico a la salida de la cuenca

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 6.10) se lee una intensidad de 75 mm/h.

De la tabla 6.2, con un tipo de área drenada “cementorios y parques” se tiene un coeficiente de escurrimiento de 0.25. Sustituyendo los anteriores valores en la fórmula Racional se tiene:

$$Q_p = 0.278(0.25) (75 \text{ mm/h}) (15.5 \text{ km}^2)$$

$$Q_p = 81 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo tanto para el ejemplo se tiene un escurrimiento crítico de $81 \text{ m}^3/\text{s}$ en el punto de interés.

Gasto sólido

Cálculo de los parámetros de la fórmula universal de pérdida de suelo.

- **Factor R**

Con la lluvia de 140 mm/h y una duración de 1 hora se utiliza la ecuación correspondiente para obtener el valor del parámetro R, quedando como

$$R = 0.00576 (75)^2 (1.213 + 0.3865 \ln(75)) = 93$$

- **Factor K**

El tipo de suelo predominante de la cuenca “arena arcillosa” se ubica en la tabla 6.4 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**

Utilizando la tabla 6.5 y con una cobertura vegetal de bosque se obtiene un factor C igual a

$$C = 0.02$$

- **Factor P**

Entrando a la tabla 6.6 con un 60% de reforestación como obras de protección, el factor de P es 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

$$E = 0.224 (93) (0.33) (54.3) (0.02) (0.3) = 2.2$$

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

$$C_s = 0.00063 (2.2)^2 = 0.003$$

Con los valores calculados del gasto líquido (Qp) y la concentración de sedimentos (Cs) 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

$$Q_T = \frac{81}{1 - 0.003} = 81 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$Q_s = 81 - 81 = 0 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.5.4 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 sustituyen los valores de la pendiente y la longitud del cauce principal en la fórmula de Kirpich y se tiene 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 en la sección 6.2, inciso 6.2.8 para tiempos de concentración, se concluye que la cuenca de Motozintla, puede estar sujeta al peligro de avenidas súbitas.

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

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

lo que implica que el área hidráulica permisible sea de

$$A_p = \frac{Q}{V} = \frac{81 \text{ m}^3/\text{s}}{3.31 \text{ m/s}} = 24.5 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, es necesaria un área hidráulica permisible de 24.5 m² para un gasto total de 81 m³/s en nuestra cuenca de ejemplo.

6.5.5 Levantamiento topográfico del arroyo

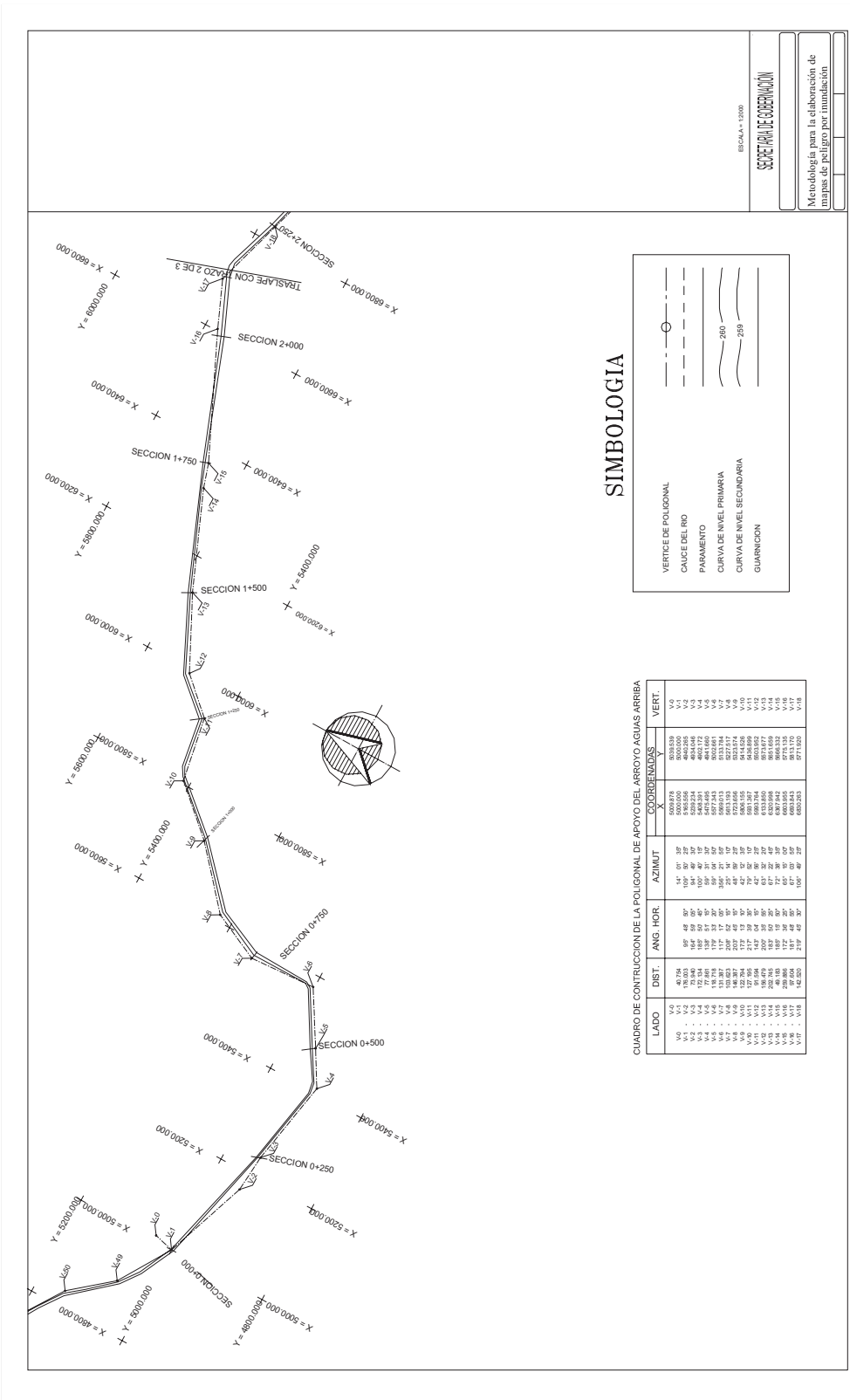
Para el ejemplo se considerará un levantamiento topográfico (figura 6.37) de 475 m de longitud del arroyo, con secciones transversales a cada 25 m, inmediatamente aguas abajo de la salida de la cuenca en estudio.

6.5.6 Determinación del área geométrica de las secciones transversales

Para determinar el área geométrica de las secciones transversales será necesario utilizar un planímetro o un programa de cómputo (por ejemplo, AutoCad) o un método de cuantificación muy sencillo. Para el ejemplo se utilizó AutoCad y con éste se obtuvo el cálculo del área geométrica de las secciones transversales. La tabla 6.16 muestra las áreas geométricas de las secciones obtenidas por este método.

Tabla 6.16 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



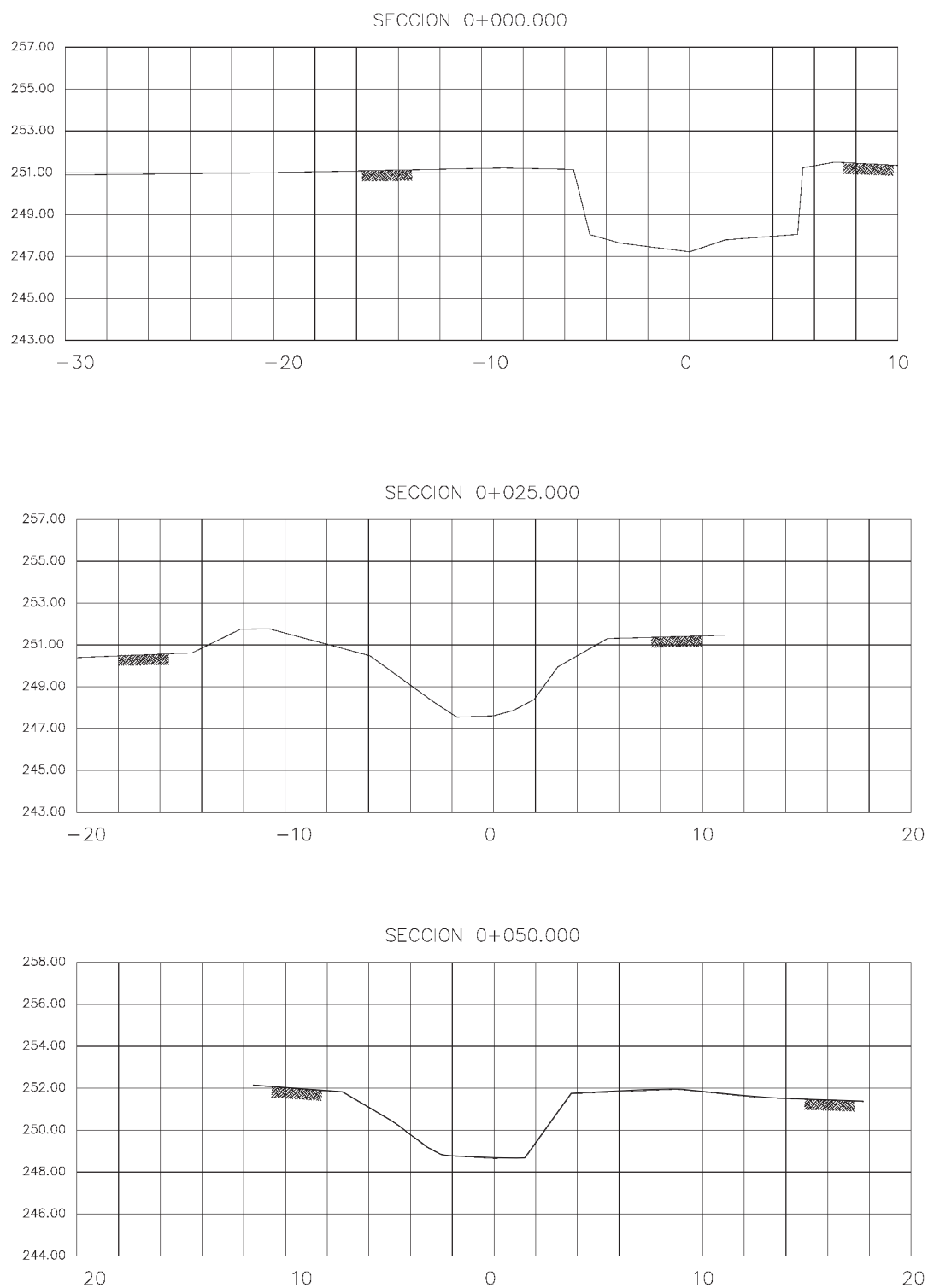


Figura 6.38 Secciones transversales del arroyo a cada 25.0 m

6.5.7 Comparación entre el área hidráulica permisible y el área geométrica

Para saber, si en las secciones transversales se tendrán problemas por desbordamiento, se debe comparar el área hidráulica permisible con las áreas geométricas calculadas.

Para el ejemplo, el área hidráulica requerida de 24.5 m^2 , se compara con el área geométrica de todas las secciones transversales del levantamiento topográfico. En la tabla 6.17 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 presentara la condición de desbordamiento.

Tabla 6.17 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	24.5	11.84	no desborda
0+025.000	18.07	24.5	-6.43	Desborda
0+050.000	22.18	24.5	-2.32	Desborda
0+0750.000	24.16	24.5	-0.34	Desborda
0+100.000	29.39	24.5	4.89	no desborda
0+125.000	12.88	24.5	-11.62	Desborda
0+150.000	29.35	24.5	4.85	no desborda
0+175.000	23.6	24.5	-0.90	Desborda
0+200.000	23.52	24.5	-0.98	Desborda
0+225.000	15.31	24.5	-9.19	Desborda
0+250.000	10.04	24.5	-14.46	Desborda
0+275.000	25.98	24.5	1.48	no desborda
0+300.000	44.04	24.5	19.54	no desborda
0+325.000	110.5	24.5	86.00	no desborda
0+350.000	56.44	24.5	31.94	no desborda
0+375.000	29.31	24.5	4.81	no desborda
0+400.000	32.31	24.5	7.81	no desborda
0+425.000	30.78	24.5	6.28	no desborda
0+450.000	15.65	24.5	-8.85	Desborda
0+475.000	47.43	24.5	22.93	no desborda

6.5.8 Determinación de las zonas inundables

Las zonas inundables se presentan cuando $A_G < A_p$, y se identifican sobre el levantamiento topográfico, utilizando el dibujo en planta de éste, dibujando la traza del nivel del agua que requiere cada uno de los gastos máximos asociados a los diferentes periodos de retorno a ser considerados.

Para determinar el nivel de la traza del agua será necesario identificar el tirante de agua, el cual, se presentará al pasar el gasto pico o máximo por las secciones en el caso donde $A_G < A_p$. La figura 6.17 muestra los tirantes correspondientes al área geométrica de la sección (T_1) y del área hidráulica permisible (T_2). Esta identificación será de forma iterativa, es decir por tanteos, proponiendo tirantes superiores al del área geométrica (T_1) y calculando el área de la sección hasta igualar el valor de ésta a la del área hidráulica permisible.

De esta forma será posible obtener un mapa de peligro como el que se muestra en la figura 6.39.

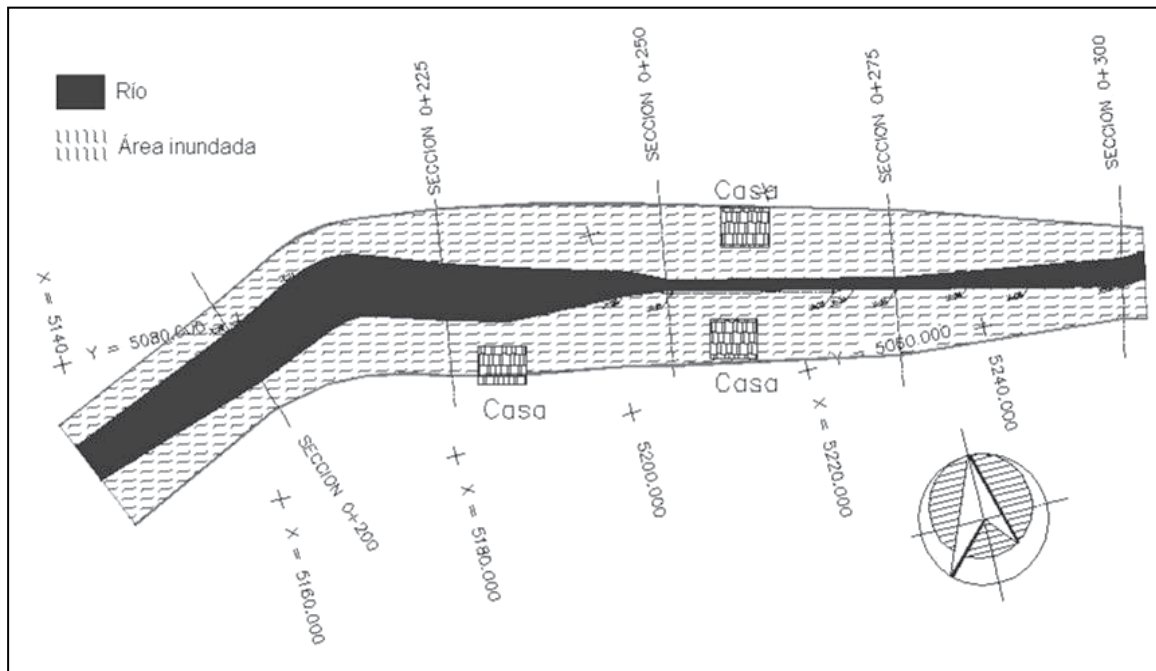


Figura 6.39 Mapa de peligro por inundaciones para un periodo de retorno de cinco años

6.5.9 Identificación de la vulnerabilidad

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

Obtención del plano de la localidad

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 6.18 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						Se analizan tantos escenarios como se desee		
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

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 llena sólo la columna “1” y la “4”.

En este momento el mapa que puede elaborarse es uno similar al que se muestra en la figura 6.40.

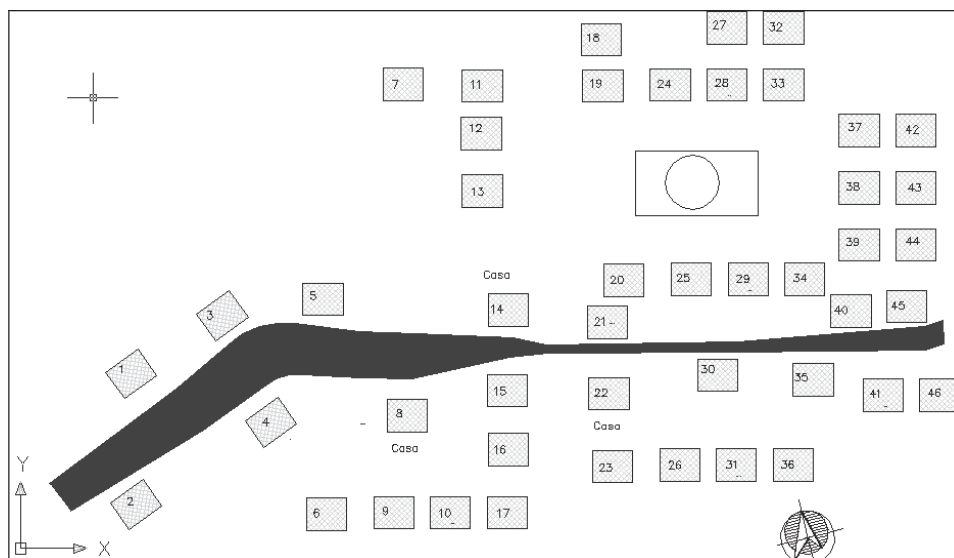


Figura 6.40 Planimetría de la localidad (columna 1 de la tabla 6.18)

Identificación del tipo de vivienda

Si consideramos el material de construcción usado en las paredes de la vivienda, así como el utilizado en el techo, y de acuerdo con la sección 6.3 de esta guía, las viviendas pueden ser clasificadas en uno de los cinco tipos previamente definidos (tabla 6.11). 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 llena la columna “5” y la “6”.

Tabla 6.19 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	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	Adobe	Teja	257.5	III	Media				Se analizan tantos escenarios como se desee		
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						

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

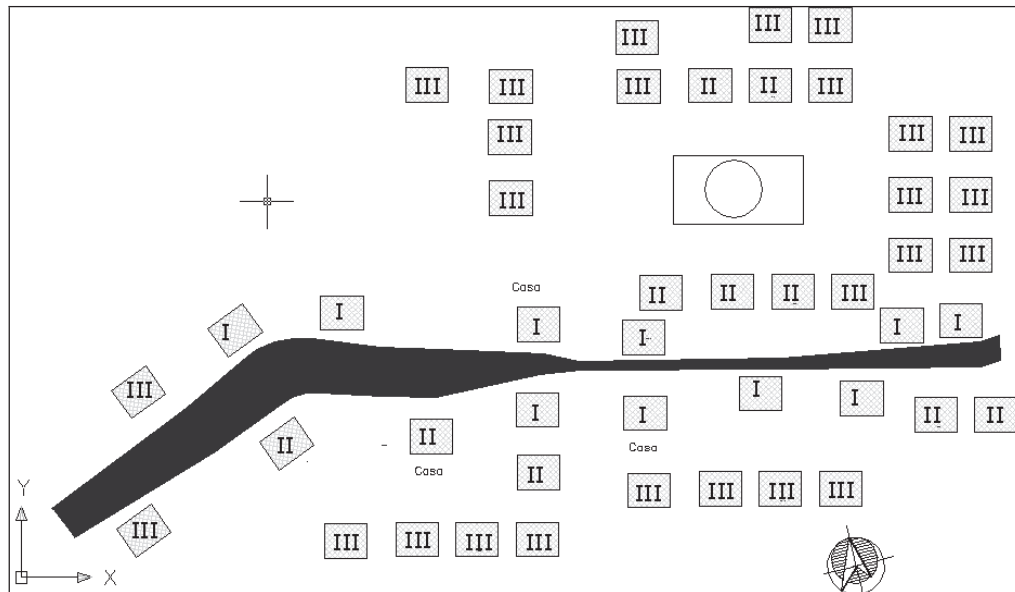


Figura 6.41 Tipificación de la vivienda en la localidad (columna 5 de la tabla 6.19)

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 que corresponde al de vulnerabilidad.

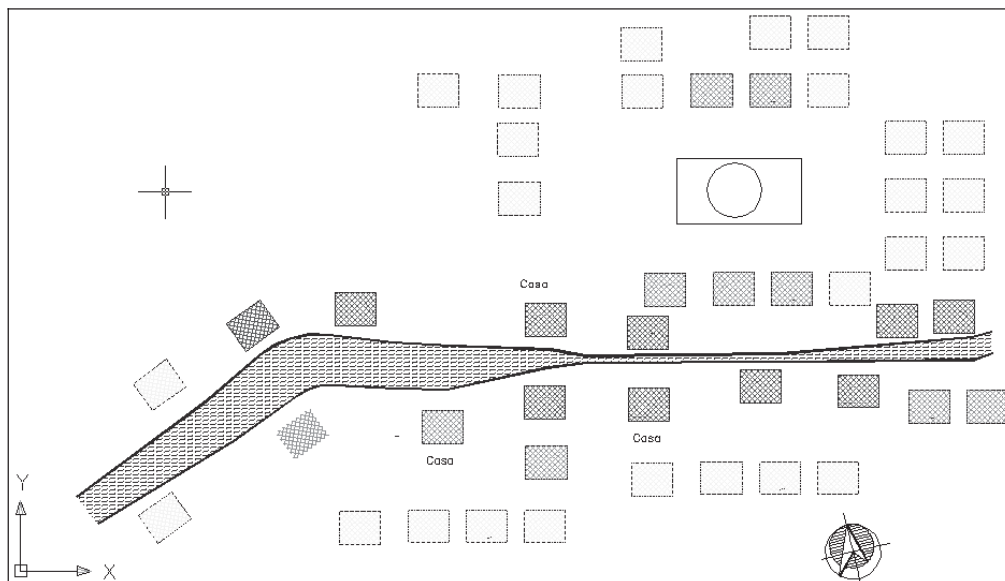


Figura 6.42 Mapa de vulnerabilidad (columna 6 de la tabla 6.19)

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 6.42 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.

6.5.10 Identificación del riesgo por inundación

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

Definición del escenario de interés

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, apartado 6.2, se trabajó con un periodo de retorno de 5 años, por lo que se continuará con ese caso (figura 6.39).

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

Para este caso se toma el mapa elaborado en el apartado 6.5.9, mapa de vulnerabilidad (figura 6.42).

Superposición de los mapas de peligro y vulnerabilidad

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 6.43.

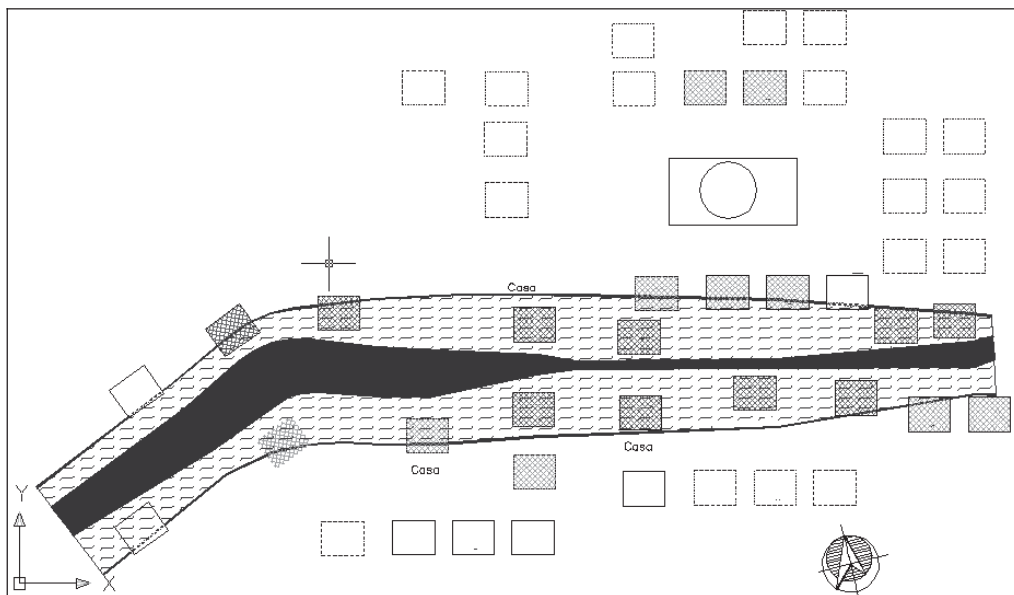


Figura 6.43 Superposición de mapas de peligro y de vulnerabilidad

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.

Obtención del tirante de agua

En la tabla 6.20 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 6.20 Concentrado de la información para la elaboración de mapas de riesgo por inundación. Cuantificación del nivel del agua en las viviendas

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
No.	Material		Nivel de desplante	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	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 6.44 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.

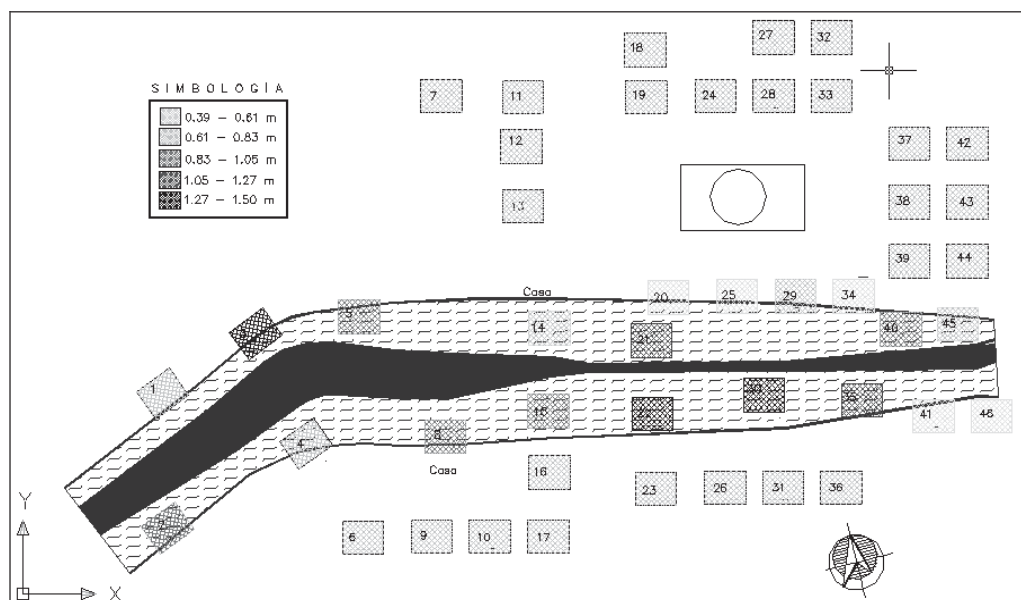


Figura 6.44 Nivel de agua en cada casa afectada por la inundación (columna 8 de la tabla 6.20)

Estimación del riesgo o pérdida por inundación

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 6.22.

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 6.21).

Tabla 6.21 Porcentaje de pérdida según tipo 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 ($Tr = 5$ 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 6.3) 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 6.13, es decir, se espera que la probabilidad de que se presente una inundación sea de 0.1905 ó 19%.

Tabla 6.22 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	8	9	10	11
No.	Material		Nivel de desplante	Tipo	Vulnerabilidad	Escenario $Tr = 5$ años				
	muros	techo				Nivel del agua (m)	Tirante (m)	Daños (%)	Pérdidas (\$)	Índice 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 6.22).

Mapas de riesgo de la localidad

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 6.45). Como se mencionó anteriormente, se pueden elegir rangos del riesgo para poder formar el mapa.

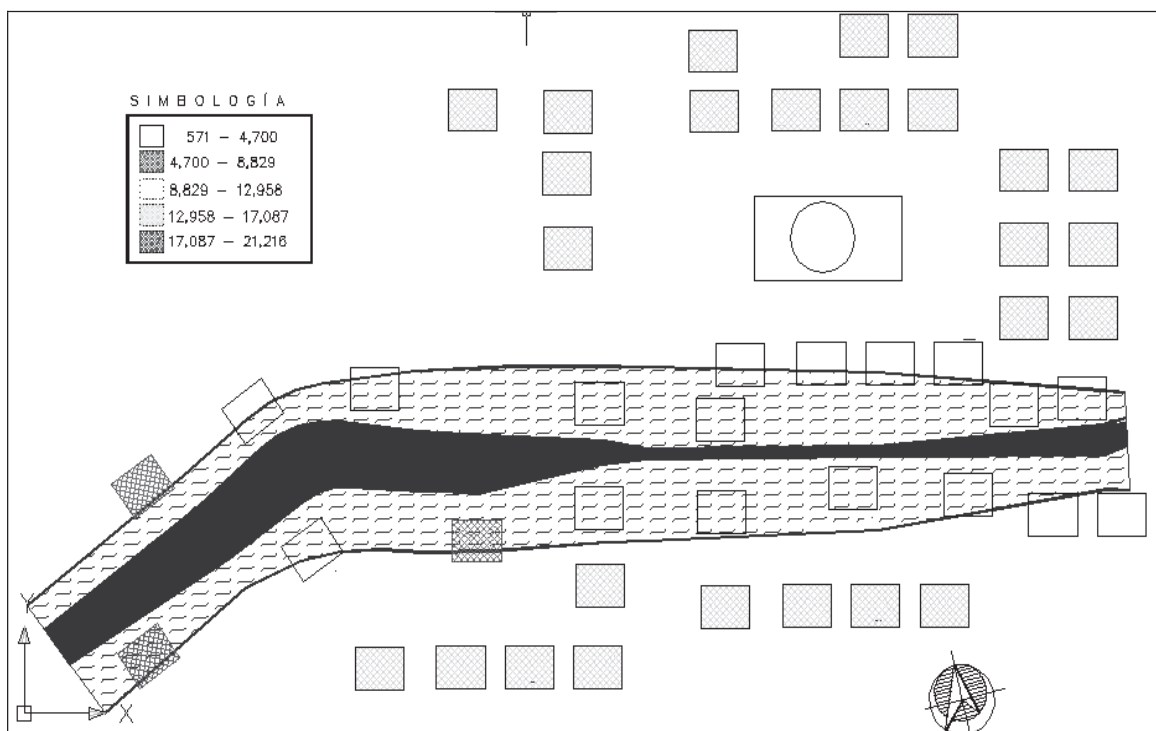


Figura 6.45 Mapa de riesgo de inundación para un $Tr = 5$ años (pérdidas calculadas)

Mapa de índices de riesgo

En caso de que no se desee expresar el riesgo en unidades monetarias, se puede mostrar como un índice de riesgo, tal como se explicó en la sección 6.4, aunque en este caso se eligieron cinco rangos para clasificar el riesgo.

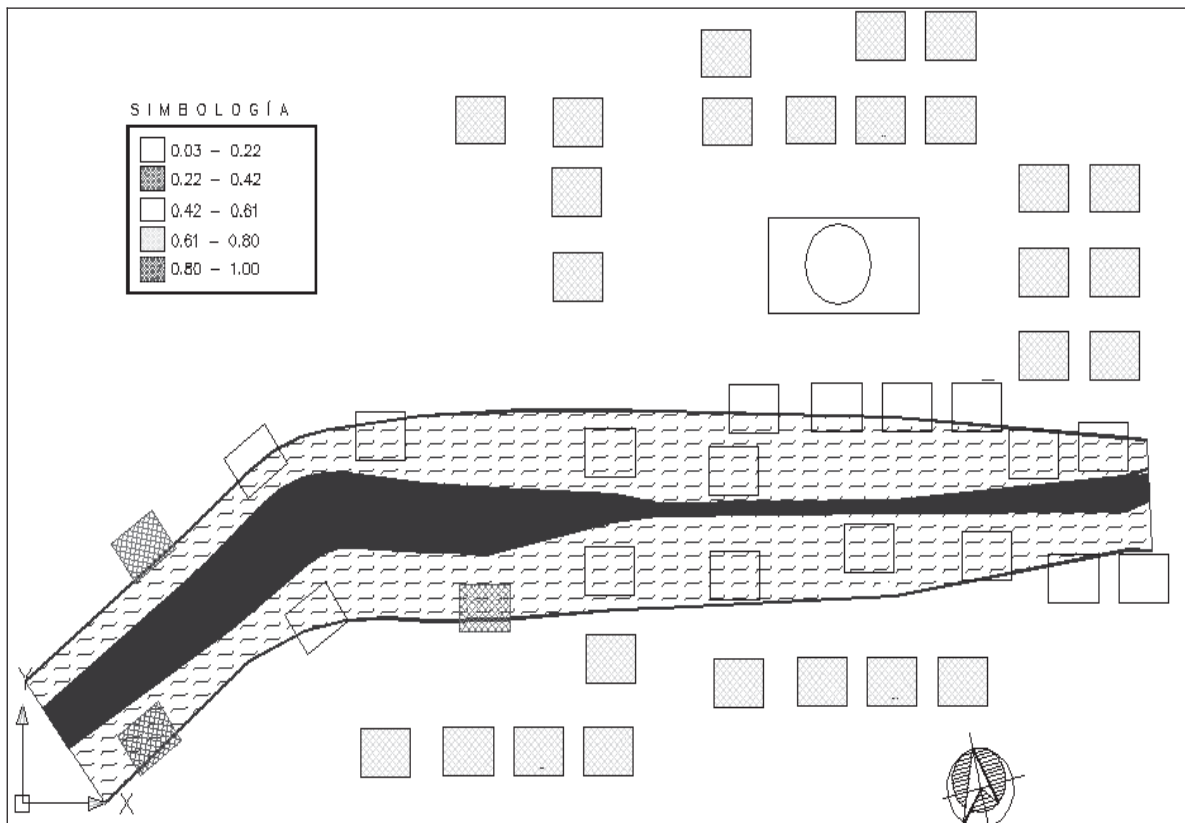


Figura 6.46 Mapa de riesgo de inundación para un $Tr = 5$ años (índices de riesgo)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la metodología mostrada en esta sección se define a grandes rasgos, cómo estimar las pérdidas en una comunidad que sufre una inundación.

La tipificación de la vivienda trata de englobar las características de los diferentes tipos de casas que pueden encontrarse en el país, para que cualquier vivienda pueda ser catalogada en uno de los cinco rangos propuestos. Se ha tratado de ubicar a la vivienda de acuerdo con su tipo, dentro de una escala que va desde asentamiento irregular hasta residencia, con la finalidad de asociar el menaje de la casa de acuerdo con el tipo de la misma, con un error moderado.

Hasta ahora, de acuerdo con el análisis mostrado en los capítulos anteriores, se ha planteado la metodología para elaborar funciones de vulnerabilidad tomando en cuenta el menaje de la vivienda. En el futuro se incorporará el análisis de la vivienda misma, donde el objetivo es tratar de identificar el grado de resistencia, su comportamiento, ante diferentes inundaciones, para estar en posibilidad de identificar cuáles viviendas pueden sufrir daños, en qué grado y cuáles no.

Un análisis más completo de riesgo debería tomar en cuenta a los servicios, 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.

GLOSARIO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Isoyetas: Son líneas que unen puntos de igual precipitación.

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

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

Periodo de retorno: Es el tiempo que, en promedio, debe transcurrir para que se presente un evento igual o mayor a una cierta magnitud. Normalmente, el tiempo que se usa son años. En general, el evento analizado no ocurre exactamente en el número de años que indica el periodo de retorno, ya que éste puede ocurrir el próximo o dentro de muchos años.

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

Red de Drenaje: La red de drenaje de una cuenca esta 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.



Fenómenos Químicos

VII IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y RIESGOS QUÍMICOS

*Rubén Darío Rivera Balboa, María Esther Arcos Serrano,
Cecilia Izcapa Treviño y Enrique Bravo Medina*

RESUMEN

Los accidentes mayores relacionados con el manejo de sustancias químicas peligrosas, se presentan con poca frecuencia; sin embargo, el costo social, ambiental y económico es elevado. La principal herramienta para combatir estos accidentes es la prevención y el primer paso es la adecuada identificación de los peligros asociados al almacenamiento, transporte y distribución de las sustancias y materiales peligrosos.

En este capítulo se presentan los procedimientos para la elaboración de mapas de peligro debido al almacenamiento y transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosas, así como el transporte por ductos de sustancias peligrosas.

7.1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, en México ha habido un proceso de aumento de la población en zonas urbanas con muy poca planeación, respeto a las regulaciones sobre uso de suelo o zonas de reserva ecológica, y menos hacia las zonas vulnerables a ciertos fenómenos naturales y antropogénicos.

La actividad productiva en las diferentes instalaciones industriales generalmente implica el manejo y almacenamiento de sustancias químicas, así como su transporte por las vías de comunicación o mediante tuberías. Muchas de estas sustancias son peligrosas debido a sus propiedades de toxicidad, inflamabilidad, explosividad, reactividad y corrosividad. Dichas sustancias son clasificadas como peligrosas por la Secretaría de Trabajo y Previsión Social para los centros de trabajo de acuerdo con la NOM-018-STPS-2000 *Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas*, por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de acuerdo al *Reglamento para el Transporte Terrestre de Sustancias y Materiales Peligrosos* y la NOM-002-SCT-2003 *Listado de sustancias y materiales más usualmente transportados*; y por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de acuerdo al *Primero y segundo listados de actividades altamente riesgosas*, y en el caso de los residuos peligrosos la NOM-052-ECOL-1993 *Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente*.

A continuación se presentan conceptos básicos sobre accidentes, identificación de peligros y evaluación de riesgo, para posteriormente desarrollar varios procedimientos que permitan la elaboración de mapas de peligro.

7.1.1 Accidentes con sustancias químicas

Los accidentes relacionados con sustancias químicas pueden presentarse por diversas causas, entre las que se incluyen: fenómenos naturales (sismos, huracanes, inundación, erupción volcánica, etc.), fallas operativas en los procesos industriales, fallas mecánicas, errores humanos y causas premeditadas. En el manejo y transporte de sustancias químicas pueden presentarse como consecuencia de un accidente, los siguientes eventos:

Liberación a la atmósfera de gases tóxicos o corrosivos, aerosoles o partículas.
Liberación de líquidos o sólidos peligrosos.
Incendios o explosiones.

De manera general los accidentes pueden provocar daños al ambiente, a las propiedades y a la salud de los trabajadores o a las personas que habitan en los alrededores de las industrias, de las vías de comunicación o de los ductos.

7.1.2 Efectos de los accidentes con sustancias químicas

Los accidentes con sustancias químicas pueden tener efectos negativos sobre:

- La salud de la población a corto y a largo plazo, por ejemplo: irritación de ojos y piel, tracto respiratorio, náusea, vómito, daño renal, hepático, gastrointestinal, respiratorio o neurológico.
- El ambiente: contaminación del suelo, aire y agua (superficial y subterránea).
- Las construcciones: daño a maquinaria y equipos, instrumentos, instalaciones industriales, casas y comercios.
- La economía: suspensión de actividades productivas, pérdida de empleos, gastos de reconstrucción de viviendas y servicios públicos, así como gastos de auxilio a la población afectada.

7.2 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y ANÁLISIS DE RIESGOS QUÍMICOS

7.2.1 Atlas de riesgo

Un atlas de riesgo es una herramienta para la prevención y atención tanto de accidentes como de desastres naturales que debe ser desarrollado en cada comunidad del país. El principal resultado del atlas de riesgo es un programa de manejo y estimación de riesgos (geológicos, hidrológicos, químicos, volcánicos, sísmicos, entre otros) que será implementado por las autoridades estatales y municipales en coordinación con la autoridad correspondiente de Protección Civil.

Para desarrollar los mapas de riesgo es necesario identificar y ubicar los peligros, así como determinar la población expuesta.

7.2.2 Identificación de peligros a nivel municipal

El peligro se puede definir como: *cualquier situación que tenga el potencial de causar lesiones a la vida o daños a la propiedad y al ambiente*. En la identificación de peligros a nivel municipal o local se deben determinar las actividades peligrosas que existen, tal como las instalaciones industriales que manejan y/o almacenan sustancias peligrosas en grandes volúmenes, las carreteras, vías férreas y los ductos por donde se transportan sustancias peligrosas, las sustancias o materiales peligrosos, dónde se ubican, qué tipo de accidente pueden ocasionar y las posibles consecuencias a la población.

El propósito de la identificación de peligros es obtener información como la siguiente:

1. Localizar las instalaciones industriales que manejan sustancias peligrosas
2. Identificar las instalaciones de servicios que usan o almacenan materiales peligrosos
3. Tipo y cantidad de sustancias peligrosas que se manejan
4. Identificar las propiedades físicas y químicas de las sustancias peligrosas
5. Identificar las condiciones de almacenamiento y los sistemas de seguridad
6. Identificar la trayectoria, longitud y diámetro de las tuberías que transportan sustancias peligrosas
7. Identificar las rutas de transporte y distribución de sustancias y materiales peligrosos
8. Identificar y evaluar la naturaleza de los peligros asociados
9. Conocer la naturaleza de los efectos más probables de acompañar a una liberación de material peligroso: incendio, explosión, nube tóxica, etcétera.

El análisis de peligros es una tarea laboriosa, especialmente si la población considerada es grande y existen múltiples fuentes de peligro. Debido a que un análisis completo de los peligros existentes puede requerir de una gran cantidad de recursos, comúnmente se establece un proceso de selección inicial con objeto de limitar la profundidad del análisis, y destinar los recursos al análisis de los peligros más importantes. El análisis de peligros se debe integrar al de vulnerabilidad y a la exposición de elementos en riesgo, para tener un conocimiento total del riesgo en el municipio.

7.2.2.1 Identificación de instalaciones industriales que manejan sustancias peligrosas

En la industria se utilizan y/o elaboran diversas sustancias y materiales peligrosos, asimismo en las actividades comerciales, educativas y de servicios se emplean o manipulan dichas sustancias y materiales.

El peligro que una sustancia puede representar para una localidad depende no solo de las propiedades de la misma, sino también del volumen o cantidad presente y de su ubicación. Una manera de diferenciar a las empresas que manejan sustancias y materiales peligrosos es con respecto al volumen o cantidad existente en sus instalaciones. La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Gobernación elaboraron y publicaron en el Diario Oficial de la Federación el *Primero y segundo listados de actividades altamente riesgosas* (28 de marzo de 1990 y 4 de mayo de 1992); en estos listados se establecen como actividades altamente riesgosas aquellas en las cuales se maneje alguna de las sustancias incluidas en los listados en una cantidad igual o superior a la cantidad de reporte, definida ésta como: *la cantidad mínima de sustancia peligrosa durante la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de éstas, existentes en una instalación o medio de transporte dados, que al ser liberada, por causas naturales o derivadas de la actividad humana, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.*

Las empresas, comercios, instituciones, etcétera, que realizan actividades no consideradas altamente riesgosas de acuerdo a los listados, pueden manejar en sus instalaciones sustancias y materiales peligrosos por lo que es importante también ubicarlas.

Para obtener información sobre las sustancias que se manejan en algún sitio de interés deben considerarse las siguientes instalaciones:

- Refinerías
- Instalaciones industriales
- Almacenamiento de gas LP
- Terminales de autotransporte de carga
- Plantas potabilizadoras de agua
- Plantas de tratamiento de aguas residuales
- Plantas de refrigeración
- Terminales de ferrocarriles: patios de maniobras, áreas de almacenamiento, etc.
- Plantas para tratamiento y/o disposición de residuos
- Terminales marítimas
- Aeropuertos
- Comercios
- Gasolineras
- Tintorerías
- Restaurantes
- Tlapalerías
- Tortillerías
- Mercados
- Estaciones de carburación
- Almacén de materiales pirotécnicos
- Hospitales que manejan materiales radioactivos

Otras instalaciones o sitios que pueden considerarse son:

- Sitios contaminados por sustancias químicas
- Sitios de disposición de residuos químicos industriales
- Rellenos sanitarios, basureros municipales, tiraderos clandestinos

Posterior a la identificación de fuentes de peligros se deberán elaborar listas de las situaciones, eventos o escenarios que poseen el potencial para provocar daños a las personas, las propiedades o el ambiente.

7.2.2.2 Identificación de ductos que transportan sustancias peligrosas

Una liberación a la atmósfera de las sustancias transportadas a través de ductos puede poner en peligro a las personas que vivan o se encuentren próximas al lugar de la fuga. El grado de peligro está en función de las características de las sustancias transportadas, del diámetro de la tubería, de la presión a que se encuentran en el interior de la tubería y de las condiciones en que sean liberadas. Por ejemplo, el gas natural cuyo principal constituyente es el metano, puede crear una nube inflamable cuando se mezcla con el aire; si una cantidad considerable de gas natural es liberado a la atmósfera, éste puede incendiarse o provocar una explosión cuando se encuentre en concentraciones dentro del intervalo de explosividad de la sustancia.

El propano, butano, gas licuado de petróleo y otros productos se transportan en forma líquida, por lo cual de suceder una fuga pueden evaporarse rápidamente y formar una mezcla altamente

inflamable y explosiva; esta mezcla puede formar una nube y desplazarse a distancias considerables en la dirección del viento, antes de su posible ignición.

Los registros históricos sobre accidentes en ductos de transporte o distribución de materiales son importantes ya que permiten evaluar la frecuencia de ocurrencia, el número de veces que se presentaron algunos incidentes y sus consecuencias. En la tabla 7.1 se presentan las causas de fallas en tuberías para el transporte y distribución de materiales.

Tabla 7.1 Causas de fallas en tuberías

Defectos que originan fallas en las pruebas previas al servicio	Defectos que originan fallas durante la operación
a) Defectos en el cuerpo de la tubería: daño mecánico grietas de fatiga debidas al traslado defectos del material b) Defectos en la soldadura longitudinal: Arco sumergido fisuras en el área de soldado fusión incompleta porosidad inclusiones de escoria soldado fuera de la costura penetración incompleta Soldadura eléctrica inclusiones en la línea de soldado fisuras por enganchamiento soldado en frío quemado por contacto desbaste excesivo dureza excesiva c) Defectos de la soldadura en campo: agrietamiento debido a burbujas agrietamiento del metal de soldadura	a) Defectos en el cuerpo de la tubería: daño mecánico defectos del material efectos del ambiente: corrosión agrietamiento debido a hidrógeno agrietamiento por corrosión agrietamiento debido a sulfuros b) Defectos en la soldadura longitudinal: arco sumergido fisuras en la base fisuras debidas a ciclos de carga arco eléctrico corrosión selectiva agrietamiento debido a hidrógeno c) Defectos de la soldadura en campo: penetración insuficiente corrosión (normalmente interna) d) Causas especiales: cargas adicionales debidas a movimientos del terreno cargas adicionales debidas a temblores combustión interna sabotaje arrugas por doblado e) Fallas en accesorios f) Fallas debidas a la operación

Fuente: Kiefer F. John. Oil and Gas Journal marzo 30 de 1987, tomado de Rivera, R. D., 1999.

Para la identificación de los ductos que transportan sustancias peligrosas se debe obtener información lo más detallada posible sobre:

- El operador del ducto
- Tipo de instalación
- Trayectoria
- Dimensiones del derecho de vía
- Material transportado
- Características de la sustancia transportada:
- Estado físico de la sustancia transportada: líquido, gas, dos fases (líquido y gas)
- Presión de operación, en libras sobre pulgada cuadrada o kilogramos sobre centímetro cuadrado
- Temperatura de la sustancia, en grados centígrados
- Historial de accidentes.

7.2.2.3 Identificación de carreteras en las que se transportan sustancias peligrosas

Los accidentes en el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos son eventos que se consideran poco frecuentes; sin embargo una liberación accidental del material puede ocurrir y tener impactos de consideración al ambiente, a los bienes materiales y a las personas próximas al sitio del incidente.

El peligro en el transporte de estos materiales depende en primer lugar de las características de los mismos. Para la identificación de peligros se requiere: conocer las consecuencias específicas indeseables y la identificación del material y del sistema que puedan provocar estas consecuencias.

La descripción del sistema (tipo de vehículo, condiciones del camino, etc.) incluye las particularidades que limitan el caso a analizar. En el caso del transporte de materiales y residuos peligrosos estas particularidades incluyen las relacionadas a la trayectoria, el vehículo y el material transportado; por ejemplo: inicio y destino de la ruta, clases de camino, longitud total de la ruta, topografía del terreno, características del vehículo, características del recipiente, condiciones en que se encuentra el material transportado, distribución de la población en las áreas adyacentes, condiciones meteorológicas, propiedades físicas y químicas del material transportado.

Cuando la ruta de transporte se divide en segmentos debe considerarse para cada caso:

- Modo de transporte: autotransporte, ferrocarril
- Densidad o distribución de la población en las áreas contiguas a la trayectoria
- Volumen de tráfico
- Clase de camino o vía férrea

Para la identificación de sitios (o segmentos) y tramos peligrosos se han establecido diversos criterios entre ellos se incluyen los siguientes:

- *El número de accidentes (o accidentes por unidad de longitud de carretera) en un periodo, que exceda un nivel establecido (por ejemplo, 3 por año).* Este criterio no toma en cuenta el nivel de exposición, esto es que para un tramo de carretera no se considera el número de vehículos que transitan por dicho tramo.
- *La tasa de accidentes para un periodo dado, que exceda un valor establecido.* Este criterio toma en cuenta el nivel de exposición. Las tasas se expresan usualmente en términos de accidentes por millón de vehículo-kilómetros, para el caso de carreteras; para el caso de las intersecciones se han utilizado una variedad de métodos para determinar el nivel de exposición.

Lo anterior permite identificar los peligros debidos al transporte de materiales y residuos peligrosos en el sitio de interés.

El riesgo en el transporte puede establecerse en términos de la probabilidad de un accidente y sus consecuencias, por lo cual el registro de accidentes y su análisis son imprescindibles para determinar las frecuencias y probabilidades necesarias para la estimación del riesgo. La estimación del riesgo inicia con la comprensión del nivel de exposición (número de envíos, toneladas transportadas, distancia recorrida), tipo de incidente, causa y frecuencia, y las consecuencias del incidente (muerte, lesiones, daños), para la posterior integración de los resultados.

Los alcances deberán ser consistentes con los objetivos de un análisis de riesgo. El juicio y la experiencia de los responsables del proceso de evaluación de riesgos tiene gran importancia para delimitar los alcances; sin embargo, esta tarea puede iniciar identificando:

- Rutas de transporte establecidas y alternativas.
- Selección de los segmentos de la trayectoria ubicados en zonas de alta densidad poblacional.
- Los segmentos con mayor tránsito vehicular o que presentan mayores índices de accidentes.
- Las circunstancias especiales que determinen la utilidad de un segmento, por ejemplo cuando este camino es el único acceso a una población.

Cuando el estudio posee un alcance mayor, los objetivos pueden incluir: áreas ambientalmente sensibles, áreas de recarga de acuíferos, zonas de importancia histórica, proximidad a ríos, características del suelo, etcétera.

7.2.3 Análisis de riesgo

El proceso del análisis de riesgo permite revisar de manera cualitativa y cuantitativa los riesgos, abarcando desde eventos frecuentes a eventos raros y de baja consecuencia a eventos mayores. Los componentes o técnicas del proceso de análisis de riesgos ayudan a identificar los mayores contribuyentes al riesgo y por lo tanto se pueden hacer recomendaciones y ayudar en la toma de decisiones y en la aplicación de medidas para su disminución. El análisis de riesgo puede variar en profundidad desde un estudio elemental hasta uno de mayor detalle, de acuerdo al número de incidentes considerados, a la manera en que se obtienen las frecuencias y probabilidades, así como los modelos empleados para la determinación de consecuencias. La complejidad de los modelos para la determinación de consecuencias puede variar, desde ecuaciones algebraicas simples a funciones extremadamente complejas. Asimismo, el número de incidentes considerados puede variar de acuerdo con las clases de incidentes: incidente menor (zona de afectación limitada), incidente mayor (zona de afectación media) o incidente catastrófico (zona de afectación extensa).

El análisis de riesgo proporciona información sobre:

- Eventos precursores y causas potenciales de accidentes.
- Probabilidad de que una liberación de una sustancia peligrosa ocurra y de que exista cualquier condición ambiental inusual, o la posibilidad de incidentes simultáneos.
- Tipo de daño o lesión a la población y los grupos de riesgo asociados.
- Tipo de daño a la propiedad (temporal, reparable, permanente).
- Tipo de daño al ambiente (recuperable, permanente).
- Riesgos posibles, estrategias de prevención y mitigación.
- Magnitud del riesgo.

Asimismo, el análisis de riesgos proporciona una base para comparar sitios de acuerdo al grado de riesgo que presentan y posteriormente establecer prioridades en la planeación de emergencias.

7.2.3.1 Definición de riesgo e incidente

El riesgo puede definirse como: *una medida de la pérdida económica o del daño a personas en términos tanto de la probabilidad del incidente como de la magnitud de la pérdida o daño.* A su

vez, un incidente puede definirse como: *la pérdida de contención de material o energía*; un ejemplo de incidente es la liberación de 100 kg/min de amoníaco debido a una falla en la válvula de seccionamiento x.

Como resultado de un incidente se identifica su manifestación física; para el caso de materiales tóxicos el resultado de un incidente es una liberación tóxica, mientras que para materiales inflamables el resultado de un incidente puede ser una BLEVE (explosión por expansión del vapor de un líquido en ebullición, por sus siglas en inglés Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion), ráfaga de fuego (flash fire), explosión de nube de vapor no confinada, etcétera. Se entiende por resultado de un incidente a: *la definición cuantitativa de un caso simple o particular resultado de un incidente mediante la especificación de los parámetros suficientes que permitan la distinción de este caso con respecto a otros, producto del mismo resultado de un incidente*. Ejemplo de un caso particular resultado de un incidente es: la concentración de 3333 ppm de amoníaco a una distancia de 610 metros viento abajo, para una tasa de liberación de 4.5 kg/seg, estabilidad D y velocidad del viento de 2.25 km/h.

7.2.3.2 Medición del riesgo

Para calcular de manera cuantitativa el riesgo es necesario determinar y seleccionar todos los incidentes, una vez definidos éstos, se establecen los resultados de los mismos y de los casos particulares resultado de los incidentes. No existe una manera única de medir el riesgo, y la medición estará determinada por la información y los recursos disponibles, así como el propósito para el cual se hace la estimación.

Riesgo individual

El riesgo individual considera el riesgo para una persona ubicada en cualquier punto de la zona de impacto de un incidente. Considerando lo anterior puede estimarse para los individuos más expuestos, para personas en lugares específicos o para un individuo promedio en la zona de afectación, obteniéndose para cada caso, valores diferentes de riesgo ante un mismo incidente. Dentro de las medidas de riesgo individual pueden considerarse:

Contornos de riesgo individual: muestran la frecuencia esperada de un evento que puede causar un nivel específico de daño en una localización establecida, se encuentre o no alguien presente en el sitio para sufrir el daño.

Riesgo individual máximo: es el riesgo de una o más personas expuestas al riesgo mayor.

Riesgo individual promedio: puede determinarse de varias maneras:

- Considerando a la población expuesta (riesgo individual promedio de la población expuesta).
- Considerando a la población total (riesgo individual promedio de una población predeterminada, sin importar si toda la gente está expuesta a un riesgo).
- Considerando a las horas de exposición sobre horas trabajadas (riesgo individual de una actividad de acuerdo a la duración de un día de trabajo).

El riesgo individual expresa el riesgo de lesiones serias o muerte, debidas a la exposición de un individuo en las cercanías de una fuente de peligro, se reporta comúnmente como $año^{-1}$, y se presenta usualmente en forma de contornos de iso-riesgo (áreas que presentan el mismo valor de riesgo).

Riesgo social

Riesgo social es una medida de riesgo sobre un grupo de personas, se expresa frecuentemente en términos de la distribución de frecuencias de eventos que presentan múltiples resultados de incidentes. Para el cálculo del riesgo social se emplea la misma información sobre frecuencias y consecuencias que el riesgo individual; adicionalmente el riesgo social requiere para su estimación de la identificación de la población en riesgo alrededor de la instalación considerada.

Para el análisis detallado del riesgo social se requiere información específica de la población próxima a las instalaciones, que puede incluir:

- Información sobre el tipo de población (ejemplo: residencial, oficina, escuelas, etc.) para evaluar los factores de mitigación
- Información sobre comportamientos horarios
- Información sobre efectos en función de los días de la semana (para instalaciones industriales, educativas o recreativas)
- Información sobre el porcentaje de tiempo que la población se encuentra en el interior de sus casas, para evaluar factores de mitigación.

Existen diferentes maneras de presentar el riesgo social, la más frecuentemente utilizada es la curva F-N o gráfico Frecuencia- Número de muertes.

El riesgo social es particularmente importante cuando se evalúa el riesgo a la población, como son las áreas de alta densidad poblacional a lo largo de la trayectoria del ducto o alrededor de una instalación industrial. Asimismo, en el cálculo del riesgo social debe reflejarse con la mayor precisión posible la situación real de acuerdo a las características de la distribución de la población, el tipo de vivienda o construcción, la habilidad de la gente para evacuar el sitio, las fuentes de ignición y las condiciones meteorológicas.

7.2.3.3 Frecuencia y probabilidad de un incidente

El proceso de evaluación de riesgo implica la estimación de la frecuencia del incidente, así como la probabilidad y consecuencia de eventos no deseados. La estimación de frecuencias y probabilidades puede realizarse a partir de datos históricos o de la aplicación de otras técnicas, tales como árbol de fallas y de eventos, estimación subjetiva, etcétera.

La frecuencia de un incidente se expresa como el número de eventos esperados por unidad de tiempo, la probabilidad no posee unidades y se utiliza para describir la posibilidad de un evento durante un periodo de tiempo especificado (ejemplo: un año), probabilidad de falla por demanda, o la probabilidad condicional de que un evento ocurra dado que el evento precursor ya se ha presentado.

7.2.3.4 Análisis de consecuencias

El objetivo del análisis de consecuencias es cuantificar el impacto negativo de un evento. Las consecuencias generalmente se miden en términos del número probable de muertos, aunque también es posible expresarlas en función del número de lesionados o de daños a la propiedad. Normalmente se consideran tres tipos de efectos: radiación térmica, ondas de sobrepresión por explosión, y exposición a sustancias tóxicas. Existe una gran variedad de modelos que se utilizan en el análisis de consecuencias, los cuales pueden agruparse en los siguientes tipos: de fuente y dispersión, de fuego y explosión, así como los modelos de efectos.

Los modelos de fuente y dispersión proporcionan información cuantitativa sobre tasas de liberación y dispersión, así como de niveles de concentración en la atmósfera de la sustancia considerada con respecto a la fuente de liberación y las condiciones en que se realiza la liberación y dispersión de la sustancia en la atmósfera.

Los modelos para fuego y explosión convierten la información sobre nubes formadas por sustancias inflamables en medidas sobre el peligro potencial.

Los modelos de explosión de nube de vapor no confinada, los modelos de ignición instantánea, de explosión, BLEVE y de bola de fuego estiman las ondas de choque por sobrepresión, velocidad de proyección de fragmentos y niveles de radiación térmica.

Los modelos de efectos convierten los resultados específicos de un incidente en efectos sobre personas y estructuras.

Los modelos anteriores se basan en el principio de que la severidad con que un incidente afecta a las personas o estructuras, está en función de la distancia con respecto a la fuente de liberación del material o para el caso de nubes explosivas, del punto de detonación.

Una vez determinada la distribución de los niveles de concentración, radiación térmica y/o ondas de choque de sobrepresión para los incidentes considerados, el paso siguiente es la determinación de las consecuencias.

Una manera de establecer las consecuencias como resultado de un incidente es el modelo de efecto directo, el cual predice los efectos sobre las personas o estructuras basado en un criterio preestablecido, por ejemplo: se considera que las personas expuestas a cierta concentración de una sustancia tóxica en la atmósfera morirán.

El análisis de consecuencias debe contemplar como mínimo:

1. La cantidad de sustancia liberada.
2. La concentración de sustancia, la cantidad de radiación o sobrepresión que pueda alcanzar a las personas, o a las propiedades.
3. Los procesos físicos y mecanismos de dispersión por los cuales una sustancia puede alcanzar y afectar a las personas próximas al lugar de la fuga, o dañar al ambiente.
4. Los efectos esperados de la sustancia liberada.

Las consecuencias de los eventos pueden estimarse de una manera cuantitativa o cualitativa, o en ambas. Los procedimientos cualitativos a menudo utilizan categorías relativas como son: severo, moderado o insignificante, dependiendo de la severidad del incidente; a menudo las categorías cualitativas se establecen a partir de una consecuencia esperada (por ejemplo: 1 ó 5 lesionados). Los procedimientos cuantitativos estiman el nivel esperado de severidad en términos del número de heridos, muertos, etcétera. Los procedimientos semicuantitativos a menudo usan un índice numérico para expresar las consecuencias relativas de un evento.

En la figura 7.1 se muestra un diagrama de riesgo donde se establecen a partir de intervalos de probabilidad y de consecuencias, diferentes categorías de riesgo.

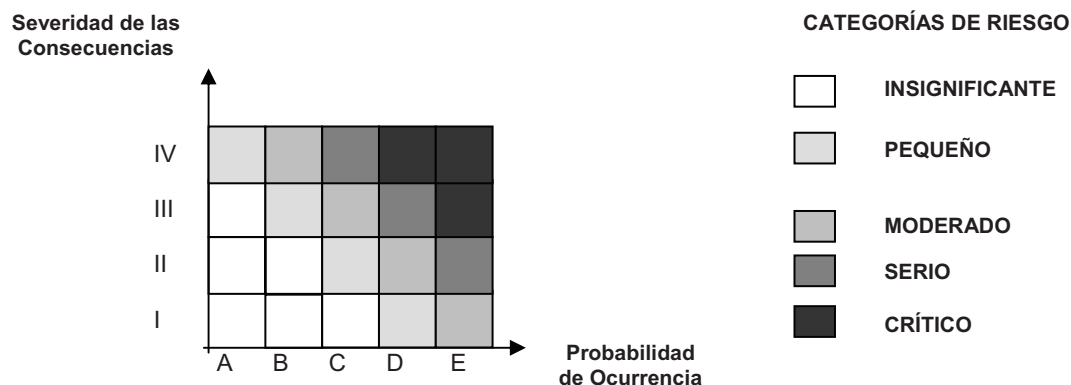


Figura 7.1 Diagrama de Riesgo

En las tablas 7.2 y 7.3 se definen las diferentes categorías de severidad de las consecuencias y de probabilidad de ocurrencia empleadas en el diagrama de riesgo.

Tabla 7.2 Categorías de severidad de consecuencias

Categoría de consecuencia	Descripción
I. insignificante	No hay degradación mayor en el sistema, daños insignificantes que no representan riesgo.
II. marginal	Degradación moderada del sistema, con consecuencias que pueden ser controladas.
III. crítica	Se degrada el sistema y los daños causados representan un riesgo inaceptable.
IV. catastrófica	Severa degradación del sistema o ambiente, pérdidas económicas y humanas graves.

Tabla 7.3 Categorías de probabilidad de ocurrencia

Categoría	Frecuencia de ocurrencia	Descripción
A - muy raro	$f < 10^{-4}$	Ocurrencia teóricamente posible, pero técnicamente improbable
B - raro	$10^{-3} > f > 10^{-4}$	No se espera que ocurra
C - eventual	$10^{-2} > f > 10^{-3}$	Probablemente ocurra
D - probable	$10^{-1} > f > 10^{-2}$	Se espera que ocurra una vez en 25 años
E - frecuente	$f > 10^{-1}$	Es posible que ocurra más de una vez en 25 años

Estimación o valoración del riesgo

Una vez que los diferentes escenarios han sido identificados, la frecuencia de los eventos y sus consecuencias han sido determinadas, entonces el riesgo puede evaluarse. El riesgo puede estimarse de manera cualitativa, cuantitativa o en ambas formas, dependiendo del proceso usado para el análisis de frecuencias y de consecuencias. En esta etapa de la evaluación de riesgos se puede obtener un perfil de riesgos, esto es, un gráfico de la frecuencia contra el número acumulado de lesionados o muertes. La ventaja de presentar en esta forma los resultados es que incluye la distribución de la población alrededor del segmento considerado y las condiciones meteorológicas locales.

Criterios de aceptación para riesgo individual y social

Diferentes países, incluidos Australia, Reino Unido y Holanda, emplean criterios numéricos de riesgo individual para evaluar la tolerancia y aceptación de una instalación en términos de seguridad. Un acercamiento es establecer un límite superior el cual no se debe rebasar y un límite inferior o de riesgo despreciable, dentro de este intervalo se deben considerar medidas de seguridad y analizarse de acuerdo con su pertinencia y costo-beneficio. En Holanda el límite de riesgo individual para nuevas instalaciones (que incluyen a los ductos) es de 10^{-6} /año; sin embargo, es posible sobrepasar este límite de acuerdo con un estudio y su aprobación por parte de las autoridades correspondientes, sobre la base de ALARA (as low as reasonably achievable, tan bajo como razonablemente sea factible).

En el Reino Unido existe un criterio para instalaciones industriales peligrosas el cual no aplica formalmente a ductos pero se considera; el criterio se basa en el triángulo ALARP (as low as reasonably practicable, tan bajo como razonablemente sea practicable), este triángulo está constituido por una región para la cual el riesgo es no tolerable (mayor a 10^{-4} /año o 1 en 10000/año), una región de riesgo tolerable donde se aplica el criterio ALARP para la reducción de riesgos (menor de 10^{-4} /año hasta 10^{-6} /año o 1 en 1000000/año), una región de riesgo ampliamente aceptable (menor de 10^{-6} /año hasta 3×10^{-7} /año o 3 en 10 millones/año) y una región de riesgo aceptable (menor a 3×10^{-7} /año).

El cumplimiento con los criterios de riesgo individual es condición necesaria más no suficiente, una vez que se han satisfecho éstos, el riesgo social debe también examinarse para algunas circunstancias. La evaluación del riesgo social para ductos es particularmente distinta a otras instalaciones fijas ya que éstos se ubican a lo largo de una trayectoria que puede atravesar áreas con diferentes densidades de población. Cuando se considera hacer una evaluación del riesgo social, lo más común es considerar poblaciones específicas (puntos de interés), o usar densidades de población uniformes. En Holanda se ha establecido provisionalmente un valor para riesgo social por kilómetro de longitud de 10^{-4} /año para 10 muertes, 10^{-6} /año para 100 muertes, etcétera; sin embargo las autoridades pueden desviarse de estos valores siempre y cuando se justifique apropiadamente. En el caso de México no existen aún estos criterios, por lo cual deberá evaluarse su desarrollo.

7.3 DETERMINACIÓN DE ZONAS VULNERABLES

En el análisis de vulnerabilidad se identifican los puntos de la población susceptibles a ser dañados. El análisis de vulnerabilidad proporciona la siguiente información:

- La extensión de la zona vulnerable debido a una liberación de materiales peligrosos y las condiciones que influyen en la zona de impacto.

- Tamaño y tipo de población dentro de la zona afectable.
- Propiedad pública o privada que puede ser dañada, incluyendo los sistemas de soporte y las rutas o corredores de transporte.

Los sistemas que se deben de considerar como vulnerables y en los cuales es necesario estimar la población que puede verse afectada durante una emergencia, son los siguientes:

- Casas habitación
- Zonas comerciales
- Mercados
- Iglesias
- Escuelas
- Hospitales
- Zonas industriales
- Subestaciones eléctricas
- Estaciones de bombeo de agua
- Reservas ecológicas
- Cuerpos de agua superficiales y subterráneos
- Zonas ganaderas
- Zonas agrícolas
- Zonas avícolas
- Zonas pecuarias
- Terminales de transporte de pasajeros (terrestre y aérea)
- Terminales marítimas
- Puertos y aduanas

7.4 RECURSOS PARA LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Una emergencia con materiales peligrosos, es un suceso inesperado que puede afectar al ambiente y a la población en el área próxima al sitio donde sucede un accidente o incidente con materiales peligrosos. Cuando sucede un accidente se requiere la interacción y cooperación de diversas autoridades, dependencias y en su caso empresas u organizaciones privadas. La atención de una emergencia puede dividirse en cuatro componentes:

- Identificación de la naturaleza de la emergencia.
- Evacuación de la población en riesgo.
- Aislamiento y confinamiento del incidente.
- Mitigación de los efectos de la emergencia y descontaminación.

La respuesta a una emergencia se relaciona de manera directa o indirecta con cada uno de los componentes anteriores. Así, puede decirse que es la parte del manejo en la cual el personal está involucrado en el control de un incidente con materiales peligrosos mediante operaciones defensivas y/u ofensivas.

Cuando la respuesta a una emergencia, de manera especial para el caso de los materiales peligrosos, es oportuna y calificada, el incidente puede controlarse antes de que las consecuencias sean mayores; sin embargo, si el lapso entre el incidente y el inicio de las acciones de respuesta se incrementa, la posibilidad de que las consecuencias sean mayores también aumenta. Es así, que la

efectividad de la respuesta a emergencias (en lo relativo a tiempo y acciones) se relaciona directamente con la disminución en la severidad de las consecuencias de un incidente.

Para atender de manera adecuada una emergencia con materiales peligrosos se requiere de una planeación efectiva. Para el desarrollo de uno o más planes de atención se necesita información diversa, que incluye entre otros: los posibles tipos de emergencias, características del recipiente que contiene al material, propiedades del material, condiciones particulares en que se encuentra el material, distribución de la población, características del sitio donde ocurre el incidente, capacidades materiales y humanas de los organismos responsables de la respuesta, localización de los organismos responsables de la respuesta, tiempo requerido para el arribo al sitio del accidente o incidente de los grupos de respuesta e inventario de los recursos disponibles de grupos voluntarios.

Durante el transporte y almacenamiento de materiales y residuos peligrosos existe la posibilidad de que sucedan liberaciones, cuando esto ocurre las autoridades locales deberán participar en la atención del incidente. Debido a lo anterior es conveniente que las autoridades establezcan y mantengan una adecuada capacidad de respuesta a emergencias, así como planearse las acciones de respuesta, para lo cual se debe considerar lo siguiente:

Tamaño de la localidad: la cantidad de peligros depende del tamaño de las ciudades, el tipo de actividades industriales existentes y de las características de sus instalaciones; en ciudades pequeñas y con poca actividad industrial puede existir un menor número de peligros. Asimismo se debe considerar el tamaño de la población posiblemente afectable.

Nivel de peligro: el nivel de peligro existente dependerá de la cantidad, número y tipo de materiales peligrosos que se producen, procesan, almacenan o movilizan en la ciudad, zona o región.

Nivel de preparación: de acuerdo a los recursos disponibles, de la capacitación y organización de las dependencias y organismos locales, del tamaño de la ciudad y del nivel de los peligros existentes, una ciudad puede requerir una mayor o menor preparación para la respuesta a incidentes con materiales peligrosos.

Considerando lo anterior, es posible actuar para disminuir el impacto de un incidente, mejorar los sistemas de alertamiento, mejorar el nivel de entrenamiento de la industria (relacionada con el manejo de materiales y residuos peligrosos), y del personal local de respuesta, así como lograr una mejor preparación de la comunidad ante un incidente con materiales peligrosos.

7.5 MAPAS DE PELIGRO Y DE RIESGO

Un mapa es la representación plana de una parte de la tierra, en nuestro caso de una parte del país o estado, en el cual pueden representarse gráficamente diversos elementos. Cualquier espacio representado en un mapa puede ser:

- Localizado, cuando se sitúa un punto con precisión
- Ubicado, cuando además se relaciona con su espacio inmediato
- Medido, determinando magnitudes y distancias por medio de escalas.

Así, la elaboración de un mapa donde se representen los peligros o los riesgos, permite localizar, ubicar y hacer mediciones sobre los mismos y las consecuencias de un incidente debido a la liberación de sustancias o materiales peligrosos.

Para la identificación de los sitios y las áreas en las que existe algún peligro debido al manejo, almacenamiento o transporte de sustancias y materiales peligrosos, de manera general se debe realizar lo siguiente:

1. Localizar en un plano base (cuyas características se indican más adelante) las instalaciones en las cuales se manejan y almacenan sustancias peligrosas y las vías de comunicación por las cuales se transportan estas sustancias y materiales peligrosos.
2. Establecer los posibles escenarios de incidentes (por ejemplo, fuga o liberación de 100 litros de amoníaco) y los resultados de los incidentes (por ejemplo, radio de afectación de 250 metros debido a nube tóxica, en el cual se alcanza una concentración igual a la *inmediatamente peligrosa para la vida y la salud*, IPVS (en inglés IDLH, Immediately Dangerous for Life and Health).
3. Indicar en el plano base las áreas de afectación debido a los incidentes con sustancias y materiales peligrosos, de acuerdo al resultado de cada incidente del escenario propuesto.
4. Señalar en el plano base los puntos o sitios de interés que pueden verse afectados (escuelas, hospitales, fuentes de abastecimiento de agua, etc.).

7.5.1 Información básica

Para la elaboración del atlas de peligros y riesgos en lo referente a riesgos químicos se debe obtener la información básica descriptiva del estado en la cual está ubicada la localidad en estudio, esta información incluye:

Aspectos generales de la entidad federativa

Descripción del estado de la República en el cual se ubica la localidad de interés; esto incluye:

- a) Características del estado
 - Nombre del estado.
 - Ubicación geográfica del estado (ejemplo: porción centro-este).
 - Superficie: en kilómetros cuadrados.
 - Coordenadas de referencia para el estado.
 - Estados con los que limita en cada dirección.
 - Aspectos relevantes, por ejemplo: montañas, volcanes, lagunas, ríos, etc. y sus características.
 - Altura promedio sobre el nivel del mar u otras relevantes.
 - Número de habitantes.
- b) División municipal
 - Indicar el número de municipios que componen al estado.
 - Indicar y describir los principales municipios y las actividades económicas que se realizan en éstos.
- c) Vías de comunicación
 - Carreteras: indicar su extensión para los diferentes tipos, carreteras principales (origen, ciudades intermedias, destino).

Vías férreas: indicar su extensión, principales vías (origen, ciudades intermedias, destino).
Aeropuertos: ubicación y características.

d) Características climáticas

Describir de manera general los tipos de clima existentes en el estado y sus características: heladas, granizadas, precipitación, huracanes, etcétera.

e) Características geológicas y sísmicas

Describir y localizar los aspectos relevantes sobre geología y sismicidad del estado.

f) Hidrología

Establecer la ubicación e indicar las principales características de las aguas superficiales existentes en el estado (ríos, presas, lagos, etc.): ubicación, extensión, usos, etcétera.

Establecer la ubicación e indicar las características de las aguas subterráneas existentes en el estado.

La anterior información básica a nivel estatal, deberá desarrollarse de la manera más detallada posible para la localidad en la cual se desean ubicar y determinar los peligros y riesgos debidos al manejo de sustancias y materiales peligrosos.

7.5.2 Procedimientos para la elaboración de mapas de peligros

A continuación se presentan tres procedimientos para la elaboración de mapas de peligros que corresponden al almacenamiento, transporte terrestre y por ductos de sustancias y materiales peligrosos. Estos procedimientos forman parte de la primera etapa, que tiene como propósito homogenizar los planteamientos existentes para la elaboración de mapas de peligros. En etapas posteriores se desarrollarán los procedimientos para la evaluación de riesgos y para la elaboración de mapas de riesgo.

7.5.2.1 Procedimiento para la elaboración de mapas de peligro para el almacenamiento de materiales peligrosos

Primera etapa: mapa de peligro

1.- Identificación de industrias que manejan sustancias peligrosas

Identifique las industrias que manejan sustancias químicas y/o materiales peligrosos en su municipio, obteniendo su dirección y de ser posible establezca su ubicación geográfica (latitud y longitud) estos datos son indispensables para geo-referenciar las industrias en un Sistema de Información Geográfica (SIG), esto puede hacerse con el uso de un GPS (Global Positioning System, sistema de posicionamiento global).

En el municipio deberán considerarse a las industrias químicas, de alimentos, farmacéutica y metalmecánica de acuerdo con la tabla 7.4, así como incluir puertos, aduanas, instalaciones de Petróleos Mexicanos (PEMEX), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Compañía de Luz y Fuerza del Centro, distribuidores de productos agroquímicos, gaseras, plantas de tratamiento de agua potable, plantas de tratamiento de agua residual, estaciones de carburación y otras instalaciones de interés.

II.- Identificación de sustancias peligrosas almacenadas

Identifique las sustancias químicas que almacenan las industrias localizadas en el punto anterior, para lo cual puede servir de guía las tablas 7.5 y 7.6, donde se enlistan las principales sustancias más peligrosas almacenadas en el país por giro industrial.

Obtenga los nombres de las sustancias, el volumen almacenado, el número CAS (Chemical Abstract Service), el número de Naciones Unidas (UN) y el índice de peligro para la Salud, Inflamabilidad y Reactividad de acuerdo con los estándares de la National Fire Protection Association (NFPA, en español Asociación Nacional de Protección de Incendios) estos datos se pueden obtener de las Hojas de Seguridad de los Materiales, que puede proporcionar la empresa que maneja el material o buscar en bibliografía o en Internet las hojas de seguridad deseadas, por ejemplo en la siguiente dirección electrónica:

<http://www.orcbs.msu.edu/chemical/nfpa/nfpa.html>

Póngalos en una primera lista (lista 1), solamente considere aquellas sustancias que tengan un valor de 3 y 4 en uno o más de los índices de peligro, esto es, salud, inflamabilidad, reactividad, las demás no las tome en cuenta y páselas a otra lista (lista 2) que servirá para ubicar actividades peligrosas de interés estatal y municipal en caso de que el estado contemple esta regulación o bien se considerarán como sustancias de menor peligrosidad que pueden ser también incorporadas al mapa de peligro.

Algunas leyes estatales de protección civil establecen que las empresas que manejan materiales o residuos peligrosos deben informar cada determinado tiempo al órgano municipal el nombre del producto que se maneja, fórmula, nombre químico, estado físico, número de Naciones Unidas, tipo de contenedor, etcétera; por ejemplo, esto se establece en el artículo 66 de la Ley de Protección Civil del Estado de Baja California.

Las sustancias y sus volúmenes de almacenamiento se pueden obtener de los Programas de Prevención de Accidentes (PPA's) que presentan para su aprobación las industrias de alto riesgo. Se puede tener acceso a estos programas a través de las delegaciones estatales de SEMARNAT, ya que las empresas les entregan sus Programas de Prevención de Accidentes, debido a que esta institución regula las actividades altamente riesgosas.

III.- Comparación de los volúmenes de almacenamiento con la cantidad de reporte

Compare el volumen de almacenamiento de las sustancias peligrosas con la cantidad de reporte que se encuentran en el Primer listado (manejo de sustancias tóxicas, publicado el 28 de marzo de 1990 en el Diario Oficial de la Federación) y el Segundo listado (Manejo de sustancias inflamables y explosivos, publicado el 4 de mayo de 1992 en el Diario Oficial de la Federación) de actividades altamente riesgosas, para considerar solamente las sustancias que se almacenen en una cantidad igual o mayor a la cantidad de reporte.

Si la cantidad de reporte es menor que la indicada en los listados de actividades altamente peligrosas, pásela a la lista 2.

Estos listados se pueden encontrar en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente que contenga los Reglamentos y otras disposiciones, como la publicada por Editorial Porrúa, o bien en la siguiente página de internet: www.semarnat.gob.mx/wps/portal/_s.155/4385.

IV.- Ubicación en un mapa del municipio de las empresas que almacenan sustancias peligrosas

Ubique en un mapa del municipio las empresas que almacenen las sustancias que se encuentran en la primera lista, éstas son las que se consideran actividades altamente peligrosas.

Para ubicar las empresas identificadas como de alto riesgo deberá usarse un mapa del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) escala 1:50,000 o de preferencia escala 1:20,000 donde aparezcan las principales características geomorfológicas, como cerros y ríos, zonas de vegetación, asentamientos humanos y vías de comunicación. En el mapa a escala 1:20,000 es posible identificar con claridad la traza urbana y las colonias que serían afectadas en caso de accidente.

Para hacer la ubicación en el mapa se sugiere utilizar la simbología establecida en la Guía Cartográfica para el Levantamiento de Riesgos a Nivel Municipal, publicada por la Secretaría de Gobernación y el Sistema Nacional de Protección Civil.

V.- Trazado de áreas de peligro

Trace un círculo para representar el área de peligro alrededor de cada una de las empresas que tiene consideradas en el listado 1. Para esto, tome en cuenta los radios propuestos en la tabla 7.8, para llegar a esta tabla primero seleccione la sustancia de interés, búsquela en el apéndice A y obtenga el número de referencia, con este valor vaya a la tabla 7.7 y seleccione una cantidad de sustancia involucrada en caso de accidente y obtenga la categoría (definida por una letra), en la tabla 7.8 obtenga la distancia de peligro de acuerdo con esta categoría.

Consideraciones que se tomaron para la realización de las tablas anteriores:

- ♦ Se considera que el incidente que se presenta es el máximo posible, ya sea que ocurra en la industria o en el transporte terrestre.
- ♦ Los criterios para calcular el área donde se tiene el 100% de muerte debido a nubes tóxicas son:

Concentración de la sustancia a un LC_{50} durante 30 minutos, para los seres humanos. Con estas condiciones se sobreestima, para el área de dicha concentración y se subestima, para la zona que está afuera de la concentración antes señalada, ya que algunas personas pueden ser sensibles a la sustancia en cuestión.

Se calcula la dispersión para gases tóxicos a una estabilidad atmosférica de clase D, con la velocidad de viento de 5 m/s, estos factores se tomaron como condiciones ambientales promedio.

- ♦ Para incendio se considera la distancia a la cual se alcanza una radiación de 5-10 Kw/m^2 durante 30 minutos que causaría la muerte del 100% de las personas en dicha área.
- ♦ Para nubes explosivas, se consideró una presión de 0.3 bares para la zona de alto riesgo y de un bar para las inmediaciones.

Para trazar estas áreas de peligro debe emplearse un mapa con las características descritas en el punto III.

VI.- Estimación del número de personas con posibilidad de afectación

Ubicar las zonas habitacionales y de concentración de población como son: escuelas, hospitales, iglesias, centros comerciales y de entretenimiento, etcétera; dentro de las áreas de peligro establecidas en el punto anterior. Se debe conocer el número de personas o la densidad de población dentro de las áreas de afectación de las industrias que manejan sustancias peligrosas, para así poder estimar el número de personas que se encuentran dentro de la zona de peligro y en caso de accidente considerarlas para su evacuación.

Con la información obtenida en los pasos anteriores, se contará con el mapa de peligros debidos al almacenamiento de sustancias químicas peligrosas del municipio.

Tabla 7.4 Sub-sectores y ramas industriales de interés (fuente INEGI)

Sector	Sub-sector	Rama
Minería	Minería metálica	Minería de hierro
		Minería de metales no ferrosos
Industrias manufactureras	Productos alimenticios	Carne
		Lácteos
		Aceites y grasas comestibles
		Azucarera
		Bebidas
	Papel y productos de papel sustancias químicas	Manufactura de papel, imprenta y editorial
		Petroquímica básica
		Fabricación de sustancias químicas básicas
		Industria de fibras artificiales y/o sintéticas
		Agroquímicos
		Pinturas
		Refinación de petróleo
		Industria del hule
		Elaboración de productos plásticos
	Productos minerales no metálicos	Fabricación de vidrio y productos de vidrio
		Fabricación de cemento, cal y otros productos minerales
	metal-mecánica	Fundición y moldeo de piezas metálicas ferrosas y no ferrosas
		Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales
		Industria automotriz
		Fabricación y/o ensamble de artículos de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos
		Fabricación y/o ensamble de aparatos y accesorios de uso doméstico
		Fabricación y/o ensamble de equipo de transporte y sus partes.
		Fabricación y/o ensamble de equipo de radio, televisión, comunicación y de uso médico
		Recubrimiento de metales
Almacenamiento de sustancias químicas	Almacenamiento y distribución	Almacenamiento de sustancias químicas
		Terminales Marítimas
		Almacenamiento de Amoniaco Anhidro
		Terminal de almacenamiento y distribución de combustibles

Tabla 7.5 Sub-sectores económicos y sustancias químicas de interés

Sustancia	Sub-sectores					
	Sustancias Químicas	Almacenamiento y distribución	Metal-mecánica	Alimentos	Minería metálica	Papel y Celulosa
Acetato de etilo	XX	XX	XX	XX		
Acetato de butilo	XX	XX				
Acetato de vinilo	XX	XX				
Acetona	XX	XX	XX	XX		
Acrilato de etilo	XX	XX				
Ácido cianhídrico	XX	XX	XX		XX	
Ácido clorhídrico	XX	XX	XX	XX	XX	XX
Ácido fluorhídrico	XX					
Ácido nítrico	XX	XX	XX	XX		
Ácido sulfúrico	XX		XX	XX	XX	XX
Alcohol butílico	XX	XX				
Alcohol etílico	XX	XX	XX	XX		
Alcohol isopropílico	XX	XX				
Alcohol Metílico	XX		XX			
Amoniaco	XX	XX		XX	XX	
Benceno	XX	XX				
Bromuro de metilo						
Cianuro de sodio	XX	XX	XX		XX	
Cloro	XX		XX	XX	XX	XX
Cloruro de vinilo	XX					
Dimetilamina	XX	XX				XX
Dióxido de azufre					XX	XX
Disulfuro de carbono	XX				XX	XX
Estireno	XX	XX				
Fenol	XX	XX				
Formaldehído	XX	XX				
Gas L.P	XX		XX	XX	XX	XX
Gasolina	XX	XX				
Hexano	XX	XX		XX		
Heptano	XX	XX	XX		XX	
Hidrógeno	XX	XX	XX	XX		XX
Hidróxido de sodio	XX	XX	XX	XX	XX	XX
Metil etil cetona	XX					
Metil isobutil cetona	XX	XX				
Metil metacrilato	XX					
Monometilamina	XX	XX				
Óxido de etileno	XX					
Óxido de propileno	XX	XX				
Peróxido de hidrógeno	XX	XX				XX
Propano	XX	XX	XX		XX	
Tolueno	XX	XX	XX			XX
Xileno	XX	XX	XX			

Tabla 7.6 Ramas industriales y sustancias químicas de interés

Sustancia	Ramas industriales						
	Química	Petro-química	Fibras y resinas sintéticas	Farmacéutica	Pinturas y barnices	Agro química	Plástico
Acetato de etilo	XX	XX		XX	XX	XX	
Acetato de butilo	XX				XX		
Acetato de vinilo	XX	XX	XX		XX		
Acetona	XX	XX	XX	XX	XX		
Acrilato de etilo	XX		XX		XX		
Ácido cianhídrico	XX		XX		XX	XX	
Ácido clorhídrico	XX	XX					
Ácido fluorhídrico	XX						
Ácido nítrico	XX	XX		XX			
Ácido sulfúrico	XX	XX	XX		XX	XX	
Alcohol butílico	XX	XX	XX		XX		
Alcohol etílico	XX			XX		XX	XX
Alcohol isopropílico	XX	XX		XX	XX		
Alcohol metílico	XX	XX	XX	XX		XX	
Amoniaco	XX	XX				XX	
Benceno	XX	XX		XX		XX	
Bromuro de metilo						XX	
Cianuro de sodio	XX						
Cloro	XX	XX	XX	XX			
Cloruro de vinilo	XX	XX					
Dimetilamina	XX	XX		XX		XX	
Dióxido de azufre							
Disulfuro de carbono	XX					XX	
Estireno	XX	XX	XX				XX
Fenol	XX		XX		XX		
Formaldehído	XX		XX	XX		XX	XX
Gas L.P	XX	XX					
Gasolina		XX					
Hexano	XX	XX	XX	XX	XX		
Heptano	XX		XX	XX	XX	XX	
Hidrógeno	XX			XX	XX		
Hidróxido de sodio	XX	XX		XX		XX	
Metil etil cetona	XX	XX			XX		
Metil isobutil cetona	XX		XX	XX	XX	XX	
Metil metacrilato	XX				XX		
Monometilamina	XX	XX	XX	XX			
Óxido de etileno	XX	XX					
Óxido de propileno	XX		XX				
Peróxido de hidrógeno	XX		XX	XX		XX	
Propano	XX	XX	XX				XX
Tolueno	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
Xileno	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX

Tabla 7.7 Identificación de la categoría por sustancia dependiendo de la cantidad involucrada en el incidente

No. de Referencia	Cantidad en toneladas							
	0.2-1	1-5	5-10	10-50	50-200	200-1000	1000-5000	5000-10000
1	—	—	—	—	—	A	B	B
2	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	A	B	C	D	X
4	—	—	—	—	—	B	C	C
5	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	B	C	D	E	X
7	—	A	B	C	D	E	X	X
8	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	B	C	C	D	E	X	X
10	—	—	—	—	—	B	C	C
11	—	—	—	B	C	D	E	X
12	—	—	—	—	—	—	—	—
13	—	—	C	C	C	C	X	X
14	A	B	B	C	C	D	X	X
15	B	B	C	C	C	D	X	X
16	—	—	—	—	—	A	A	B
17	—	—	—	A	A	B	C	C
18	—	—	—	A	B	D	E	F
19	—	A	C	D	X	X	X	X
20	—	B	D	E	F	G	X	X
21	—	B	C	D	E	F	F	X
22	—	—	A	B	C	E	F	G
23	B	C	D	E	X	X	X	X
24	C	D	E	F	G	G	X	X
25	B	C	D	E	F	F	G	X
26	A	B	C	E	F	G	G	H
27	C	D	E	F	X	X	X	X
28	D	E	F	G	H	H	X	X
29	C	D	E	F	G	H	H	X
30	A	B	B	C	C	D	D	D
31	B	C	C	D	E	F	F	G
32	C	D	E	E	F	G	G	X
33	D	E	F	G	G	H	X	X
34	E	F	G	H	H	X	X	X
35	—	—	—	A	A	B	B	C
36	—	A	B	C	D	D	E	F
37	B	C	D	E	E	F	F	G
38	D	E	F	F	G	G	X	X
39	E	F	G	H	H	X	X	X
40	—	—	—	—	—	—	—	—
41	—	—	—	—	—	—	—	—
42	—	—	—	—	—	—	—	—
43	—	—	—	B	D	E	E	X
44	—	A	A	C	E	F	F	X
45	—	—	A	B	C	D	D	X
46	—	—	—	A	C	D	D	X

X : Significa que esta combinación de sustancia con la cantidad liberada no es posible en la práctica.

— : Significa que se ignoran los efectos.

Fuente: IAEA, s/f, Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries. IAEA-TECDOC-727, 1996.

Tabla 7.8 Distancias de peligro por Categoría

Categoría	Distancias (m)
A	0-25
B	25-50
C	50-100
D	100-200
E	200-500
F	500-1000
G	1000-3000
H	3000-10000

Fuente: IAEA, s/f, Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries. IAEA-TECDOC-727, 1996.

7.5.2.2 Procedimiento para la elaboración de mapas de peligro en el transporte terrestre de materiales peligrosos

El propósito de los mapas de peligros en el transporte de sustancias y materiales peligrosos es identificar las vías terrestres empleadas, los materiales transportados, los posibles tipos de peligro y las áreas de peligro. Para elaborar los mapas de peligros se requiere de información diversa sobre los vehículos que transportan sustancias y materiales peligrosos, esta información incluye las características generales de las unidades de transporte, de las sustancias y materiales transportados, las vías de comunicación por donde transitan las unidades de transporte, y sobre los accidentes ocurridos.

El procedimiento que se describe a continuación fue desarrollado considerando que existen las siguientes limitaciones:

- Carencia de registros sobre accidentes en transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos; lo cual impide determinar las frecuencias de los accidentes y realizar su análisis para obtener por ejemplo: tasas de accidentes para cada tipo de carretera, tasa de accidentes para carreteras específicas o sus segmentos, probabilidades de liberación de sustancias y materiales peligrosos, probabilidades de liberación de acuerdo al tipo de accidente, etcétera; cada uno de los anteriores aplicable para los diferentes modos de transporte.
- Carencia de información sobre volúmenes de tráfico vehicular en el transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos para cada una de las carreteras, vías férreas y en general de las vías de comunicación existentes
- Carencia de información sobre volúmenes de tráfico vehicular, sin considerar el tipo de unidad de transporte empleado y para cada uno de los diferentes tipos de unidades de transporte.

En caso de tener la información anterior será posible la aplicación de procedimientos más refinados, por ejemplo análisis de riesgos, los cuales deberán ser cubiertos en etapas posteriores.

Primera etapa: mapa de peligro

I.- Ubicación de vías de transporte

Ubicar en el mapa del municipio las vías (carreteras de jurisdicción federal, estatal o local, vías férreas, etc) por donde transitan o pueden transitar vehículos con sustancias o materiales peligrosos.

Para esto se recomienda emplear mapas elaborados por el *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)* escala 1:50,000 o de preferencia escala 1:20,000 donde pueden representarse las principales características geomorfológicas, como cerros y ríos, zonas de vegetación, asentamientos humanos y vías de comunicación. En el mapa a escala 1:20,000 es posible identificar con claridad la traza urbana y las colonias que serían afectadas en caso de accidente.

Para hacer la ubicación en el mapa utilice la simbología establecida en la *Guía Cartográfica para el Levantamiento de Riesgos a Nivel Municipal*, elaborada por la Secretaría de Gobernación y el Sistema Nacional de Protección Civil.

II.- Identificación de sustancias y materiales peligrosos transportados

Identifique si en su municipio se transportan sustancias y materiales peligrosos, los vehículos que llevan sustancias y materiales peligrosos deben portar carteles de identificación (figuras 7.2 y 7.3) de acuerdo con la norma oficial mexicana emitida por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes NOM-004-SCT-2000 *Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos*; para determinar la sustancia o material peligroso que es transportado de acuerdo al número de las Naciones Unidas (UN) emplee la norma oficial mexicana NOM-002-SCT-2003 *Listado de sustancias y materiales más usualmente transportados* o la *Guía de Respuesta a Emergencias* (secciones amarilla y azul). La identificación de las sustancias y materiales peligrosos que se transportan se deberá realizar para cada uno de los medios de transporte terrestre (autotransporte y ferroviario) en las carreteras o vías férreas de interés.

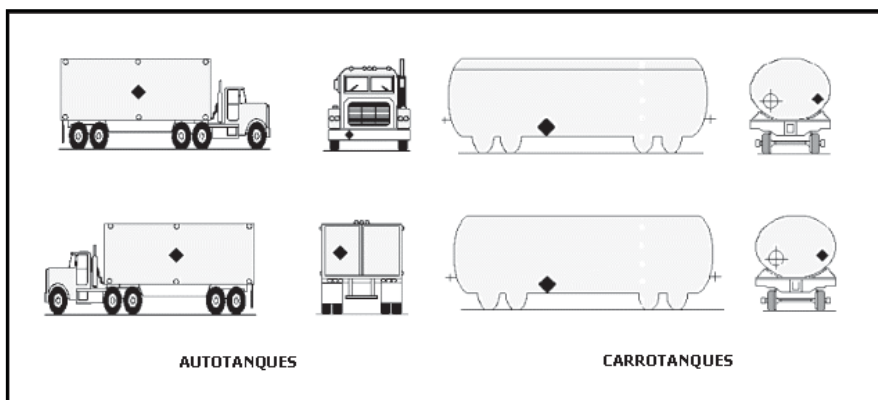


Figura 7.2 Ubicación de carteles para el transporte de sustancias y materiales peligrosos en autotransporte

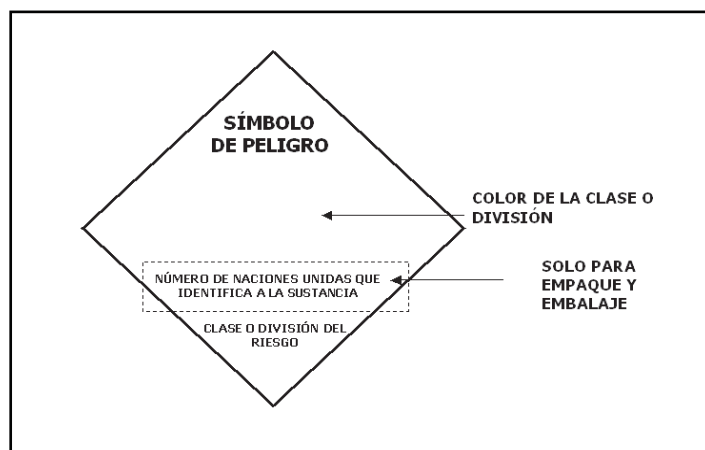


Figura 7.3 Rombo de transporte

III.- Determinación del número de unidades que transportan sustancias y materiales peligrosos

Para cada una de las carreteras, calles, avenidas, vías férreas, etcétera, de interés, identifique qué sustancias o materiales peligrosos se transportan, para esto se deberá realizar un conteo, lo más representativo posible, sobre el transporte de sustancias y materiales peligrosos; considerando la variabilidad debida a los días de la semana, hora del día y la variabilidad estacional.

Es posible solicitar a la delegación estatal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes información sobre los volúmenes de tráfico de sustancias y materiales peligrosos, en las carreteras federales de interés. De no estar disponible dicha información se deberá recopilar considerando lo siguiente:

- Identificación de la carretera o vía férrea, éstas pueden dividirse en secciones o tramos las cuales deberán identificarse apropiadamente.
- Identificación del tipo de carretera o vía férrea, para vías de jurisdicción federal, la clasificación para dicha identificación está contenida en el *Apéndice para la clasificación de los caminos y puentes a que se refiere el artículo 6° del Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal*, publicado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Identificación del tipo de vehículo, para esto se deberá utilizar la nomenclatura indicada en la norma oficial mexicana NOM-012-SCT2-1995 *Sobre el peso y las dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal*.
- Material transportado por cada unidad de transporte (de acuerdo con los carteles de las unidades, la hoja de emergencia en transportación o las etiquetas de los envases).
- Peso o volumen transportado, lo anterior podrá deducirse de acuerdo a las características de las unidades de transporte contenidas en la norma oficial mexicana NOM-012-SCT2-1995 Fecha en que se realiza el conteo de unidades de transporte.

- Hora del día en que se realiza el conteo.
- Número total de unidades que transportan materiales peligrosos por unidad de tiempo (puede ser por hora, día, mes y año); el número total de unidades puede agruparse para cada tipo de unidad (C2-R2, T2-S1, T2-S2, etc.) para lo cual utilice la norma oficial mexicana NOM-012-SCT2-1995.

Los puntos II y III están relacionados por lo que preferentemente deben realizarse de manera simultánea.

IV.- Identificación de peligros y posibles áreas de afectación

El que suceda un accidente durante el transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos en el cual exista una liberación (fuga o derrame) depende de diversos factores (características de la carretera, operador, condiciones ambientales, características del vehículo, etc.). Asimismo, el número de accidentes en una vía de comunicación (tasa de accidentes) depende tanto de los factores antes citados como del número de unidades que transitan la vía de interés en un tiempo considerado. Para determinar las zonas de afectación debido a la liberación de sustancias o materiales peligrosos se utilizan modelos de simulación los cuales requieren de información diversa, por ejemplo: volumen derramado y velocidad del viento.

Lo anterior dificulta establecer generalizaciones que permitan abarcar las particularidades de los accidentes; sin embargo, de manera general las estadísticas sobre frecuencia de accidentes con liberaciones menores de sustancias y materiales peligrosos es mayor que la correspondiente a liberaciones mayores, esto permite recomendar que para determinar una distancia de seguridad en las vías de comunicación pueda emplearse la contenida en la sección verde de la *Guía de Respuesta en Caso de Emergencia* en la columna “derrames pequeños”, “primero AISLAR a la redonda”.

La *Guía de Respuesta a Emergencia*, la cual consta de cuatro secciones, indica que la sección verde se emplea cuando no existe incendio de la sustancia o material peligroso, cuando las sustancias y materiales señalados en las secciones amarilla y/o azul se incendiaron deberá emplearse lo indicado en las guías contenidas en la sección naranja en lo correspondiente a “Evacuación”; sin embargo, determinar cuando en un accidente la sustancia o material peligroso involucrado se incendiará y establecer la distancia de seguridad solo podrá realizarse considerando los registros disponibles sobre accidentes o durante el desarrollo del evento (accidente).

Las sustancias y materiales peligrosos contenidos en la sección verde de la *Guía de Respuesta en Caso de Emergencia* no incluye a todas las sustancias y materiales posibles, cuando la sustancia identificada no puede localizarse en esta sección utilice las tablas del *Apéndice A Lista de sustancias* la cual incluye un número de referencia para cada sustancia, considerando sus propiedades, la cual corresponderá en la *tabla 7.7 Identificación de la categoría por sustancia dependiendo de la cantidad involucrada en el incidente*, una letra de acuerdo a la columna que se seleccione. Se recomienda seleccionar la primera o segunda columna (0.2 a 1 toneladas ó 1 a 5 toneladas) ya que éstas se pueden considerar derrames menores o medianos. Con la letra identificada de acuerdo al número de referencia para la sustancia y al tamaño del derrame, se determina la distancia de peligro en la *tabla 7.8 Distancias de peligro por categoría*.

La distancia de seguridad se deberá medir a partir de ambos lados al final del área de acotamiento de la carretera, en el caso de calles, carreteras y otras vías que poseen banqueta, la

distancia se medirá con respecto al inicio de la banqueta (fin de la superficie de la carretera). Lo anterior implica considerar que la unidad de transporte no sale del camino o vía de comunicación.

Cuando se dispone de información de los accidentes ocurridos en las vías de comunicación de interés, esto permite determinar con mayor certidumbre los peligros existentes, la ubicación de puntos conflictivos y la identificación de las sustancias o materiales involucrados.

Esta *Guía de Respuesta a Emergencia* se puede obtener en la dirección de internet <http://hazmat.dot.gov/gydebook.htm> y seleccionar la versión en español, o bien se puede adquirir el documento impreso en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Autotransporte Federal en Calzada de las Bombas No. 411, Col. Los Girasoles, Delegación Coyoacán, México, D.F. C.P. 049020, Tel. 56-77-35-61.

V.- Elaboración del mapa de peligros

Con la información obtenida en los puntos anteriores se podrán elaborar diferentes mapas de peligro de acuerdo con las sustancias y materiales peligrosos transportados en el área de interés.

Cuando en la vía de comunicación seleccionada se transporten diversas sustancias o materiales peligrosos se puede hacer un mapa en el cual éstas se agrupen de acuerdo con la clase a que pertenecen (clasificación de sustancias y materiales peligrosos establecida por la SCT en el *Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos*), o simplemente establecer las áreas de peligro (áreas generadas por la distancia de seguridad) indicando el tipo de peligro (incendio, nube tóxica o explosión) sin especificar los materiales involucrados.

Para la actualización de los mapas de peligros es recomendable establecer un registro sobre los accidentes ocurridos en el transporte de sustancias y materiales peligrosos que incluyan como mínimo: las características del vehículo, lugar donde ocurrió, fecha y hora, material involucrado, tipo de evento (incendio, fuga, etc.), volumen o peso derramado, volumen o peso total del material transportado, área afectada, número de lesionados y tipos de lesión. El análisis de dicho registro permitirá identificar con mayor precisión los puntos donde se presentan mayor número de accidentes, los materiales mas frecuentemente accidentados, lo que posibilita una reevaluación de la distancia de seguridad, por ejemplo: en cuáles situaciones es preferible usar la distancia contenida en la sección verde de la *Guía de Respuesta a Emergencia* en la columna “*derrames pequeños*” “*primero AISLAR a la redonda*” o lo indicado en las guías contenidas en la sección naranja en lo correspondiente a “*Evacuación*”.

7.5.2.3 Procedimiento para la elaboración de mapas de peligro para el transporte de materiales peligrosos por ductos

Cuando en un mapa se ubican los peligros, por ejemplo ductos que transportan sustancias peligrosas, éste se considera un mapa de peligros (o mapa inventario de peligros); cuando en dicho mapa se establecen las posibles áreas de afectación debido por ejemplo al incendio de una sustancia peligrosa producto de una liberación, el mapa también puede considerarse como de peligros, si no se consideran las probabilidades de falla y la posible exposición de la población. Un mapa de riesgos requiere que en las áreas determinadas como de afectación sea determinado el riesgo, ya sea de manera cuantitativa o cualitativa, es decir en el área se deberá establecer una medida de riesgo ya sea de daño (lesiones) o muerte, por ejemplo el riesgo individual para el área comprendida por un

radio de 50 metros alrededor de un ducto determinado en el segmento km 100 a km 102 es igual a 1×10^{-5} muerte/año.

El procedimiento que se explica a continuación fue desarrollado considerando que existen las siguientes limitaciones:

- Carencia de registros sobre accidentes en ductos que transportan sustancias peligrosas; esto impide determinar las frecuencias para accidentes y realizar el análisis para obtener por ejemplo: tasas de falla para cada tipo de ducto, tasas de falla por tipo, tasa de falla para ductos específicos o sus segmentos, probabilidades de liberación, probabilidades de liberación de acuerdo con la causa de falla, etcétera.
- No disponer de información sobre la ubicación y trayectoria de los diferentes ductos.
- No disponer de información sobre las características de diseño y condiciones de operación de los diferentes ductos.
- Carencia de información sobre el estado de conservación de los ductos que transportan sustancias peligrosas.

En caso de poseer la información anterior será posible la aplicación de procedimientos más refinados, por ejemplo análisis de riesgos, los cuales deberán ser cubiertos en etapas posteriores y realizados por especialistas.

Primera etapa: mapas de peligro

1.- Identificación de los ductos y de la sustancia transportada en el municipio o zona de interés

La identificación de las tuberías superficiales y subterráneas existentes en el municipio o zona de interés puede realizarse mediante visita de campo y el reconocimiento visual de los diferentes tipos de señalamientos y de los colores para la identificación del material transportado que poseen las tuberías. Para ductos que transportan y distribuyen hidrocarburos, los señalamientos y colores de identificación deben estar de acuerdo con lo establecido en las normas de referencia *NRF-009-PEMEX-2001 Identificación de productos transportados por tuberías o contenidos en tanques de almacenamiento* y *NRF-030-PEMEX-2003 Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos*.

Para determinar la señalización de los ductos para la distribución de gas natural y gas licuado de petróleo se considerarán las normas de referencia *NRF-009-PEMEX-2001*, *NRF-030-PEMEX-2003* y la norma oficial mexicana *NOM-003-SECRE-2002 Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos*; para tuberías enterradas y superficiales debe contemplarse lo indicado en la NOM anterior y lo indicado en la *NOM-026-STPS-1998 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías*.

Determinar cuáles ductos o tuberías conducen materiales peligrosos. El material transportado puede identificarse por medio del código de colores y otras medidas contenidas en *NRF-009-PEMEX-2001 Identificación de productos transportados por tuberías o contenidos en tanques de almacenamiento*.

Las normas de referencia indicadas anteriormente pueden obtenerse en www.pemex.com anotando en el buscador de esta página “normas de referencia”.

II.- Ubicar los ductos en el mapa del municipio

Ubicar la trayectoria de los ductos que conducen sustancias peligrosas: origen, puntos intermedios y destino. La trayectoria de un ducto puede determinarse en un plano guía por medio de la revisión visual del ducto y de los señalamientos existentes; otra manera más precisa será su ubicación mediante una revisión visual y el empleo de aparatos de geo-referenciación (GPS, Global Positioning System); sin embargo, para su representación y manejo se requiere de un sistema de información geográfica (GIS, Geographic Information System).

Determinar también el diámetro para cada sección o segmento del ducto, lo anterior debido a que el diámetro de la tubería puede cambiar a lo largo de la trayectoria

Por último, ubicar a lo largo de la trayectoria del ducto:

- Extensión del derecho de vía, es posible que en un derecho de vía puedan estar ubicados más de un ducto, cuando esto suceda se deberá identificar cada ducto.
- Válvulas de seccionamiento.
- Trampas de diablos.
- Desvíos (bypass).
- Cruces con: vías de ferrocarril, caminos, carreteras y cuerpos de agua (ríos, arroyos, pantanos, etcétera).
- Ramales y sus características.
- Señalización y sus características.
- Estaciones de bombeo y compresión.
- Estaciones de medición.

Para obtener la información anterior deberán realizarse visitas de campo a lo largo de la trayectoria del ducto y ponerse en contacto con el administrador o propietario de los ductos.

El documento “*Guía cartográfica para el levantamiento de riesgos a nivel municipal*” publicado por la Secretaría de Gobernación establece tres tipos posibles de mapas:

Mapa referencia (I), el municipio dentro del estado, escala 1:100,000, donde aparecen las principales características geomorfológicas, como son los cerros y los ríos; las vías de comunicación más importantes; y los agentes perturbadores sobresalientes.

Mapa del municipio (II), escala 1:50,000, incluye las características del relieve y el ordenamiento territorial en forma más específica, es decir, por una parte es posible identificar las zonas de vegetación, las elevaciones o cañadas por las curvas de nivel, y por otra, los asentamientos humanos, incluyendo la traza urbana y las vías de comunicación, así como el señalamiento de los municipios con los que limita.

Mapa síntesis de riesgos (III), escala 1:20,000, en el que se localizan los agentes perturbadores con el mayor detalle posible dentro del municipio, así como su área de influencia, marcando como zonas de alto riesgo aquellas habitadas por concentraciones humanas o complejos de actividades económicas que pueden resultar afectadas en caso de desastre. En este mapa es posible identificar con claridad la traza urbana y cuáles colonias serán afectadas por un determinado

agente perturbador. Un mapa de esta escala, contiene la localización de los agentes perturbadores y las zonas de riesgo.

El mapa a escala 1:20,000 es el apropiado para ubicar con detalle los ductos empleados para el transporte de sustancias peligrosas.

Asimismo, el *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)* define una notación para cada tipo de ducto (ver el documento *Guía cartográfica para el levantamiento de riesgos a nivel municipal*) la cual deberá emplearse en la elaboración del mapa de peligro.

III.- Identificación de la sustancia transportada

Identificar qué producto o productos son transportados en cada uno de los ductos. El material transportado puede identificarse por medio del código de colores y otras medidas contenidas en *NRF-009-PEMEX-2001 Identificación de productos transportados por tuberías o contenidas en tanques de almacenamiento*. Los ductos para la distribución de gas natural y gas licuado de petróleo deben estar señalizados de acuerdo con la *NOM-003-SECRE-2002 Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos*; para tuberías superficiales debe contemplarse lo indicado en la NOM anterior y lo indicado en la *NOM-026-STPS-1998 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías*.

Para el caso de ductos que trasladan gas natural, determinar cuáles son para transporte y cuáles para distribución.

Determinar las características del material transportado:

- Estado físico del material: líquido, gas, dos fases (líquido y gas)
- Presión de operación, en libras sobre pulgada cuadrada o kilogramos sobre centímetro cuadrado
- Temperatura del material, en grados centígrados
- Operador: indicar qué subsidiaria de Petróleos Mexicanos es la responsable de la operación del ducto, o determinar si el ducto es propiedad y es operado por alguna empresa privada por ejemplo: Metrogas, Gas de Baja California, etcétera.

Con la información recopilada en los puntos I, II y III es posible elaborar el mapa de objetos peligro de la zona o localidad de interés.

IV.- Determinación de la distancia de seguridad para el ducto

Para determinar la distancia de seguridad de un ducto se utilizará la tabla 7.9 en la cual se indica dicha distancia de acuerdo con el diámetro nominal de la tubería, la presión de operación y la sustancia transportada. La distancia se mide en ambos lados a lo largo del eje del ducto.

Tabla 7.9 Distancias de seguridad en ductos de transporte de hidrocarburos

Diámetro (pulgadas)	Área de trampas de diablos	Gasoducto		Oleoducto y gasolinoducto	Gasoducto	
		$100 > P \geq 80$ kg/cm ²	$80 > P \geq 50$ kg/cm ²		$50 > P \geq 15$ kg/cm ²	$P < 15$ kg/cm ²
48	250 m	200 m	150 m	150 m	100 m	50 m
36	250 m	200 m	150 m	150 m	100 m	50 m
30	250 m	200 m	150 m	150 m	100 m	50 m
24	200 m	150 m	150 m	100 m	100 m	50 m
20	200 m	150 m	100 m	100 m	100 m	50 m
18	150 m	100 m	100 m	100 m	75 m	35 m
16	150 m	100 m	100 m	75 m	75 m	35 m
14	150 m	100 m	75 m	75 m	75 m	35 m
12	150 m	100 m	75 m	75 m	75 m	35 m
10	100 m	75 m	75 m	75 m	50 m	35 m
8	100 m	75 m	75 m	50 m	50 m	35 m
6	75 m	75 m	75 m	50 m	35 m	35 m
4	75 m	50 m	50 m	35 m	35 m	35 m
3	50 m	35 m	35 m	35 m	35 m	35 m
2	35 m	35 m	35 m	35 m	35 m	35 m

m: metros

P: presión

Fuente: *Distancias de seguridad en ductos de transporte de hidrocarburos*, Hernández García C., Hernández Ortega J. A., Contreras Cruz J. C. 7º Congreso Internacional de Ductos, Puebla, Pue., noviembre, 2003.

Estas distancias de seguridad fueron desarrolladas a partir del análisis de diversos accidentes y del empleo de modelos de simulación. En la simulación de consecuencias se emplearon las siguientes cantidades umbral:

Tabla 7.10 Tipos de riesgo

Tipo de riesgo	Umbral
Radiación térmica (jet fire y pool fire)	1.4 Kw/m ²
Imflamabilidad (flash fire)	4 %
Explosividad	0.5 lb/pulg ²

Fuente: *Distancias de seguridad en ductos de transporte de hidrocarburos*, Hernández García C., Hernández Ortega J. A., Contreras Cruz J. C. 7º Congreso Internacional de Ductos, Puebla, Pue., noviembre, 2003.

Cuando exista más de un ducto en el derecho de vía, debido a que no se tiene información suficiente sobre el posible impacto de la ruptura de un ducto a otro(s) se considerará la distancia mayor determinada para los ductos que se alojan en el derecho de vía.

Otra manera de calcular la zona de seguridad puede ser el establecido en el *Federal Register Vol.68 No. 18 enero 28, 2003*; correspondiente al *Código de Regulaciones Federales 49 parte 192.761(49 CFR Part 192.761)* y contenido en el apéndice A de dicha publicación, el cual contiene una fórmula para determinar el radio de impacto potencial. Dicho radio calculado mediante esta fórmula es similar a las distancias señaladas en la tabla 7.9.

Sin embargo, el procedimiento indicado en el Registro Federal de los Estados Unidos (*Federal Register*) establece que cuando el radio de impacto potencial es inferior a 300 pies se considerará a esta distancia como el radio umbral, por lo tanto se contempla como zona de impacto potencial al área generada por una distancia de 300 pies contados a partir del eje de la tubería a cada

uno de los lados (ancho total de la franja de 600 pies); cuando el radio de impacto potencial es superior a 300 pies e inferior a 660 pies se considerará como el radio umbral a 660 pies y la zona de impacto potencial en ambos lados de 660 pies (ancho total de la franja de 1320 pies); y cuando el radio de impacto potencial es superior a 660 pies se considerará como el radio umbral a 1000 pies y la zona de impacto potencial en ambos lados de 1000 pies (ancho total de la franja de 2000 pies). Información más detallada de lo establecido en el *Federal Register Vol. 68 No. 18 enero 28, 2003*, y de cómo determinar la zona de seguridad se encuentra en el apéndice C.

Considerando lo anterior, es posible hacer una combinación, utilizando las distancias contenidas en la tabla 7.9 y el criterio correspondiente para determinar la zona de impacto potencial establecida en el Registro Federal de los Estados Unidos. Sin embargo, las consideraciones para determinar la zona de impacto potencial están destinadas a proporcionar un margen adicional de seguridad, característica deseable en casos de prevención, pero complicada cuando se emplea para regular el uso del suelo y la comunicación de peligros.

V.- Trazar en el mapa de la localidad la zona de seguridad para los ductos que transportan sustancias peligrosas

Una vez determinada la distancia de seguridad para cada uno de los ductos que transportan sustancias peligrosas; en el mapa del municipio o de la zona de interés, obtenido en el punto II, se trazan las zonas de seguridad (que en este caso equivalen a las zonas de peligro) a lo largo de la trayectoria para cada uno de los ductos. Dicha distancia se medirá con respecto al eje central de la tubería en ambos lados de la trayectoria. Las zonas de peligro serán las posiblemente afectadas en caso de suceder una liberación de sustancias peligrosas.

7.5.3 Ejemplo de aplicación del “Procedimiento para la elaboración del mapa de peligro debido al almacenamiento de sustancias peligrosas”

I.- Identificación de industrias que manejan sustancias peligrosas

Mediante la revisión de los programas de prevención de accidentes entregados a la delegación estatal de SEMARNAT, o bien por visita directa a las industrias, se identifican aquéllas que manejan sustancias químicas y/o materiales peligrosos en su municipio, obteniendo su dirección y de ser posible se establece su ubicación geográfica (latitud y longitud), esto puede hacerse con el uso de un GPS (Global Positioning System, sistema de posicionamiento global).

Para guiarse sobre el tipo de industrias que se deben ubicar se toma como guía la tabla 7.4 Sub-sectores y ramas industriales de interés, y se incluyen puertos, aduanas, instalaciones de Petróleos Mexicanos (PEMEX), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Compañía de Luz y Fuerza del Centro, distribuidores de productos agroquímicos, gaseras, plantas de tratamiento de agua potable y residual, estaciones de carburación y otras instalaciones de interés.

Tabla 7.11 Ejemplo de localización de industrias en el municipio

Nombre de la empresa	Dirección	Coordenadas geográficas		Municipio	Estado
		Altitud	Longitud		
Resinas de México S.A de C.V.	Carretera Saltillo-Monterrey Km 11.5	25°40'58"	100°16'18"	Ramos Arizpe	Coahuila
Jovit S.A de C.V.	Calle de la Democracia No. 23 Col. Progreso	25°41'00"	100°17'22"	Ramos Arizpe	Coahuila
Thonmex S.A de C.V.	Calle La Estrella No. 105 Col. El Manantial	25°41'17"	100°16'45"	Ramos Arizpe	Coahuila
Aguas Residuales de Coahuila	Col. Colina del Perro	25°40'03"	100°16'02"	Ramos Arizpe	Coahuila
Gas El Ranchito	Calle del Pino No. 433 Col. Niño Perdido	25°40'27"	100°17'00"	Ramos Arizpe	Coahuila

II.- Identificación de sustancias peligrosas almacenadas

Se identifican las sustancias químicas que almacenan las industrias localizadas en el punto anterior, para lo cual pueden servir de guía las tablas 7.5 y 7.6, donde se enlistan las principales sustancias más peligrosas almacenadas en el país por giro industrial.

Por ejemplo si en su municipio existen 4 industrias que almacenan acetona, ácido sulfúrico, alcohol isopropílico, cloro y hexano y una gasera que almacena gas L.P, se deben obtener los nombres de las sustancias, el volumen almacenado, el número CAS (Chemical Abstract Service), el número de Naciones Unidas (UN) y el índice de peligro para la salud, inflamabilidad y reactividad de acuerdo con la NFPA (National Fire Protection Association, en español Asociación Nacional para la Protección de Incendios), esta información puede capturarse como se muestra en la tabla 7.12.

Tabla 7.12 Ejemplo de identificación de sustancias y volúmenes almacenados en las industrias

Sustancia	Volumen almacenado (ton)	Número UN	Índice de peligro de acuerdo con NFPA		
			Salud (Azul)	Inflamabilidad (Rojo)	Reactividad (Amarillo)
Acetona	35	1090	2	3	0
Ácido sulfúrico	12.3	1053	3	0	2
Alcohol isopropílico	65.5	1219	2	3	0
Cloro	8.2	1017	3	0	0
Gas L.P	300.5	1075	1	4	0
Hexano	76	1208	3	4	0

III.- Comparación de los volúmenes de almacenamiento con la cantidad de reporte

Se compara el volumen de almacenamiento de las sustancias peligrosas con la cantidad de reporte que se encuentra en el Primer listado (manejo de sustancias tóxicas, publicado el 28 de marzo de 1990 en el Diario Oficial de la Federación) y el Segundo listado (Manejo de sustancias inflamables y explosivas, publicado el 4 de mayo de 1992 en el Diario Oficial de la Federación) de

actividades altamente riesgosas, para considerar solamente las sustancias que se almacenen en una cantidad igual o mayor a la cantidad de reporte.

Tabla 7.13 Ejemplo de la elaboración de la Lista No. 1 con las sustancias con índice de peligro de 3 y 4 y comparación de volumen almacenado

Sustancia	Volumen almacenado	Cantidad de reporte	Es mayor que la cantidad de reporte
Acetona	35,000 kg	20,000 kg	Si
Ácido sulfúrico	12,300 kg	10,000 kg	Si
Alcohol isopropílico	65,500 kg	100,000 kg	No
Cloro	8,200 kg	1 kg	Si
Gas L.P	300	50,000 kg	Si
Hexano	76,000 kg	20,000 kg	Si

Tabla 7.14 Ejemplo de la elaboración de la Lista No. 2 de comparación de volúmenes almacenados que no rebasan la cantidad de reporte

Sustancia	Volumen almacenado	Cantidad de reporte	Es mayor que la cantidad de reporte
Alcohol isopropílico	65,500 kg	100,000 kg	No

IV.- Ubicación en un mapa del municipio de las empresas que almacenan sustancias peligrosas

Se ubica en un mapa del municipio las empresas que almacenen las sustancias que se encuentran en la primera lista, éstas son las que se consideran actividades altamente peligrosas.

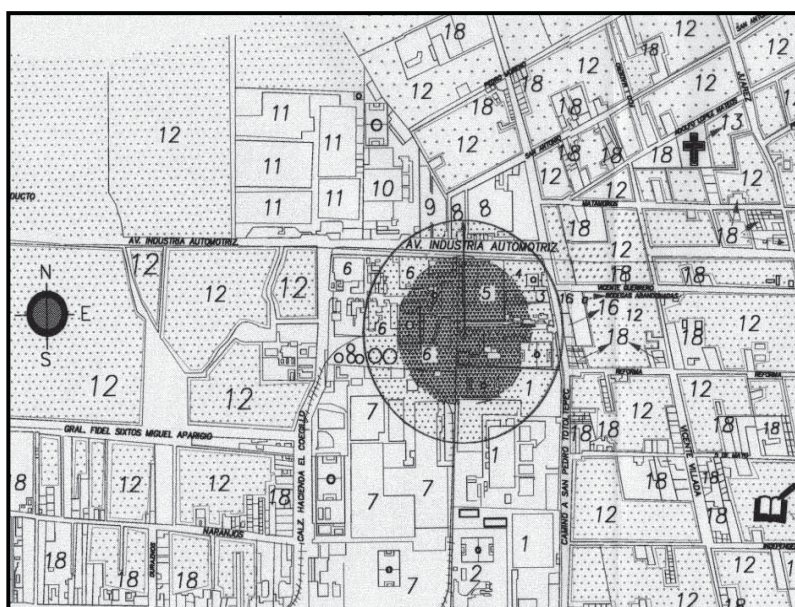


Figura 7. 4 Ubicación en un mapa de una industria con sus radios de afectación

Para ubicar las empresas identificadas como de alto riesgo deberá usarse un mapa del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) escala 1:50,000 o de preferencia escala 1:20,000 donde aparezcan las principales características geomorfológicas, como cerros y ríos, zonas de vegetación, asentamientos humanos y vías de comunicación. En el mapa a escala 1:20,000 es posible identificar con claridad la traza urbana y cuáles colonias serían afectadas en caso de accidente.

V.- Trazado de áreas de peligro

Se traza un círculo para representar el área de peligro alrededor de cada una de las empresas que se tienen consideradas en el listado 1. Para esto se toma en cuenta los radios propuestos en la tabla 7.8, para llegar a esta tabla primero se selecciona la sustancia de interés, se busca en el apéndice A de este documento y se obtiene el número de referencia, con este valor se busca en la tabla 7.7 y se selecciona una cantidad de sustancia involucrada en caso de accidente, a continuación se obtiene la categoría (definida por una letra), con esta letra se busca en la tabla 7.8 y finalmente se obtiene la distancia de peligro de acuerdo con esta categoría.

Sustancia de interés: Acetona

Apéndice A

Número de Referencia	Tipo de sustancia	Sustancia (ejemplo)
1-3	Líquido inflamable, presión de vapor < 0.3 bar a 20°C, (punto de inflamación ≤ 20°C)	Acetal
		Acetaldehído
		Acetato de etilo
		Acetato de isobutilo
		Acetato de metilo
		Acetato de propilo
		Acetato de vinilo
		Acetona
		Acetonitrilo
		Acrilato de etilo
		Benceno

Número de referencia: 1-3

Tabla 7.7 Ejemplo de identificación de la categoría por sustancia dependiendo de la cantidad liberada en el incidente

No. de Referencia	Cantidad en toneladas							
	0.2-1	1-5	5-10	10-50	50-200	200-1000	1000-5000	5000-10000
1	—	—	—	—	—	A	B	B
2	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	A	B	C	D	X
4	—	—	—	—	—	B	C	C
5	—	—	—	—	—	—	—	—

Categoría: A

Tabla 7.8 Ejemplo de las distancias de peligro por categoría

Categoría	Distancias (m)
A	0-25
B	25-50
C	50-100
D	100-200

Distancia de afectación: 25 m

En este caso el área de afectación no rebasa los límites de propiedad de la empresa, quedando contenida dentro de su terreno sin provocar afectación a la población de los alrededores.

VI.- Estimación del número de personas con posibilidad de afectación

Se ubican las zonas habitacionales y de concentración de población como son: escuelas, hospitales, iglesias, centros comerciales y de entretenimiento, etcétera; dentro de las áreas de peligro establecidas en el punto anterior. Se debe conocer el número de personas o la densidad de población dentro de las áreas de afectación de las industrias que manejan sustancias peligrosas, para así poder estimar el número de personas que se encuentran dentro de la zona de peligro y en caso de accidente considerarlas para su evacuación.

Con la información obtenida en los pasos anteriores se contará con el mapa de peligros debidos al almacenamiento de sustancias químicas peligrosas del municipio.

Se concluye que las únicas personas que podrían sufrir daño en caso de accidente que involucre en este caso particular a la acetona, serían los trabajadores en el interior de la instalación industrial.

El mismo procedimiento deberá seguirse para las otras sustancias almacenadas en este caso en el municipio de ejemplo.

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

El objetivo del presente documento *Riesgos Químicos* ha sido establecer las bases para identificar los peligros y determinar las zonas de peligro durante el almacenamiento, manejo y transporte (terrestre y por tubería) de sustancias y materiales peligrosos.

Conscientes de que en los municipios y estados del país se manejan diferentes sustancias y materiales peligrosos, este documento proporciona a las unidades estatales y municipales de Protección Civil y a las instituciones que participan en la atención de emergencias, una herramienta sencilla y fácil de utilizar.

Los procedimientos incluidos en esta sección se enfocan a la identificación, localización y ubicación de peligros, en lo correspondiente a almacenamiento, transporte terrestre y transporte por tuberías; asimismo, se pretende homogenizar los planteamientos existentes para la elaboración de mapas de peligros

Los procedimientos desarrollan de manera general las siguientes etapas:

1. Localizar en un plano base las instalaciones donde se manejan y almacenan sustancias peligrosas, así como las vías de comunicación por las cuales se transportan estas sustancias y materiales peligrosos.
2. Establecer los posibles accidentes, incidentes y sus resultados.
3. Establecer las áreas de afectación debido a incidentes con sustancias y materiales peligrosos.
4. Señalar los puntos o sitios de interés que pueden verse afectados.

En este trabajo se describen tres procedimientos. En el primero, destinado a la elaboración de mapas de peligro para el almacenamiento de materiales peligrosos, puede observarse que las tablas, desarrolladas por la Agencia Internacional de Energía Atómica y otras instituciones, donde se establecen las distancias de seguridad para almacenamiento o transporte de sustancias peligrosas consideran diferentes simplificaciones por lo cual las distancias obtenidas son una guía o referencia y no determinan de manera precisa las distancias de seguridad, por lo que la determinación precisa de las distancias de peligro, deberá realizarse mediante un estudio de riesgo detallado de la instalación de interés cuando así se requiera.

El procedimiento para la elaboración de mapas de peligros en el transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos fue desarrollado considerando las siguientes limitaciones:

- Falta de disponibilidad de los registros sobre accidentes en transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos.
- Falta de información sobre volúmenes de tráfico vehicular en el transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos para cada una de las carreteras y vías férreas.
- Carencia de información sobre volúmenes de tráfico vehicular, de acuerdo con los diferentes tipos de unidades de transporte.

El procedimiento para la elaboración de mapas de peligros para el transporte de materiales peligrosos por ductos fue desarrollado con el propósito inicial de ubicar la trayectoria de los diferentes ductos considerando las siguientes limitaciones:

- Falta de disponibilidad de los registros sobre accidentes en ductos que transportan sustancias peligrosas; esto impide determinar las frecuencias para accidentes y realizar el análisis para obtener por ejemplo: tasas de falla para cada tipo de ducto, tasas de falla por tipo, tasa de falla para ductos específicos o sus segmentos, probabilidades de liberación, probabilidades de liberación de acuerdo a la causa de falla, etcétera.
- Carencia de información sobre la ubicación y trayectoria de los diferentes ductos.
- Carencia de información sobre las características de diseño y condiciones de operación de los diferentes ductos.
- Carencia de información sobre el estado de conservación de los ductos que transportan sustancias peligrosas.

Las distancias de seguridad para asentamientos humanos con respecto a ductos de transporte establecidas en esta sección pueden aplicarse a gasoductos, oleoductos, gasolinoductos y las trampas de diablos de los anteriores; sin embargo, faltan establecer las distancias de seguridad para ductos que transportan otras sustancias peligrosas, por ejemplo: amoníaco, etano, etcétera. Las distancias de seguridad fueron establecidas considerando los criterios de radiación térmica, inflamabilidad y explosividad; y no se incluyó el criterio de toxicidad. Para tuberías que transportan sustancias tóxicas no se han determinado distancias de seguridad, por lo que éstas deberán desarrollarse considerando el criterio de toxicidad, por medio de modelos de simulación.

De esta manera los procedimientos presentados podrán emplearse en un primer análisis con un alto grado de confiabilidad para los diferentes tomadores de decisiones, pero es necesaria la realización de estudios más detallados como son modelaciones y simulaciones mediante el uso de programas de cómputo especializados, en cada una de las instalaciones industriales de alto riesgo que hayan sido identificadas en estados y municipios, incluyendo las carreteras por las cuales se deben de transportar de acuerdo con la reglamentación, dichas sustancias.

Con la información anterior y la georeferencia, se podrán elaborar, en una primera etapa, mapas donde se ubiquen e identifiquen los peligros existentes en cada municipio para una adecuada prevención, planeación, preparación y atención de accidentes en caso de que llegaran a presentarse. Sin embargo, para identificar con mayor precisión los peligros es necesario establecer los mecanismos para obtener la información necesaria, lo cual permitirá finalmente, determinar y cuantificar los riesgos.

Adicionalmente, en la presente metodología se han incluido referencias bibliográficas y direcciones en internet, con el fin de que cada institución interesada en el tema incremente su conocimiento y habilidad en la identificación de los peligros y riesgos químicos. Por último, la subdirección de Riesgos Químicos del CENAPRED puede brindar orientación sobre las técnicas necesarias para la identificación de peligros y evaluación de riesgos a las instituciones o dependencias interesadas.

APÉNDICE 7 A

LISTA DE SUSTANCIAS

Número de Referencia	Tipo de sustancia	Sustancia (ejemplo)
1-3	Líquido inflamable, presión de vapor < 0.3 bar a 20°C, (punto de inflamación ≤ 20°C)	Acetal
		Acetaldehído
		Acetato de etilo
		Acetato de isobutilo
		Acetato de metilo
		Acetato de propilo
		Acetato de vinilo
		Acetona
		Acetonitrilo
		Acrilato de etilo
		Benceno
		Butanediona
		Butanol
		Butanona
		Butil formato
		Ciclohexano
		Cloruro de bencilo
		Cloruro de butilo
		Dicloroetano
		Dicloropropano
		Dietil cetona
		Dietilamina
		Dimetil carbonato
		Dimetilciclohexano
		Dioxano
		Etanol
		Eter isopropílico
		Etil formato
		Etilbenceno
		Heptano
		Hexano
		Metanol
		Metil isobutil cetona
		Metil metacrilato
		Metil propionato
		Metil vinil cetona
		Metilciclohexano
		Octano
		Piperidina
		Piridina
		Tolueno
		Trietilamina

Número de Referencia	Tipo de sustancia	Sustancia (ejemplo)
1-3	Líquidos inflamables con presión de vapor < 0.3 bar a 20°C, (punto de inflamación > 20°C)	Acetato de etilglicol
		Alcohol arílico
		Alcohol isoamílico
		Anilina
		Benzaldehído
		Butanol
		Cloruro de bencilo
		Combustóleo (fuel oil)
		Diclorobenceno
		Dicloropropano
		Diesel
		Dietil carbonato
		Diglicol butil
		Dimetilformamida
		Estireno
		Etanolamina
		Etil formato
		Etilenclorohidrina
		Etilenglicol
		Fenol
		Furfural
		Furil carbinol
		Isobutanol
		Isopropanol
		Metil butil cetona
		Metil glicol
		Metil glicol acetato
		Naftaleno
		Nitrobenceno
		Petróleo
		Silicato de etilo
		Trioxano
		Xileno

Número de Referencia	Tipo de sustancia	Sustancia (ejemplo)
4-6	Líquido inflamable, presión de vapor ≥ 0.3 bar a 20°C	Alcohol isopropílico
		Bromuro de etilo
		Ciclopentano
		Dietil éter
		Disulfuro de carbono
		Gas natural condensado
		Gasolina
		Isopropeno
		Metil formato
		Nafta
		Oxido de propileno
		Pentano
		Propanol Solución de colodión
7-9	Gas inflamable licuado a presión	1,3 butadieno
		Butano
		Buteno
		Ciclobutano
		Ciclopropano
		Cloruro de etilo
		Cloruro de vinilo
		Difluoroetano
		Dimetil éter
		Etano
		Fluoruro de etilo
		Fluoruro de vinilo
		Gas L.P
		Isobutano
		Isobutileno
		Metil éter
		Metil fluoruro
		Monóxido de carbono
		Óxido de etileno
		Propadieno
10, 11	Gas inflamable licuado por Congelación	Propano
		Propileno
		Vinil metil éter
		Eteno
12	Gas inflamable bajo presión	Gas natural
		Metano
		Metil acetileno
		Etileno
		Gas natural
		Hidrógeno
		Metano
		Metil acetileno
		Metil acetileno

Número de Referencia	Tipo de sustancia	Sustancia (ejemplo)
13	Gas inflamable en cilindros	Acetileno
		Butano
		Gas L.P
		Hidrógeno
		Propano
14, 15	Explosivos	Nitrato de amonio
		Nitroglicerina
		Peróxidos orgánicos (tipo B)
		Trinitrotolueno
16, 17	Líquidos de baja toxicidad	Alilamina
		Bromuro de alilo
		Cloruro de acetilo
		Cloruro de alilo
		Cloruro de fenil carbilamina
		Cloropirrina
		Diclorodietil eter
		Dimetilhidrazina
		Dimetilsulfato
		Dimetilsulfuro
		Epiclorohidrina
		Etanotiol
		Etil isocianato
		Etiltriclorosilano
		Pentacarbonil hierro
		Isopropilamina
		Metacroleina
		Metil hidracina
		Tetróxido de osmio
		Perclorometilmercaptano
		Perclorometiltiol
		Oxicloruro de fósforo
		Tricloruro de fósforo
		Cloruro de sulfurilo
		Tetraetilo de plomo
		Tetrametilo de plomo
		Triclorosilano
		Cloruro de vinilideno

Número de Referencia	Tipo de sustancia	Sustancia (ejemplo)
18-21	Líquidos de mediana toxicidad	Ácido hidrofúorico
		Ácido nítrico fumante
		Ácido sulfúrico fumante
		Acilonitrilo
		Acroleína
		Bromo
		Cianuro de bromo
		Cloroacetaldehído
		Clorometiléter
		Dimetildiclorosilano
		Etilcloroformato
		Etilenimina
		Isobutilamina
		Metilcloroformato
		Metildiclorosilano
		Metiltriclorosilano
		Óxido de propileno
		Propilenimina
		Soluciones de formaldehído
		Sulfuro de carbono
		Tetracloruro de estaño
		Yoduro de metilo
22, 25	Líquidos altamente tóxicos	Cianuro de hidrógeno
		Dióxido de nitrógeno
		Tetrabutyl amina
		Trióxido de azufre
26, 29	Líquidos muy altamente tóxicos	Carbonil níquel
		Metil isocianato
		Pentaborano
		Pentafluoruro de azufre
30, 35	Gases de baja toxicidad	Cloruro de vinilo
		Etilamina
		Óxido de etileno
31, 36, 40	Gases de mediana toxicidad	Ácido fluorhídrico
		Amoniaco
		Bromuro de vinilo
		Dimetilamina
		Dióxido de azufre
		Flúor
		Fluoruro de perclorilo
		Metilbiomide
		Monóxido de carbono
		Silano
		Tetrafluoruro de silicón
		Trifluoruro de cloro
		Trifluoruro de nitrógeno
		Trimetilamina
		Trifluoruro de boro

Número de Referencia	Tipo de sustancia	Sustancia (ejemplo)
32, 37, 41, 42	Gases altamente tóxicos	Ácido bromhídrico
		Ácido clorhídrico
		Ácido sulfhídrico
		Cloro
		Cloruro de metilo
		Dicloroacetileno
		Dióxido de cloro
		Fluoruro de sulfuro
		Formaldehído
		Germanio
		Hexafluoroacetona
		Monóxido de nitrógeno
		Sulfuro de carbonilo
		Tetrahidruro de estaño
		Tetróxido de dinitrógeno
33, 38	Gases muy altamente tóxicos	Tricloruro de boro
		Ácido selenhídrico
		Boroetano
		Ceteno
		Cianógeno
		Cloruro de carbonilo
		Cloruro de nitrosilo
		Difluoruro de oxígeno
		Estibina
		Flúor
		Fluoruro de carbonilo
		Fosfina
		Fosgeno
		Hexafluoruro de telurio
		Tetrafluoruro de azufre
34, 39	Gases extremadamente tóxicos	Ácido selenhídrico
		Arsina
		Hexafluoruro de selenio
		Ozono

Fuente: IAEA, Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries, IAEA-TECDOC-727, 1996

APÉNDICE 7 B

FUNDAMENTOS LEGALES QUE POSIBILITAN EL SOLICITAR INFORMACIÓN AL OPERADOR O PROPIETARIO DE UN DUCTO QUE CONDUCE MATERIALES PELIGROSOS

El artículo 16 de la Ley General de Protección Civil establece como atribución del Consejo Nacional de Protección Civil:

Fungir como órgano de consulta y de coordinación de acciones del Gobierno Federal para convocar, concertar, inducir e integrar las actividades de los diversos participantes e interesados en la materia, a fin de garantizar la consecución del objetivo del Sistema Nacional de Protección Civil.

El artículo 17 de la misma Ley establece que el Consejo Nacional estará integrado por el Presidente de la República, quien lo presidirá y por los titulares de las Secretarías de Gobernación, Relaciones Exteriores; Defensa Nacional; Marina; Hacienda y Crédito Público; Desarrollo Social; Medio Ambiente y Recursos Naturales; Energía; Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural; Comunicaciones y Transportes; Contraloría y Desarrollo Administrativo; Educación Pública; Salud; por los Gobernadores de los estados y el Jefe de Gobierno del Distrito Federal.

La participación de las anteriores Secretarías puede permitir un acuerdo para compartir información relativa al análisis de riesgos de los ductos que transportan materiales peligrosos, encaminadas a la protección civil; así por ejemplo sería posible el acceder a información sobre análisis de riesgo, trayectorias y especificaciones solicitada por la Secretaría de Energía en la normas oficiales mexicanas NOM-003-SECRE-2002 *Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo* y NOM-007-SECRE-1999 *Transporte de gas natural*, útiles para elaborar mapas de peligro y riesgo. Lo anterior en concordancia con lo indicado en el artículo 39 de la Ley General de Protección Civil donde se establece que las unidades estatales o municipales de Protección Civil, así como las del Distrito Federal, podrán aplicar, entre otras, como medida de seguridad la identificación y delimitación de lugares o zonas de riesgo.

La norma oficial mexicana NOM-007-SECRE-1999 no hace referencia a estudios de riesgo; sin embargo, para la instalación y operación de ductos de transporte de gas natural el artículo 28(I) de la *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* requiere una evaluación de impacto ambiental a oleoductos, gasoductos, carbo ductos y poliductos. Asimismo, los artículos 145, 146 y 147 indican y definen qué actividades requieren elaborar un estudio de riesgo y un Programa de Prevención de Accidentes. Para el caso del transporte de gas natural, gas LP y otros hidrocarburos son requeridos los estudios anteriores, por lo cual las autoridades de Protección Civil podrían solicitar dichos estudios a los operadores o en su caso a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales con la intención de elaborar mapas de peligros y de riesgos.

La NOM-003-SECRE-2002 solicita en el numeral 13.2.1 (a) un análisis de riesgo de las instalaciones. Adicionalmente, la NOM-007-SECRE-1999 en el numeral 12.3.1 (d) indica que se debe proporcionar a la autoridad local información actualizada de las tuberías e instalaciones existentes en su territorio, marcando el área para su fácil identificación.

APÉNDICE 7 C

DISTANCIAS DE SEGURIDAD PARA TUBERÍAS EN EL TRANSPORTE DE MATERIALES PELIGROSOS

Las autoridades y la industria petrolera han buscado determinar una distancia que permita una adecuada protección de las propiedades y personas cercanas a tuberías de transporte de materiales peligrosos.

Es razonable que un incremento en la distancia de separación entre las tuberías y otras construcciones deba reducir la posibilidad de daños a las tuberías y el riesgo de un incidente. Sin embargo, establecer una distancia segura para el alineamiento de construcciones con respecto a los ductos es complicado y se dificulta especialmente cuando se trata de materiales con alta volatilidad o en estado gaseoso, ya que el área de afectación en caso de un accidente depende de diámetro de la tubería, el tamaño del orificio de fuga, de la presión a la cual es transportado el material, del material transportado, de la profundidad de la cubierta (para tuberías enterradas), de las condiciones meteorológicas y de las características topográficas. El supuesto anterior presenta dos puntos a considerar, el primero consiste en establecer cuál es la distancia adecuada, y el segundo es determinar si el costo que representa la restricción del área urbanizable (utilizable para uso habitacional, industrial o comercial) ofrece un beneficio significativo con respecto a la prevención, y a la reducción en la ocurrencia y consecuencias de accidentes en tuberías. Para la solución de este dilema se han tomado dos alternativas, la primera es el establecer una distancia fija y la otra es el de una distancia dependiente de un análisis de riesgos.

La norma elaborada por el *Comité Inter-organismos de Ductos de Petróleos Mexicanos, CID-NOR-N-SI-0001 Requisitos mínimos de seguridad para el diseño, construcción, operación, mantenimiento e inspección de ductos de transporte* representa la primera alternativa, en ella se establece que ninguna tubería podrá ser localizada a una distancia de 15 metros (50 pies) de cualquier casa habitación privada, edificio industrial o lugar de asamblea pública a menos que se considere como mínimo una cubierta adicional de 30.48 cm (12 pulgadas), además especifica en la misma norma, dónde se indica el espesor mínimo de cubierta de acuerdo a la clasificación de la localización. Asimismo, el *Programa Nacional de Desarrollo Urbano 1990-1994* proponía diferentes distancias mínimas de separación entre las cuales se establecía una distancia mínima de separación de 50 metros de la tubería con respecto a usos habitacionales.

Dentro de los estudios relacionados con la determinación de una separación adecuada se encuentra el realizado por el *Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute)*, en 1987 como respuesta a una propuesta federal que pretendía prohibir la instalación de ductos nuevos dentro de una distancia de 45 metros (150 pies) a cualquier asentamiento, para lo cual el Instituto analizó los registros de accidentes, concluyendo que el 66.6% de las muertes y el 74% de los lesionados debidos a accidentes en tuberías se ubicaban dentro de una distancia de 45 metros; estos resultados pueden fundamentar la propuesta de ubicar a una distancia mínima de 45 metros cualquier asentamiento para lograr un adecuado margen de seguridad, sin embargo, esto implicaría una reducción del área urbanizable y un incremento en los costos de esta medida.

El estándar inglés BS8010 aplicable a cualquier gas tóxico inflamable a temperatura y presión atmosférica representa la segunda alternativa, en ella se especifican los requerimientos iniciales para el distanciamiento mínimo a edificaciones, así como factores de diseño, dependiendo de la densidad de población del área donde se pretende ubicar un ducto, este distanciamiento puede modificarse de acuerdo con los resultados obtenidos de un análisis de riesgo. El estándar holandés NEN 3650 también representa esta alternativa, en ella la evaluación de riesgos es explícita al

ofrecer un distanciamiento mínimo entre ductos y construcciones, para un nivel de riesgo individual establecido (10^{-6} /año), además de aplicar criterios de riesgo social.

C.1 Definición de clase de localización

La norma *CID-NOR-N-SI-0001 Requisitos mínimos de seguridad para el diseño, construcción, operación, mantenimiento e inspección de ductos de transporte* con fecha del 14 de agosto de 1998, establece una clasificación de localizaciones, la cual emplea como criterio para determinar las clases de localización por donde pase un ducto de transporte de hidrocarburos lo siguiente:

6.2.2.17 Clasificaciones de localizaciones

6.2.2.17.1 El criterio para determinar las clases de localización por donde pase un ducto de transporte de hidrocarburos gaseosos será la siguiente: la unidad para la clasificación de la localización será un área unitaria de 400 x 1600 metros (0.25 x 1 milla), considerando 200 metros en ambos lados del eje del ducto, en un tramo de 1600 metros, exceptuando lo indicado en 6.2.2.17.7, la clase de localización se determinará por el número de construcciones que se encuentren por área unitaria. Para propósito de esta norma, cada casa o sección de una construcción, destinada para fines de ocupación humana o habitacionales, se contará como una construcción por separado.

6.2.2.17.2 Para ductos cuya longitud sea menor de 1600 metros (1 milla), la localización será asignada de acuerdo a la clase que corresponda a un ducto de 1600 m (1 milla) de longitud a través de la misma área.

6.2.2.17.3 Localización clase 1. Es la que tiene 10 o menos construcciones para ocupación humana en un área unitaria; o en los casos en donde la tubería se localice en terrenos despoblados, desiertos, de pastoreo, granjas.

6.2.2.17.4 Localización clase 2. Es la que tiene más de 10 pero menos de 46 construcciones para ocupación humana en área unitaria de terreno. Comprende áreas en la periferia de las ciudades, áreas industriales, ranchos.

6.2.2.17.5 Localización clase 3. Es aquella área en donde se cumpla una de las siguientes condiciones:

a) Cuando en un área unitaria existan 46 o más construcciones destinadas a ocupación humana o habitacional.

b) Cuando exista una o más construcciones a menos de 100 metros del eje del ducto y se encuentre ocupada normalmente por 20 o más personas.

c) Cuando exista un área al aire libre bien definida a menos de 100 metros del eje del ducto y ésta sea ocupada por 20 o más personas durante su uso normal, como sería un campo deportivo, un parque de juegos, un teatro al aire libre u otro lugar público de reunión.

d) Cuando el ducto pase a 100 metros o menos de áreas destinadas a fraccionamientos o casas comerciales, aun cuando en el momento de construirse el ducto solamente existan edificaciones en la décima parte de los lotes adyacentes al trazo.

e) Cuando el ducto se localice en sitios donde a 100 metros o menos haya un tránsito intenso u otras instalaciones subterráneas. Considerándose como tránsito intenso un camino o carretera pavimentada con un flujo de 200 o más vehículos en una hora pico de aforo.

6.2.2.17.6 Localización clase 4. Es aquella área unitaria donde prevalecen edificios de 4 o más niveles donde el tráfico sea pesado, o denso, considerando como tráfico intenso en un camino o carretera pavimentada un flujo de 200 o más vehículos en una hora pico de aforo; o bien, existan numerosas instalaciones subterráneas.

6.2.2.17.7 Cuando exista un agrupamiento o conjunto de construcciones destinadas a fines de ocupación humana o unidades habitacionales, que por su número pertenezca a una clase de localización definida de acuerdo con los párrafos 6.2.2.17.1 al 6.2.2.17.6, los límites de localizaciones podrán ampliarse de la manera siguiente:

a) Una localización clase 4, 3 y 2, se ampliará hasta 200 metros, siguiendo el eje de la tubería y contados a partir de los límites del área unitaria.

b) Las localizaciones clases 1, 2 y 3 en que se encuentre una construcción donde haya gran concentración de personas, como sucede en escuelas, hospitales, iglesias, salas de espectáculos, cuarteles, etc., se debe considerar la clase siguiente, en orden ascendente, y ampliarse hasta 200 metros en ambos sentidos del ducto contados a partir de los límites del área unitaria.

c) Debe tomarse un margen de 200 metros en ambas direcciones del ducto al determinar los límites de un área clasificada, excepto cuando existan barreras físicas o factores de otra índole que limiten la expansión futura de las áreas pobladas, en cuyo caso los márgenes del área clasificada debe ampliarse y quedará delimitada por dichas barreras, sin exceder la distancia marcada.

Lo anterior coincide con lo establecido en el estándar *ASME B.31.8 Gas Transmission and Distribution Systems* (*ASME B.31.8 Sistemas de transmisión y distribución de gas*) y con el *Código de Regulaciones Federales 49 parte 172.5* (*49 CFR 172.5*) de los Estados Unidos.

Para tuberías de transporte de gas natural, gas LP, hidrógeno y otros gases en el Registro Federal de los Estados Unidos (Federal Register Vol.68 No. 18 enero 28, 2003/ Proposed Rule) se establecen cuatro características significativas de las rupturas de tuberías y sobre explosiones que son relevantes para la definición para áreas de altas consecuencias (en inglés, high consequence areas HCA) estas son:

1. Los efectos de rupturas de tuberías de gas y la subsiguiente explosión están muy localizadas. Las propiedades físicas del gas natural establecen que habrá una elevación cuando el gas se expande en el aire.
2. La zona de daño o zona afectada por el calor debido a una ruptura en la tubería está relacionada con el diámetro de la tubería y la presión a la cual es operada.
3. El tamaño de la zona afectada por el calor debido a la ruptura de una tubería en donde la tubería tiene un diámetro menor a 36 pulgadas y la presión de operación es igual o menor a 1000 psig (pounds per square inch gauge, libras sobre pulgada cuadrada manométricas) se limita a un diámetro de 660 pies.
4. El tamaño de la zona afectada por el calor debido a la ruptura de una tubería en donde la tubería tiene un diámetro igual o mayor a 36 pulgadas y la presión de operación es mayor a 1000 psig puede extenderse a 1000 pies.

El *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)* define los siguientes conceptos:

Área geográfica básica urbana: área geográfica que se encuentra dentro de una localidad urbana (incluyendo todas las cabeceras municipales mayores o menores a 2500 habitantes) integrada por un conjunto de manzanas edificadas y delimitadas por calles y avenidas, cuyo uso de suelo no es forestal ni agropecuario y, que partiendo de un punto, presenta continuidad física en todas direcciones o, en su caso sea interrumpida en forma notoria por terreno de uso no urbano.

Área geográfica básica rural: área geográfica que contiene un conjunto de localidades rurales en una población menor a 2500 habitantes cada una, asentadas en un terreno de uso generalmente agropecuario o forestal, de aproximadamente 8000 hectáreas.

Sin embargo, las anteriores definiciones no contemplan la densidad de población para la determinación de las diferentes áreas, la *Oficina de Censos de los Estados Unidos (Census Bureau)* considera para la definición de las diferentes áreas, entre otros aspectos, lo siguiente: para áreas urbanizadas una densidad poblacional mayor o igual a 1000 habitantes por milla cuadrada (386 habitantes por kilómetro cuadrado); para áreas suburbanas una densidad poblacional de 500 a 1000 habitantes por milla cuadrada (193 a 386 habitantes por kilómetro cuadrado); y para áreas rurales una densidad poblacional menor a 100 habitantes por milla cuadrada (38 habitantes por kilómetro cuadrado).

La definición de *áreas de altas consecuencias* establecida por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos (Department of Transportation, DOT) incluye lo siguiente (Federal Register Vol.68 No. 18 enero 28, 2003/ Proposed Rule; correspondiente al 49 CFR parte 192.761):

- a) Clase de localización 3
- b) Clase de localización 4
- c) Área con extensión de 300 pies (91.44 m) contada a partir del centro de la tubería a un sitio identificado, para una tubería no mayor de 12 pulgadas (30.48 cm) de diámetro y una presión máxima de operación menor a 1200 psig (84.36 Kg/cm²)
- d) Área con extensión de 1000 pies (304.8 m) contada a partir del centro de la tubería a un sitio identificado, para una tubería mayor a 30 pulgadas (76.2 cm) de diámetro y una presión máxima de operación mayor a 1000 psig (70.3 Kg/cm²)
- e) Área con extensión de 660 pies (201.17 m) contada a partir del centro de la tubería a un sitio identificado, para todas las tuberías no contempladas anteriormente.

Un sitio identificado se define como una construcción o un área exterior que puede ser identificado por uno o varios medios y que aloja personas quienes son difíciles de evacuar o que tienen algún impedimento para movilizarse (por ejemplo hospital, iglesias, escuela, prisiones, instalaciones de cuidado); o donde haya evidencia de que 20 o más personas se reúnen al menos 50 días en un año (ejemplo. playas, campamentos, instalaciones religiosas).

C.2 Procedimiento para determinar zonas de impacto para tuberías que transportan gases en áreas de altas consecuencias

Las siguientes condiciones aplican a tuberías de transmisión de gas, que transportan propano, propileno, butanos, butilenos, mezclas de gases con presión de vapor igual o menor a 208 psig (14.62 kg/cm²) a 100°F (38°C), hidrógeno y otros productos (49 CFR 192.3).

Para determinar la zona de impacto en áreas de altas consecuencias se realiza el siguiente proceso:

- Identificar todas las áreas de altas consecuencias debido a las tuberías considerando la definición para áreas de altas consecuencias.
- Calcular el radio de impacto potencial para cada segmento de la tubería (ducto).
- Determinar el radio umbral (threshold radius) asociado al radio de impacto potencial para cada segmento
- Identificar los círculos de impacto potencial para la tubería (ducto).
- Identificar las zonas de impacto potencial para la tubería (ducto) en las clases de localización 3 y 4, identificar las áreas de riesgo moderado.
- Determinar la prioridad de cada segmento; los segmentos localizados dentro de una zona de impacto potencial se consideran de muy alta prioridad, las áreas localizadas fuera de la zona de impacto potencial se consideran de baja prioridad.

Para la aplicación de lo anterior se definen los siguientes términos (49 CFR 192.761):

Círculo de impacto potencial: es un círculo de radio igual al radio umbral usado para establecer las áreas de alta prioridad dentro del área de alta consecuencia. Un círculo de impacto potencial contiene alguna de las siguientes características:

1. 20 o más edificaciones destinadas a ocupación humana dentro de un círculo con radio de 1,000 pies (304.8 m), o mayor si el radio umbral es mayor a 1,000 pies
2. Una instalación donde se alojan personas las cuales son difíciles de evacuar, o
3. Un lugar donde las personas se reúnen.

Radio de impacto potencial: es el radio de un círculo dentro del cual una posible falla en una tubería puede tener un impacto significativo sobre personas o propiedades. El radio de impacto potencial se determina por la fórmula (Federal Register Vol. 68 No. 18 enero 28, 2003/ Proposed Rule; correspondiente al 49 CFR parte 192.761):

$$r = 0.69 * (\text{raíz cuadrada de } (p * d^2))$$

donde:

r: es el radio del área circular que rodea al punto de la falla, en pies

p: es la presión máxima de operación permitida en el segmento de la tubería, en psig

d: diámetro de la tubería, en pulgadas

El valor de 0.69 es un factor para gas natural, este número puede variar para otros gases dependiendo del calor de combustión. Para otros gases revisar la sección 3.2 del estándar *ASME/ANSI B31.8s Managing System Integrity of Gas Pipelines (ASME/ANSI B31.8s Sistema de administración de la integridad de tuberías de gas)* para establecer la fórmula del radio de impacto. Dicho estándar fue elaborado por la American Society of Mechanical Engineers (ASME, en español Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) y la American National Standards Institute (ANSI, en español Instituto Nacional Americano de Estándares).

Zona de impacto potencial: es un área rectangular a lo largo de la tubería derivada del círculo de impacto potencial. La zona de impacto potencial se extiende axialmente a lo largo de la longitud de la tubería del centro del círculo del primer impacto potencial al centro del último círculo de impacto potencial contiguo, y se extiende perpendicularmente a la tubería al radio umbral a ambos lados de la línea central de la tubería.

Radio umbral: es un radio para señalar los límites destinados para proporcionar un margen adicional de seguridad más allá de la distancia calculada para el radio de impacto potencial. Si el radio de impacto potencial calculado es menor a 300 pies (91.44 m), el operador del ducto deberá utilizar un umbral de 300 pies. Si el radio de impacto potencial calculado excede los 300 pies pero este es inferior a 660 pies (201.17 m), el umbral que deberá utilizarse es de 660 pies. Si el radio de impacto potencial calculado excede los 660 pies pero este es inferior a 1000 pies (304.8 m), el umbral que deberá utilizarse es de 1000 pies. Cuando el radio de impacto potencial excede 1000 pies, el umbral es 15% mayor que el radio de impacto actual calculado.

C.3 Ubicación de nuevos ductos

Otro medio para reducir conflictos potenciales con respecto al uso de suelo se basa en la planeación para la selección de la localización de nuevos ductos. En este caso, la planeación en el uso del suelo de las áreas donde se ubiquen las tuberías y la creación del derecho de vía, debe considerarse de tal manera que se evite en lo posible su proximidad a áreas pobladas, así como el anticipar los usos futuros de las áreas y de las áreas próximas seleccionadas para alojar el derecho de vía, de tal manera que se eviten futuros conflictos entre ambas. Además, deben considerarse: las afectaciones que causará el derecho de vía, la posición de cada elemento que interfiera en la construcción del derecho de vía como son vías de ferrocarril, carreteras, caminos y canales, el tipo de terreno, la vegetación, etcétera.

En México, las autoridades federales regulan la ubicación de nuevos ductos basándose en la aplicación del procedimiento de manifestación de impacto ambiental, el estudio de riesgo debido a que se trata de una actividad altamente riesgosa, el cumplimiento de normas oficiales mexicanas, de otras normas y estándares considerados, de la autorización por parte de la Secretaría de Energía; así como, el cumplimiento de leyes, reglamentos y otras disposiciones de carácter estatal, municipal y local relacionadas con el uso del suelo y desarrollo urbano.

APÉNDICE 7 D

PROGRAMAS DE CÓMPUTO EMPLEADOS POR PETRÓLEOS MEXICANOS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGO

Existen dos programas de cómputo utilizados por las subsidiarias de Petróleos Mexicanos para la evaluación de riesgo los cuales son programas comerciales muy especializados, el primero *Integrity Assessment Program (IAP, Programa para la evaluación de la integridad)* empleado por PEMEX Gas y Petroquímica Básica (PGPB) y PEMEX Refinación, y el segundo llamado *Pipeline Risk Analysis for Maintenance and Inspection Decisions (PIRAMID, Análisis de riesgos en tuberías para decisiones sobre inspección y mantenimiento)* empleado por PEMEX Exploración y Producción (PEP).

El programa IAP es utilizado para obtener índices de riesgo, que a su vez se emplean para desarrollar programas de mantenimiento y para la planeación, asignación y distribución de recursos. Este programa maneja más de 200 variables para obtener 7 factores de riesgo: corrosión interior (IC); corrosión exterior (EC); diseño y materiales (DM); movimiento del suelo (GM); terceras partes (TP); operación del sistema (SO); y fractura por esfuerzo de corrosión (OT). Con los factores de riesgo se determinan los valores de probabilidad de falla (LOF) y consecuencias de falla (COF); índices de impacto a la población (IAP), en el medio ambiente (IOE) y en el negocio (IOB) y finalmente el riesgo de falla (ROF). Los valores calculados se comparan para determinar tres bandas de riesgo: tolerable, administrable y no tolerable. La probabilidad de falla (LOF) se expresa como número de eventos por año/10 000 kilómetros; en cuanto a las consecuencias de falla (COF) se establece por la suma del impacto al negocio, al ambiente y a la población, estas últimas variables son a su vez la suma de diferentes subcategorías establecidas como muertes, lesiones, pérdida de producto, daños a propiedad, reparaciones, tarifa de costos y paros.

Asimismo, con la información disponible en el *Sistema de Identificación de Activos (SIIA)* se puede obtener en detalle las áreas de afectación debidas a un evento como es una explosión de material fugado.

PIRAMID es un programa de cómputo que realiza un análisis cuantitativo del riesgo, establece perfiles de riesgo para ductos, pudiéndose establecer una jerarquía de los segmentos de un ducto de acuerdo con niveles de riesgo, identificando segmentos de altas consecuencias. Este programa calcula la probabilidad de falla y las consecuencias de la falla para cada peligro (o causa de fallo), combinando los resultados y calculando el nivel de riesgo para cada segmento del ducto. Para calcular la probabilidad de fallo considera diversas causas de fallo, entre las que se incluyen: impacto con equipo de excavación, corrosión interna, corrosión externa, peligros geotécnicos, sísmicos, etcétera. PIRAMID utiliza los costos de una falla para establecer las consecuencias financieras (económico), ambiental y sobre seguridad en el caso de riesgo a la población, considerando este último como riesgo individual.

APÉNDICE 7 E

PROGRAMAS DE CÓMPUTO PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGO EN EL TRANSPORTE TERRESTRE

El planteamiento de metodologías y modelos para la evaluación del riesgo en el transporte es un proceso que es llevado a cabo por múltiples investigadores, autoridades e instituciones, este proceso se ha ido completando de acuerdo con los problemas presentados, información disponible y resultados obtenidos, de esta manera existen diferentes metodologías y modelos que pretenden no sólo evaluar el riesgo a personas sino también evaluar costos, seleccionar rutas, etcétera, y que de manera general comparten principios comunes. El propósito de las técnicas o metodologías para la evaluación cuantitativa del riesgo en el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos es la estimación del riesgo en una trayectoria o ruta, para lo cual existen diferentes procedimientos, mismos que pueden simplificarse mediante la aceptación de diferentes consideraciones particulares.

En la cuantificación del riesgo debido al transporte de materiales y residuos peligrosos se determina numéricamente el riesgo al que las personas estarán expuestas; estas determinaciones es posible utilizarlas para elaborar estrategias tendientes a: minimizar riesgos y disminuir gastos relativos a la restauración por impactos al ambiente, reparación de daños a estructuras y equipos, o los debidos a la afectación a personas.

En el desarrollo de la evaluación del riesgo en el transporte se consideran diversos componentes que se integran en las diferentes metodologías o técnicas establecidas con este propósito, estos componentes son:

- Definición de los segmentos de la ruta
- Distribución de la población
- Probabilidad del accidente
- Modelos de simulación y determinación de consecuencias
- Modelos para determinar la exposición
- Cálculo de riesgo

Para cada segmento se deben realizar los cálculos de cada accidente, severidad del accidente y densidad de población de la zona. Las probabilidades de accidentes y la densidad de población pueden variar para cada segmento de la ruta por lo cual se deben determinar de manera individual. Los valores de las consecuencias se multiplican por la probabilidad de ocurrencia; la suma de los riesgos para cada segmento resulta en el riesgo total debido al accidente. Los riesgos asociados a cada resultado de incidente se calculan separadamente y se suman posteriormente.

Existen diferentes programas de computo comerciales que integran los componentes anotados anteriormente, entre estos se encuentran: RISKCHEM desarrollado por la Universidad de Illinois y Argonne National Laboratory de los Estados Unidos de América, Transport RISKAT desarrollado por Health and Safety Executive de Inglaterra, y RADTRAN desarrollado por Sandia National Laboratories en los Estados Unidos de América, este último para el transporte de materiales radiactivos; los modelos anteriores poseen diferencias en la manera de evaluar el riesgo, y en algunos casos en la manera de expresarlo.

GLOSARIO

Accidente de Alto Riesgo Ambiental: Una explosión, incendio, fuga o derrame súbito que resulte de un proceso en el curso de las actividades de cualquier establecimiento, así como en tuberías, en los que intervengan uno o varios materiales o sustancias peligrosas y que supongan un peligro grave (de manifestación inmediata o retardada, reversible o irreversible) para la población, los bienes, el ambiente y los ecosistemas.

Accidente: Es cualquier evento no deseado que causa un daño material o humano. De acuerdo al campo de aplicación existen diferentes criterios por ejemplo, en el transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos se considera accidente, cuando no existe liberación de la sustancia transportada, y cuando se presenta una liberación se considera como incidente.

Análisis de riesgos: Es el desarrollo de una estimación cuantitativa del riesgo, basado en técnicas matemáticas que combinan la estimación de las consecuencias de un incidente y sus frecuencias. También puede definirse como la identificación y evaluación sistemática de objetos de riesgo y peligro.

Área de afectación: Representa el área geográfica estimada que puede ser potencialmente afectada por la liberación de una sustancia peligrosa en niveles que pueden causar daños agudos a la salud o la muerte de las poblaciones humanas por efectos de una liberación accidental.

BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion): Explosión debida a la expansión de un líquido en ebullición dentro de un tanque o recipiente cerrado; este evento ocurre debido a la liberación súbita de una gran masa de líquido presurizado a la atmósfera. Una causa primaria es el contacto directo de una flama externa con la superficie del recipiente por encima de la nivel del líquido, lo cual ocasiona un debilitamiento del recipiente en este lugar y su posterior ruptura.

Condiciones meteorológicas: Condiciones de la atmósfera en el momento de un accidente. Se incluyen: velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad, nubosidad y radiación solar.

Consecuencia: Una medida de los efectos esperados que resultan de un incidente.

Derrame: Es el escape de cualquier sustancia líquida, sólida o la mezcla de ambas, de cualquier recipiente o conducto que la contenga como son: tuberías, equipos, tanques de almacenamiento, autotankers, carro-tankers, etcétera.

Desastre: Estado en que la población de una o más entidades, sufre daños severos por el impacto de una calamidad devastadora, sea de origen natural o antropogénico, enfrentando la pérdida de sus miembros, infraestructura o entorno, de tal manera que la estructura social se desajusta y se impide el cumplimiento de las actividades esenciales de la sociedad, afectando el funcionamiento de los sistemas de subsistencia.

Desbaste: Se entiende como el desgaste o disminución del material de un objeto

Estabilidad atmosférica: Es una medida de la habilidad de la atmósfera para dispersar las sustancias químicas. Una atmósfera estable mantiene la fuga como un paquete de aire sin movimiento y una inestable dispersa el paquete. De acuerdo con la clasificación de Pasquill-Guifford-Turner, que es comúnmente usada, se definen seis clases de atmósfera, desde la muy

inestable A, a la muy estable F, se basa en factores como son velocidad del viento, insolación, nubosidad, temperatura y humedad.

Explosión: Es la liberación de una cantidad considerable de energía en un lapso de tiempo muy corto (pocos segundos), debido a un impacto fuerte o por la reacción química de ciertas sustancias. También puede definirse como la liberación de energía que causa una discontinuidad en la presión u onda de choque.

Fuente fija: Instalación industrial, establecimiento comercial o de servicio que maneja o almacena sustancias y materiales peligrosos, y que se encuentra ubicada en un lugar fijo.

Fuente móvil: Unidad de transporte terrestre, aéreo o marítimo (avión, barco, autotank, etc.) que se emplea para el traslado de sustancias y materiales peligrosos.

Fuga: Es la pérdida de material que se presenta al existir un cambio de presión debido a rupturas en el recipiente que lo contiene o lo conduce.

Incidente: Evento no deseado que podría causar algún daño, como resultado de la pérdida de contención de material o energía.

Material peligroso: De acuerdo al Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos son aquellas sustancias peligrosas, sus remanentes, sus envases, embalajes y demás componentes que conforman la carga que será transportada por las unidades.

Peligro: Condición física o química que tiene el potencial de causar daño a las personas, propiedades o al ambiente.

Pool Fire (Charco de fuego): La combustión del material que se evapora en la superficie de un líquido que fue derramado.

Probabilidad: Expresión de la posibilidad de ocurrencia de un evento o un evento subsiguiente durante un intervalo de tiempo. Por definición la probabilidad debe expresarse como un número entre 0 y 1.

Proceso: Conjunto de actividades físicas o químicas relativas a la producción, obtención, acondicionamiento, envasado, manejo y embalaje de productos intermedios o finales.

Residuo: Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

Residuos Peligrosos: Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente.

Riesgo: Es una medida de pérdida económica o de daño a personas en términos de la posibilidad de que suceda un incidente y la magnitud de la pérdida o daño. También puede definirse como el producto de la probabilidad de que ocurra un suceso por la magnitud de sus consecuencias $R = P \times C$.

Sustancia peligrosa: De acuerdo al Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos es todo aquel elemento, compuesto o material o mezcla de ellos que independientemente de su estado físico, represente un peligro potencial para la salud, el ambiente, la seguridad de los usuarios y la propiedad de terceros; también se consideran bajo esta definición los agentes biológicos causantes de enfermedades.

Topografía: Conjunto de particularidades que tiene un terreno en su relieve. Técnica de representación gráfica de un lugar sobre el papel, con todos los accidentes de la superficie.

Toxicidad: Capacidad de una sustancia para causar daño a los tejidos vivos, deterioro del sistema nervioso central, enfermedades severas o muerte por ingestión, inhalación o absorción por la piel.

BIBLIOGRAFÍA

Code of Federal Regulations, 49 CFR Departamento de Transporte de los Estados Unidos de América, 2004. <http://www.access.gpo.gov/nara/cfr>

“Federal Register” Vol. 68 Number 18 Tuesday, Proposed Rules. United States of America, January 28, 2003.

Hernández García C., Hernández Ortega J. A., Contreras Cruz J. C. “Distancias de seguridad a ductos de transporte de hidrocarburos” Memorias Técnicas del 7º Congreso y Expo Internacional de Ductos. Puebla, México, 2003.

International Atomic Energy Agency, IAEA. “Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries” IAEA-TECDOC-727, 1996.

Petróleos Mexicanos “CID-NOR-N-SI-0001 Requisitos mínimos de seguridad para el diseño, construcción, operación, mantenimiento e inspección de ductos de transporte” Disponible en la dirección electrónica <http://www.pemex.com>

Petróleos Mexicanos “NRF-009-PEMEX-2001 Identificación de productos transportados por tuberías o contenidas en tanques de almacenamiento” Disponible en la dirección electrónica <http://www.pemex.com>

Petróleos Mexicanos “NRF-030-PEMEX-2003 Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos” Disponible en la dirección electrónica <http://www.pemex.com>

Petróleos Mexicanos, “Memorias técnicas del 7º. Congreso y Expo Internacional de Ductos” Puebla, México, 2003.

Rivera Balboa R. D. “Medidas para incrementar la seguridad y determinación cuantitativa del riesgo, en el transporte de materiales peligrosos a través de tuberías” RQ/06/99 Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, 1999.

Rivera Balboa R. D. “Metodologías para la evaluación del riesgo en el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos” Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, 2002.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Departamento de Transporte de los Estados Unidos y Transporte de Canadá. “Guía de Respuesta en Caso de Emergencias 2000”.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes “NOM-002-SCT-2003 Listado de sustancias y materiales más usualmente transportados” Disponible en la dirección electrónica <http://www.economia-noms.gob.mx>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes “NOM-004-SCT-2000 Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos” Disponible en la dirección electrónica <http://www.economia-noms.gob.mx>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes “NOM-012-SCT2-1995 Sobre el peso y las dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en

los caminos y puentes de jurisdicción federal” Disponible en la dirección electrónica <http://www.economia-noms.gob.mx>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes “Reglamento sobre peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal” SCT, México, 1997

Secretaría de Desarrollo Social. “Zonas de riesgo en centros de población” México.

Secretaría de Energía “*NOM-003-SECRE-2002* Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos” Disponible en la dirección electrónica <http://www.economia-noms.gob.mx>

Secretaría de Energía “*NOM-007-SECRE-1999* Transporte de gas natural” Disponible en la dirección electrónica <http://www.economia-noms.gob.mx>

Secretaría de Gobernación “Ley General de Protección Civil” Diario Oficial de la Federación reformado el 12 de mayo del 2000. México.

Secretaría de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil, “Guía técnica para la preparación de mapas de ubicación geográfica de riesgos” México, 1994.

Secretaría de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil, “Guía cartográfica para el levantamiento de riesgos a nivel municipal” México, 1994.

Secretaría de Gobernación, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, “Primer listado de actividades altamente riesgosas” Diario Oficial de la Federación, 28 de marzo de 1990.

Secretaría de Gobernación, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, “Segundo listado de actividades altamente riesgosas” Diario Oficial de la Federación, 4 de mayo de 1992.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales “*NOM-052-ECOL-1993* Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente” Disponible en la dirección electrónica <http://www.economia-noms.gob.mx>

Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. “Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente” Diario Oficial de la Federación, 28 de enero 1988, actualizada al 13 de junio del 2003.

Secretaría de Trabajo y Previsión Social “*NOM-018-STPS-2000* Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas” Disponible en la dirección electrónica <http://www.economia-noms.gob.mx>

Secretaría de Trabajo y Previsión Social “*NOM-026-STPS-1998* Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías” Disponible en la dirección electrónica <http://www.economia-noms.gob.mx>



Evaluación de la Vulnerabilidad

VIII EVALUACIÓN SIMPLIFICADA DE LA VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA UNIFAMILIAR ANTE SISMO Y VIENTO

Carlos Reyes Salinas, Leonardo Flores Corona, Miguel Angel Pacheco Martínez, Oscar López Bátiz, Luis Ángel Valerio Zárate y Oscar Zepeda Ramos

RESUMEN

Se presenta una primera versión del procedimiento para apoyar a las unidades de protección civil municipales a construir mapas cualitativos de riesgo, relacionados con la vulnerabilidad de la vivienda de bajo costo ante la acción de sismo y viento. Se hace una clasificación preliminar de dicho tipo de vivienda, empleando dos criterios. El primero de ellos hace uso de datos del censo más reciente de población y vivienda llevado a cabo por el Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI). El segundo criterio, se basa en información técnica derivada del comportamiento de la vivienda ante la acción de sismos y huracanes que han afectado a la República Mexicana en los últimos años. También, para estimar el riesgo de manera cualitativa, se propone un índice que tiene en cuenta tanto la vulnerabilidad física como la vulnerabilidad social. Asimismo, se hace mención de los conceptos fundamentales para evaluar el riesgo de forma cuantitativa, así como, la utilidad que ello tiene en la protección civil.

8.1 INTRODUCCIÓN

Para realizar estudios de riesgo es necesario abarcar dos grandes campos de estudio: el peligro y la vulnerabilidad. El término vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad de una construcción a presentar algún tipo de daño, provocado por la acción de algún fenómeno natural o antropogénico.

En cuanto al peligro, es conocido que la República Mexicana es afectada por varios fenómenos naturales de gran poder destructivo como son los sismos, huracanes, inundaciones, deslizamientos de laderas, volcanes, asentamientos del terreno, entre otros, así como fenómenos generados por el hombre (antropogénicos) entre los que destacan, escape de residuos peligrosos, explosiones e incendios.

Asimismo, es necesario, para estimar distintos niveles de riesgo, evaluar la vulnerabilidad, ante cada fenómeno, de cada una de las obras construidas por el hombre tales como vivienda, hospitales, escuelas, servicios de emergencia, edificios públicos, vías de comunicación, líneas vitales (electricidad, agua, drenaje, telecomunicaciones, etc.), patrimonio histórico, comercio e industria, sin olvidar tierras de cultivo, zonas de reserva ecológica e incluso turísticas o de esparcimiento.

De entre los fenómenos naturales los eventos sísmicos y la acción del viento generado por los huracanes anualmente producen cuantiosas pérdidas económicas. En especial, el sector vivienda es el que resulta con las mayores afectaciones ante la acción de estos dos fenómenos.

Así, la finalidad de esta sección de la guía metodológica es establecer, criterios cualitativos generales para evaluar la vulnerabilidad física de la vivienda de bajo costo ante la acción de sismo y viento. Sin embargo, en la sección que sigue se hace una revisión de algunos conceptos que sirven de base para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo de forma cuantitativa, la metodología para la aplicación de estos conceptos se describe en el informe técnico (Instituto de Ingeniería UNAM-CENAPRED, 2003).

8.2 CONCEPTOS GENERALES DE VULNERABILIDAD Y ESCENARIOS DE RIESGO

8.2.1 Conceptos generales para evaluar la vulnerabilidad

La manera formal de cuantificar la vulnerabilidad es a través de funciones de vulnerabilidad. Una función de vulnerabilidad es una expresión matemática que relaciona las consecuencias probables de un fenómeno sobre una construcción, una obra de ingeniería, o un conjunto de bienes o sistemas expuestos con la intensidad de dicho fenómeno que podría generarlas. La forma en que se describan las consecuencias dependerá del tipo de sistema expuesto y de las aplicaciones que se tengan en mente. Por ejemplo en el caso de sismo, para fines de tomar medidas preventivas relacionadas con la seguridad de un conjunto de unidades de habitación, puede ser importante conocer el nivel de daño físico que podrían sufrir ante cada intensidad, así como los números probables de vidas que podrían perderse ante un temblor de una intensidad dada. Si se trata de una obra destinada a prestar servicios esenciales a una comunidad, tal como un hospital, las consecuencias deberán expresarse en términos de su posible impacto sobre la capacidad para realizar sus funciones. Para fines de aseguramiento o para la creación de fondos para reparación y reconstrucción sería necesario expresar las consecuencias en términos de indicadores económicos. Para conjuntos industriales, además de las consecuencias económicas directas sobre las construcciones pueden ser importantes las pérdidas asociadas con la interrupción de negocios o las pérdidas de fuentes de trabajo.

La construcción de funciones de vulnerabilidad implica una clasificación de los sistemas expuestos, en función de las consecuencias y la intensidad de un fenómeno determinado. Por ejemplo, en el caso de sismo, tanto los tipos de daños que pueden causar los movimientos del terreno en una construcción, en un sistema urbano o en una formación natural, como la selección de las variables del movimiento sísmico y de las propiedades del sistema o de la obra en cuestión que conduzcan a las estimaciones más confiables de las funciones de vulnerabilidad, dependen del tipo de sistema considerado. De acuerdo con esto, los sistemas expuestos se pueden clasificar como se describe en los siguientes párrafos (Instituto de Ingeniería UNAM- CENAPRED, 2003).

De acuerdo con el tipo de su arreglo estructural, las construcciones se clasifican como sigue:

Tipo I. Casas para habitación unifamiliar, construidas con muros de mampostería simple o reforzada, adobe, madera o sistemas prefabricados.

Tipo II. Edificios para vivienda, oficinas y escuelas, contruidos con concreto reforzado, acero, mampostería reforzada o sistemas prefabricados. También pertenecen a este tipo las chimeneas, los tanques elevados y otros tipos de construcciones cuyos modos dominantes de falla puedan relacionarse con la ocurrencia de desplazamientos excesivos de su extremo superior.

Tipo III. Construcciones especiales: teatros y auditorios, iglesias, naves industriales, construcciones antiguas, y construcciones que presenten riesgo significativo de falla en modos que no impliquen necesariamente la ocurrencia de desplazamientos excesivos en su extremo superior.

Tipo IV. Sistemas de gran extensión o con apoyos múltiples: puentes.

Tipo V. Tuberías superficiales o enterradas

Cada tipo de estructura podrá a su vez incluir varios subtipos, de acuerdo con parámetros o características específicas; por ejemplo, densidad de muros, tipo de diseño sísmico, irregularidades, etc.

De acuerdo con las posibles consecuencias de su falla, en caso de que ocurra, las construcciones se clasifican como sigue:

Grupo A. Construcciones cuya falla estructural podría causar la pérdida de un número elevado de vidas o pérdidas económicas o culturales excepcionalmente altas, tales como estadios, teatros, auditorios e iglesias, o que constituyan un peligro significativo por contener substancias tóxicas o explosivas, así como construcciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana, como: hospitales, escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, y construcciones que alojen archivos y registros públicos de particular importancia.

Grupo B. Construcciones ordinarias usadas como vivienda, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el Grupo A.

Asimismo, de acuerdo con su tipo, los sistemas estructurales y las obras de ingeniería en general pueden experimentar distintas formas de falla o de daños físicos, los que a su vez pueden conducir a consecuencias de diversas clases, entre las que se encuentran los costos directos, como los de reparación, o los indirectos, como los asociados a la interrupción de las funciones del sistema; las pérdidas de vidas humanas o la generación de problemas de salud, o diversas formas de impacto socio-económico.

Entre las formas de falla o de daños físicos los más frecuentes son los siguientes:

- Colapso debido a la falla de la estructura o de la cimentación
- Daños en elementos estructurales
- Daños en elementos no estructurales
- Daños en instalaciones, equipo y contenidos
- Inclinationes remanentes y deformaciones residuales
- Fugas en tuberías superficiales o enterradas

Los modos de falla condicionan fuertemente la forma de una función de vulnerabilidad. Por ejemplo, si una construcción es altamente vulnerable alcanzará su colapso para intensidades relativamente bajas, en tanto que una construcción con baja vulnerabilidad lo alcanzará para intensidades altas.

8.2.2 Construcción de escenarios

Los criterios que se adopten para formular descripciones cuantitativas de riesgo dependen de las aplicaciones que se prevean. Los que proporcionan información más directamente aplicable para fines de preparación para la atención de emergencias ante eventos sísmicos son los de construcción de escenarios posibles ante alguna de las siguientes condiciones (Instituto de Ingeniería UNAM-CENAPRED, 2003):

- a) Escenario en una *localidad* ante una intensidad asociada a un intervalo de recurrencia
- b) Escenario en una *localidad* ante la ocurrencia de un fenómeno natural o antropogénico, por ejemplo si ocurriera un sismo de magnitud y foco conocidos
- c) Escenario regional ante la ocurrencia de fenómeno natural o antropogénico

Para los fines anteriores, se entiende como una *localidad* una extensión territorial pequeña (unos cuantos kilómetros o decenas de kilómetros de longitud) en donde la intensidad generada por la ocurrencia de un fenómeno natural o antropogénico se pueda considerar constante, salvo por los efectos de las condiciones locales, por ejemplo, en el caso de sismo, las propiedades del suelo o irregularidades topográficas que puedan modificar considerablemente la intensidad del mismo. Un punto específico dentro de esa localidad se designará como *sitio*. De acuerdo con estas definiciones, por ejemplo, el Distrito Federal (o el Valle de México) puede tomarse como una localidad para la cual las intensidades sísmicas varían entre un sitio y otro, de acuerdo con las condiciones locales.

La construcción de escenarios proporciona información valiosa para la toma de decisiones en el área de protección civil, sin embargo, su implementación no es trivial y es necesario recurrir a expertos en el tema, una guía para ello se describe en (Instituto de Ingeniería UNAM- CENAPRED, 2003).

8.3 CRITERIO SIMPLIFICADO PARA EVALUAR CUALITATIVAMENTE LA VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA DE BAJO COSTO ANTE LA ACCIÓN DE SISMO O VIENTO

8.3.1 Introducción

En una primera parte del capítulo se mencionan las necesidades y fuentes de información que se requieren como insumos para evaluar la vulnerabilidad del sector vivienda. En seguida se hace una clasificación de los diferentes tipos de vivienda, que de acuerdo con la experiencia del CENAPRED, existen en el país; sólo se hace mención de la vivienda de bajo costo unifamiliar. Finalmente, se propone un índice, cuya finalidad es estimar de manera cualitativa el riesgo de la vivienda ante la acción de sismo o viento. Dicho índice sólo permite identificar las zonas con mayor susceptibilidad al daño y no permite llevar a cabo un análisis de riesgo, por ejemplo, estimar pérdidas ante eventos postulados o bien asociados a un periodo de retorno determinado.

8.3.2 Requerimientos y fuentes de información

En lo que se refiere a las fuentes de información, los criterios de evaluación de la vulnerabilidad que en seguida se describen, tienen en cuenta dos niveles de información. El primero de ellos solamente involucra información del último censo de población y vivienda, disponible en el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). El segundo nivel de información requiere de una inspección en campo, que consiste en hacer un levantamiento clasificando cada vivienda en alguno de los tipos que en seguida se mencionan.

La información del INEGI se encuentra disponible para el público en general a nivel de municipio.

La información con que cuenta el INEGI, clasifica a la vivienda por el material usado en techos, pisos y muros (paredes). Para los fines de este documento se usarán, únicamente, los datos de techos y muros.

En el caso del segundo nivel de información, en las secciones que siguen, se describen las herramientas para efectuar la inspección de campo. Además, será deseable contar con un posicionador geográfico que permita ubicar a través de coordenadas cada una de las zonas geográficas en estudio (predios, manzanas o Área Geoestadística Básica, AGEBS), así como la cartografía adecuada para representar espacialmente los distintos tipos de vivienda de una zona en estudio. En caso de no contar con estas herramientas un plano de catastro será suficiente.

8.3.3 Factores que influyen en la vulnerabilidad de la vivienda de bajo costo ante el efecto de sismo o viento

8.3.3.1 Efecto de los sismos en la vivienda

Al actuar un sismo sobre una vivienda induce fuerzas laterales que se transmiten directamente sobre los muros de carga.

En general, los elementos estructurales que componen una vivienda de bajo costo son:

- ✓ Cimentación, transmite los esfuerzos producto de las cargas verticales (inducidas por el peso de la propia construcción, su contenido y sus ocupantes) y horizontales (inducidas por la acción del sismo o viento);
- ✓ Muros de carga, encargados de transmitir las cargas verticales y laterales a la cimentación;
- ✓ Techos que, en caso de sismo, transmiten cargas laterales hacia los muros y los mantiene unidos con el fin de que su funcionamiento sea en conjunto. En el caso de viento, el techo mantiene unidos a los muros y además se sujeta de ellos para evitar su desprendimiento.

La figura. 8.1 muestra esquemáticamente la acción del sismo sobre una vivienda.

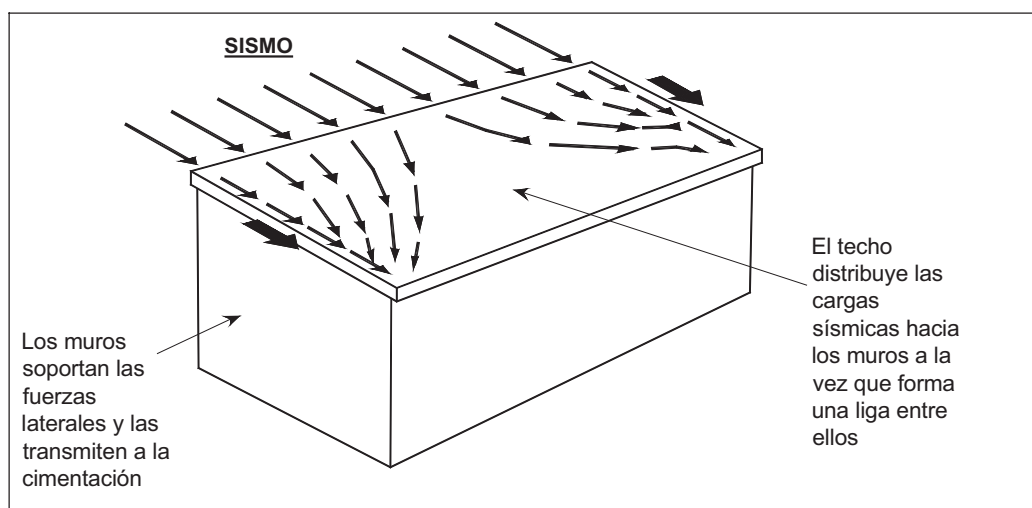


Figura 8.1 Representación esquemática del efecto del sismo sobre una vivienda

Los aspectos que destacan en el desempeño sísmico de una vivienda son:

- ✓ La unión entre el techo y los muros, asegura la adecuada transmisión de las fuerzas inducidas por el sismo;
- ✓ La rigidez del techo, un techo construido con materiales como concreto, vigueta y bovedilla y similares, garantiza una mejor transmisión de las fuerzas horizontales hacia los muros, además los mantiene ligados entre sí;
- ✓ Las fuerzas laterales que se generan son directamente proporcionales al peso de techos y muros. Por tanto, la construcción de vivienda con materiales ligeros como, madera, bajareque, entre otros, mejora su desempeño sísmico.

8.3.3.2 Efecto del viento sobre la vivienda

El movimiento del viento a velocidades elevadas (superiores a 150 km/h), genera fuerzas que se distribuyen en las construcciones como lo indica la figura 8.2. De acuerdo con esa distribución de fuerzas, los elementos estructurales en los que se debe centrar la atención son los muros y techos; de manera especial los techos son los que mayores daños presentan durante la acción de un fenómeno meteorológico.

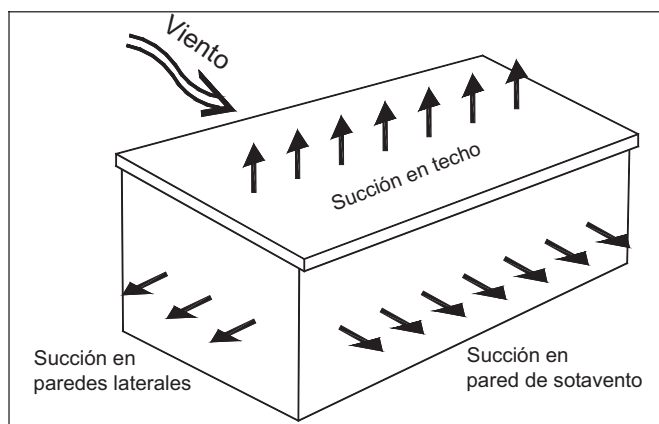


Figura 8.2 Representación esquemática del efecto del viento sobre una vivienda

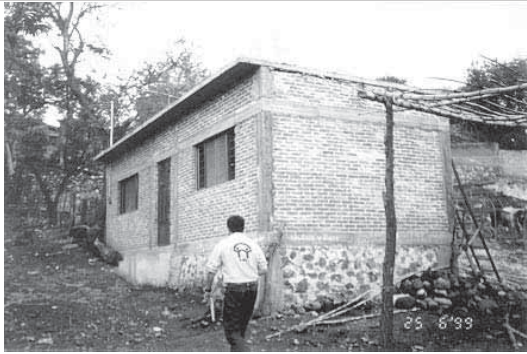
8.3.4 Clasificación de la vivienda de bajo costo según la acción de viento o sismo

Con base en los puntos débiles de una vivienda ante la acción de sismo o viento, se propone la siguiente clasificación para varios tipos de vivienda según dos criterios, el primero de ellos relacionado con los datos del censo más reciente de población y vivienda del INEGI, y el segundo que toma en cuenta aspectos técnicos formales.

8.3.4.1 Clasificación de vivienda de bajo costo de acuerdo con la tipología usada por INEGI

De la clasificación usada para el censo, se establecieron los tipos de vivienda que se presentan en la tabla 8.1 (columna 1). Los números de las columnas dos y tres establecen una calificación que relaciona el tipo de vivienda y la susceptibilidad al daño ante sismo y viento respectivamente, el número uno es para la de mejor desempeño y, 4 y 7.6, respectivamente, para las viviendas con peor desempeño.

Tabla 8.1 Tipos de vivienda según información de INEGI

Tipo	S ¹	V ²	Características de la vivienda	Fotografía representativa
1	1	1	Muros de mampostería con techos rígidos. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o de mampostería.	
2	2.3	2.5	Muros de mampostería con techos flexibles. Su cimentación, es construida con una zapata corrida de concreto o de mampostería.	
3	3.6	2.0	Muros de adobe con techo rígidos. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.	
4	4	5.5	Muros de adobe con techos flexibles. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.	

Continúa

Tabla 8.1 Tipos de vivienda según información de INEGI

Tipo	S ¹	V ²	Características de la vivienda	Fotografía representativa
5	3.3	7.6	Muros de materiales débiles con techos flexibles. Generalmente no cuentan con cimentación.	

Notas:

¹ Calificación de la vivienda para sismo² Calificación de la vivienda para viento

La desventaja de la clasificación de la vivienda basada en la usada por el INEGI, es que no distingue detalles de tipo constructivo que condicionan el desempeño de una vivienda ante sismo o viento.

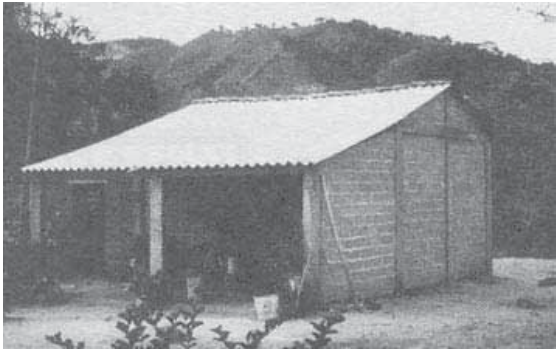
Para la clasificación del INEGI, debe entenderse que:

- ✓ Los muros de mampostería son: tabique, bloque, piedra, cantera, entre otros (ver Tabla 8.3);
- ✓ Los techos flexibles son: material de desecho, lámina de cartón, lámina de asbesto y metálica, palma, tejamanil, madera, teja y los no especificados en el censo de INEGI;
- ✓ Los techos rígidos considerados son: losa de concreto, tabique, ladrillo, terrado con vigueta y bóveda catalana.

8.3.4.2 Clasificación de vivienda de bajo costo según aspectos técnicos

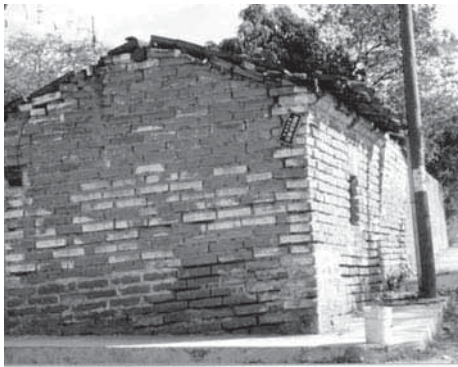
El segundo criterio de clasificación, que incluye aspectos técnicos formales se consigna en la tabla 8.2. Para la aplicación de este criterio de clasificación se requiere de una inspección en campo vivienda por vivienda o bien un muestreo.

Tabla 8.2 Tipos de vivienda con base en información técnica

Tipo	S ¹	V ²	Características de la edificación	Fotografía representativa
1	1	1	Muros de mampostería reforzada con castillos y dalas, mampostería reforzada con castillos y dalas y malla y mortero o mampostería de piezas huecas con refuerzo interior y con techos rígidos. En general, la cimentación es una zapata corrida de concreto o mampostería.	
2	1.5	4.0	Muros de mampostería reforzada con castillos y dalas o mampostería de piezas huecas con refuerzo interior y con techos flexibles. En general, la cimentación es una zapata corrida de mampostería.	
3	2.0	2	Muros de mampostería deficientemente reforzada con dalas y castillos o mampostería de piezas huecas con refuerzo interior insuficiente y con techos rígidos. En general, la cimentación es una zapata corrida de mampostería.	
4	2.2	4.7	Muros de mampostería deficientemente reforzada con dalas y castillos o mampostería de piezas huecas con refuerzo interior insuficiente y con techos flexibles. En general, la cimentación es una zapata corrida de mampostería.	

Continúa

Tabla 8.2 Tipos de vivienda con base en información técnica

Tipo	S ¹	V ²	Características de la edificación	Fotografía representativa
5	3.0	6.2	Muros de mampostería simple con techo flexible. Cuando existe, la cimentación es una zapata corrida de mampostería.	
6	3.2	2.5	Muros de mampostería simple con techo rígido. Cuando existe, la cimentación es una zapata corrida de mampostería.	
7	3.6	3.3	Muros de adobe con techo rígido. Cuando existe, la cimentación es una zapata corrida de mampostería.	

Continúa

Tabla 8.2 Tipos de vivienda con base en información técnica

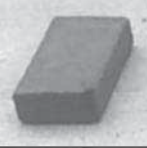
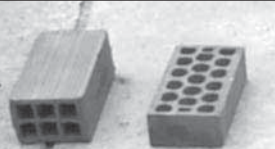
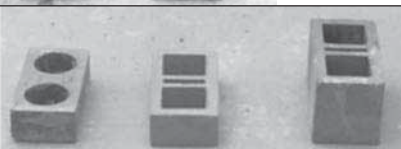
Tipo	S ¹	V ²	Características de la edificación	Fotografía representativa
8	4.0	6.9	Muros de adobe con techo flexible. Cuando existe, la cimentación es una zapata corrida de mampostería.	
9	2.5	5.5	Muros contruidos con estructura de madera con cubierta de lámina (asbesto, metálica o madera), estructura metálica con cubierta de lámina (asbesto, metálica o madera). El sistema de techo está compuesto por materiales flexibles. La cimentación es a base de zapata corrida, el material de la cimentación es mampostería simple.	
10	2.7	7.6	Muros de material flexible con techo flexible. Cuando existe, la cimentación es una zapata corrida de mampostería.	

Notas:

¹ Calificación de la vivienda para sismo² Calificación de la vivienda para viento

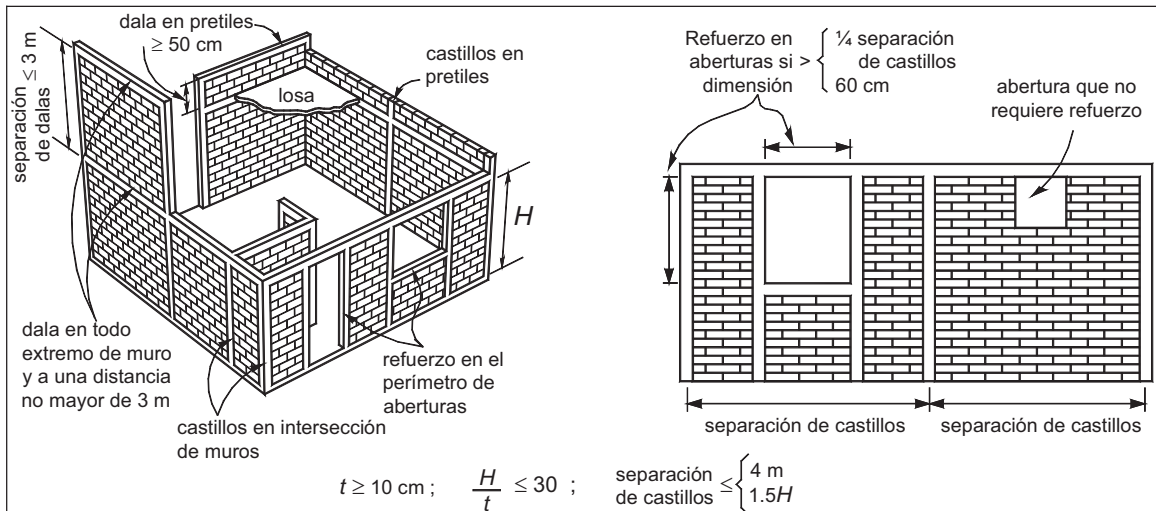
La tabla 8.3 muestra los diferentes tipos de piezas de mampostería que comúnmente son empleados en la construcción de vivienda.

Tabla 8.3 Piezas comunes de mampostería para la construcción de muros de carga de viviendas

Tipo de pieza	Figura
Tabique de barro recocido	
Tabique multiperforado de barro recocido	
Tabique hueco de barro recocido	
Piezas macizas de cemento arena (Tabicón)	
Bloque de concreto	
Mampostería de piedras naturales	

La tipología de la tabla 8.2 implica algunos conceptos nuevos respecto a la clasificación de INEGI, los cuales se explican en seguida:

- ✓ *Mampostería adecuadamente reforzada con dalas y castillos:* en este tipo de mampostería las dalas y los castillos de concreto reforzado sirven de elementos confinantes de muros. También deben estar alrededor de aberturas, como puertas y ventanas. Los elementos confinantes, dalas y castillos, incrementan la capacidad resistente de la vivienda y se colocan con recomendaciones de diseño que llevan a un buen desempeño ante la acción de fenómenos naturales o antropogénicos. La figura 8.3 muestra con claridad la distribución de los elementos confinantes. Las piezas con que se construye pueden ser macizas o huecas (ver tabla 8.3). Se debe aclarar que este tipo de construcciones deberían ser las que se localizaran en zonas de alto a muy alto peligro por sismo (ver capítulo III) o viento (ver fig. 8.7), es probable que en zonas con peligro moderado a bajo no se encuentren viviendas con estas características.

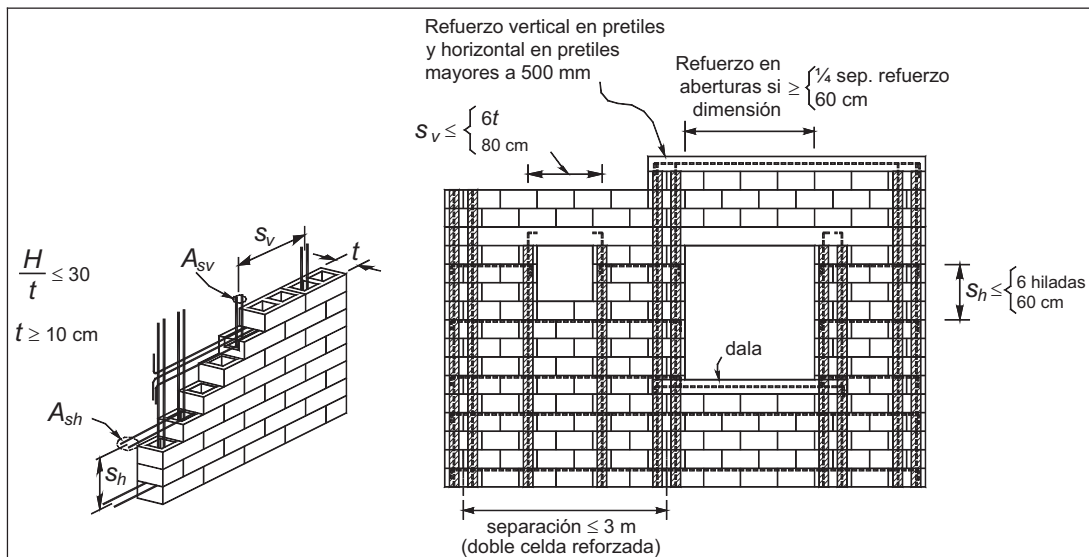


H = altura libre del muro entre elementos capaces de darle apoyo lateral, mm (cm)

t = espesor de la mampostería del muro, mm (cm).

Figura 8.3 Ejemplo de una vivienda de mampostería adecuadamente confinada

- ✓ *Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior adecuado:* es característica de grandes conjuntos habitacionales y para ser clasificada como tal deben existir planos estructurales y control de calidad durante la construcción que así lo demuestren. La figura 8.4 muestra este tipo de mampostería. Es evidente que para clasificar este tipo de construcciones se requiere de las evidencias anteriores puesto que el refuerzo no es visible.



A_{sv} = área del acero de refuerzo vertical colocada a una separación S_v , cm².

H = altura libre del muro entre elementos capaces de darle apoyo lateral, cm.

t = espesor de la mampostería del muro, cm.

S_v = separación del acero de refuerzo vertical en el muro, cm.

S_h = separación del acero de refuerzo horizontal en el muro o de los alambres horizontales de una malla de alambre soldado, cm.

Figura 8.4 Ejemplo de mampostería de piezas huecas con refuerzo interior

- ✓ *Mampostería deficientemente reforzada con dalas y castillos:* se clasificarán dentro de este tipo de mampostería, las viviendas que no tengan elementos confinantes distribuidos adecuadamente. El caso más común es aquel en que no existen dalas y castillos alrededor de las aberturas (puertas y ventanas). La figura 8.5a presenta un caso típico y la fig. 8.5b los daños que comúnmente se observan en este tipo de construcciones.

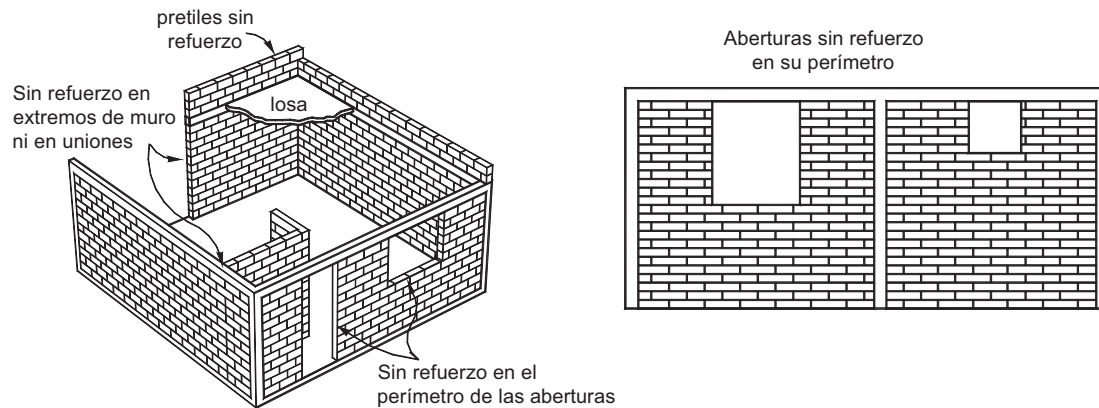


Figura 8.5a Ejemplo de una vivienda de mampostería deficientemente confinada

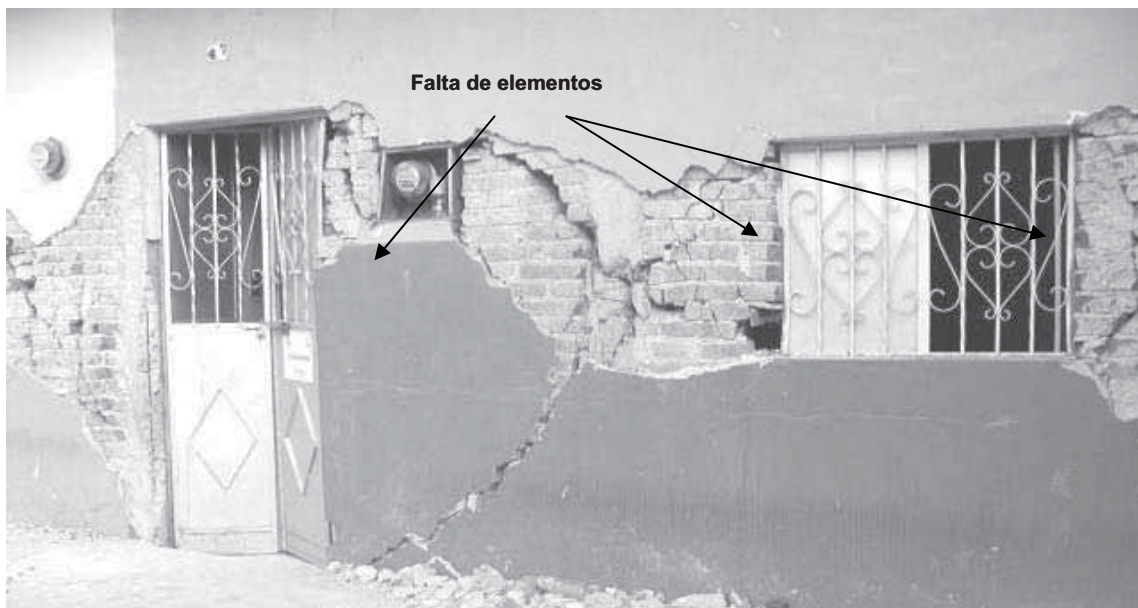


Figura 8.5b Caso típico de una vivienda de mampostería deficientemente confinada

- ✓ *Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior insuficiente:* se clasificarán en este tipo de vivienda, aquellas en las que se sepa que sí tiene refuerzo interior pero que no se cuente con planos estructurales o sin control de calidad durante la construcción.
- ✓ *Mampostería simple:* dentro de este tipo de mampostería se clasifican aquellas construcciones que no cuentan con castillos o refuerzo interior, incluyendo la mampostería que se construye con piedras naturales.
- ✓ *Otros tipos: Vivienda prefabricada:* Este tipo de sistema estructural se constituye con sistemas de muros y techos precontruidos, que se ensamblan y terminan en sitio. La vivienda prefabricada se clasificará, para fines del cálculo del índice de riesgo, dentro del grupo de *mampostería confinada y/o reforzada con malla y mortero* (vivienda tipo 1) cuando se cuente con diseño estructural y supervisión profesional en la construcción; de lo contrario (autoconstrucción) deberá clasificarse como *mampostería deficientemente confinada* (vivienda tipo 2).

8.3.5 Formato de levantamiento de tipologías

Con el fin de facilitar la clasificación de la vivienda, en el caso que se opte por el criterio de clasificación que incluye aspectos técnicos formales, en la figura. 8.6 se presenta un formato de evaluación, es recomendable que este formato sea llenado por estudiantes de servicio social o bien profesionales de las áreas de ingeniería civil o arquitectura. Este formato, permite levantar en campo los datos suficientes para clasificar el tipo de vivienda, según la tabla 8.2, y luego asignarles la calificación correspondiente, columnas dos y tres de la misma tabla, con fines de calcular el índice de riesgo descrito en la sección 8.4. Una vez completados los formatos de cada una de las viviendas para una zona en estudio, se debe conformar una base de datos y representarla en un sistema de información geográfica, según lo indicado en el capítulo II.

FORMATO PARA TIPOLOGÍA DE VIVIENDA		Noviembre
INFORMACIÓN GENERAL		
Propietario:	Fecha:	(Anotar: calle, no., lote, manzana, colonia, municipio/deleg., población/ciudad, estado. Entre calles A y B)
Dirección oficial:		
Edad de la construcción:	Coordenadas (geo-referencia): Longitud: _____ °N, Latitud: _____ °O	
Modificaciones sufridas:		
ASPECTOS ARQUITECTONICOS		
Regularidad en planta: buena (simétrica) _____, mala: _____ Muros suficientes en dos direcciones : ☐ si ☐ no		
Número de niveles: _____ altura de entrepiso _____ m Dimensiones generales: Frente: _____ m; Largo: _____ m		
ASPECTOS ESTRUCTURALES		
Contó con asesoría profesional: ☐ si ☐ no		
MUROS Piezas de mampostería ☐ Tabique macizo de barro recocido ☐ Tabique hueco de barro recocido (extruido "tabique aparente") ☐ Tabique multiperforado de barro recocido ☐ Tabique macizo de concreto (tabicón de cemento-arena) ☐ Bloque hueco de concreto ☐ Piedras naturales Espesor de muros: _____ cm Lígeros o débiles ☐ Enramado cubierto de palma o fibra vegetal ☐ Enramado cubierto de lodo (embarro o bajareque) ☐ De madera de materiales precarios ☐ De madera con diagonales ☐ De madera contrachapada (triplay) y diagonales Adobe ☐ Simple (sin elementos de refuerzo) ☐ Confinado con castillos y dalas o malla y mortero Mampostería ☐ Simple (sin elementos de refuerzo o confinamiento) ☐ Con refuerzo interior dudoso y sin supervisión profesional ☐ Deficientemente confinada (aberturas sin refuerzo) ☐ Reforzada interiormente (hay supervisión profesional) ☐ Adecuadamente confinada (refuerzo en aberturas) Concreto ☐ Concreto colado en el lugar ☐ Paneles prefabricados		
TECHOS Flexible ☐ Material de desecho ☐ Enramado cubierto de palma o fibra vegetal (Palma, Tejamanil, etc.) ☐ Madera ☐ Lámina de cartón asfáltico ☐ Lámina de plásticos o fibra de vidrio ☐ Lámina metálica (zinc) ☐ Lámina de asbesto ☐ Teja de barro Tipo de anclaje del techo hacia los muros: _____ Rígido ☐ Vigas de acero con bóveda de tabique ☐ Vigas de acero con delgada de tabique (bóveda catalana) ☐ Losa de concreto reforzado ☐ Prefabricados (vigüeta-bovedilla u otros) Geometría ☐ Plano (horizontal) ☐ A un agua ☐ A dos aguas ☐ Otro: _____ Espesor de la losa de concreto o tabique: _____ cm		
CIMENTACIÓN		
Descripción:		
CLASIFICACIÓN SEGÚN LA TIPOLOGÍA: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Sismo Viento		
ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS		
No. de habitantes: _____ Servicios: ☐ agua entubada, ☐ drenaje, ☐ luz		

Figura 8.6 Formato para clasificar la vivienda empleando el criterio formal

8.4 CRITERIO CUALITATIVO PARA EVALUAR EL RIESGO DE LA VIVIENDA DE BAJO COSTO ANTE LA ACCIÓN DE SISMO O VIENTO

8.4.1 Introducción

En el presente capítulo se describe un índice de riesgo que evalúa la susceptibilidad de daño de la vivienda cuando es sometida a la acción del viento o sismo. Se inicia planteando la evaluación del índice de riesgo propuesto a nivel individual y en seguida se plantea la evaluación del índice a nivel manzana, AGEB (área geoestadística básica definida por el INEGI) o localidad (cualquier zona urbana, desde pequeños poblados hasta ciudades de cualquier tamaño) y luego a nivel municipal.

El índice de vulnerabilidad para cada tipología de vivienda se maneja en una forma simplificada. Análisis más refinados requerirán de la elaboración de funciones de vulnerabilidad formales, así como estudios de peligro especializados, los cuales pueden ser desarrollados por especialistas de universidades estatales.

8.4.2 Índice de riesgo

Un índice de riesgo es un valor acotado entre cero y uno. Si bien, el índice que se describe en seguida toma valores en el intervalo mencionado, sólo representa una medida cualitativa de la evaluación del riesgo. Es decir, es un indicativo que detecta las zonas de una localidad o municipio que pueden tener mayor susceptibilidad al daño por la acción de sismo o viento. Si el índice, se acerca a un valor de uno, sólo significa que la vivienda analizada es la que presenta la mayor susceptibilidad de daño.

El índice tiene dos componentes, el primero relacionado con la parte física y el segundo con la parte social, en las secciones siguientes se presenta ambos.

8.4.2.1 Estimación de la parte del índice que tiene en cuenta la vulnerabilidad física

Para tener en cuenta la vulnerabilidad física de la vivienda se propone un índice que integra las características físicas de la vivienda que la hacen susceptible al daño y el nivel de peligro asociado a sismo o viento. El índice tiene la forma:

$$I_{vf} = \frac{V_i P_i}{V_p P_M} \quad (8.1)$$

Donde:

I_{vf} = representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la vivienda;

V_i = representa la calificación según el tipo de vivienda de acuerdo con los valores de las columnas dos y tres de las tablas 8.1 y 8.2;

V_p = es la vivienda con el peor desempeño en relación a su vulnerabilidad (ver tablas 8.1 y 8.2);

P_i = es el nivel de peligro por sismo o viento en la zona en estudio, más adelante se discute qué valores toma;

P_M = es el nivel de peligro máximo por sismo o viento, en las secciones siguientes se establecen los valores.

Niveles de peligro por sismo

Para fines de peligro por sismo, la república mexicana está dividida, en cuatro zonas:

- ✓ Zona A ;
- ✓ Zona B;
- ✓ Zona C;
- ✓ Zona D;

La zona A es la de menor peligro y la zona D es la de mayor peligro, en el capítulo III de esta guía se presenta una explicación más amplia del tema.

En la ec. 3.1, P_i será sustituido por:

- ✓ $P_1=0.08$, para la Zona A;
- ✓ $P_2=0.14$, para la Zona B,;
- ✓ $P_3=0.36$, para la Zona C,;
- ✓ $P_4=0.80$, para la Zona D,;

Mientras que P_M toma el valor de 0.8.

Niveles de peligro por viento

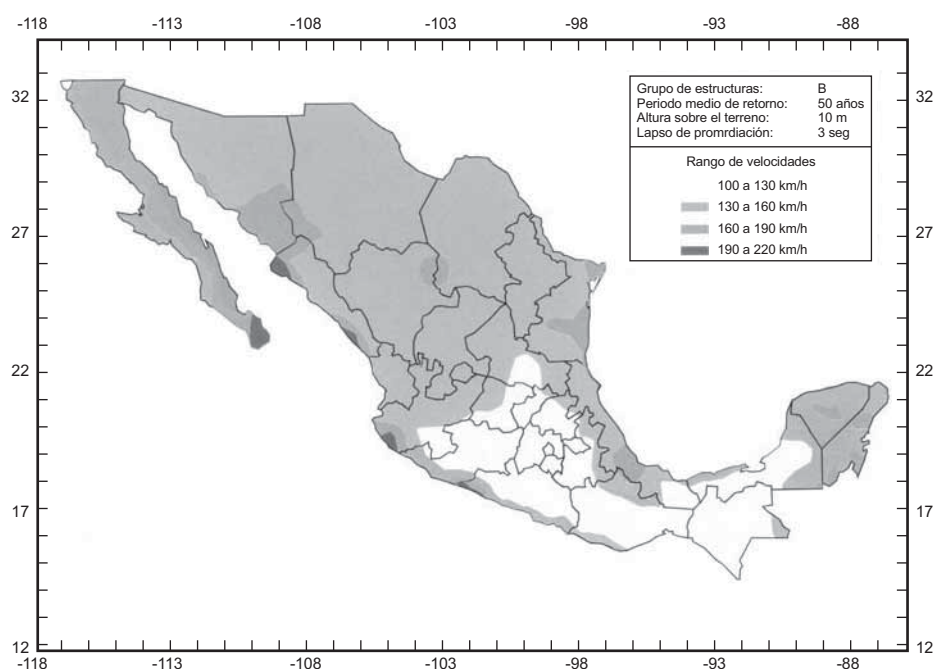
El territorio de la república mexicana es afectado año con año por huracanes que generan distintos niveles de intensidad de vientos, en especial las zonas costeras del país son las más afectadas por ese tipo de fenómenos. Sin embargo, en el interior del territorio nacional también se llegan a generar vientos de intensidad importante producto de otros fenómenos atmosféricos (CENAPRED, 2001).

Para fines de ingeniería, la regionalización de peligro por viento que se usa es la propuesta por la Comisión Federal de Electricidad para distintos periodos de retorno. El periodo de retorno comúnmente usado para diseño es 50 años (Meli, 2001); para fines de este trabajo es el que se tomará de referencia. En la figura 8.7 se muestra un mapa de peligro por viento basado en datos de la Comisión Federal de Electricidad.

De acuerdo con la zonificación de la figura. 8.7, la República Mexicana está dividida en cuatro niveles de peligro. Para fines del índice de riesgo que se propone los cuatro niveles, P_i , se numerarán de acuerdo con la tabla 8.4, de esta misma tabla se deduce que P_M vale 215 km/hr.

Tabla 8.4 Niveles de peligro por viento

Clasificación del peligro	Intervalo de velocidades (km/hr)	P_i (km/hr)
Bajo	100 a 130	115
Moderado	130 a 160	145
Alto	160 a 190	175
Muy alto	190 a 220	215

**Figura 8.7 Zonificación de velocidades máximas de viento en la República Mexicana (tomado de CENAPRED, 2001)****8.4.2.2 Estimación de la parte del índice que tiene en cuenta la vulnerabilidad social**

La experiencia en la evaluación de los desastres en México ha mostrado que las zonas socialmente más desprotegidas, también resultan ser las más afectadas por la acción de los fenómenos naturales o bien antropogénicos. En el caso de sismo o viento se ha estimado que el aspecto socioeconómico (factor social) tiene influencia en al menos en un 20 por ciento. En este trabajo la influencia del factor social se considera como indicador de la calidad de los materiales de construcción. Así, en dos zonas en estudio (localidades o municipios) en que resulte un valor igual del índice que estima la vulnerabilidad física, la susceptibilidad al riesgo será mayor en aquella en que la población se encuentre socialmente más desprotegida.

En este trabajo, para tener en cuenta el factor social se hace uso del grado de vulnerabilidad social ante desastres, que se calcula de acuerdo con lo expuesto en el capítulo IX (Estimación de la vulnerabilidad social). Asimismo, el grado de vulnerabilidad social ante desastres, se le identificará como, I_M y podrá tomar los valores señalados en la tabla 8.5.

Tabla 8.5 Valores del grado de vulnerabilidad social ante desastres

Valor de I_M	Grado de vulnerabilidad social ante desastres
1	Muy bajo
2	Bajo
3	Medio
4	Alto
5	Muy alto

8.4.2.3 Índice de riesgo para estimar la susceptibilidad al daño de la vivienda de bajo costo

Integrando la vulnerabilidad física y la social se propone el siguiente índice:

$$I_{RF} = I_{VF} \left(0.8 + \frac{I_M}{25} \right) \quad (8.2)$$

Es claro que el primer factor de I_{RF} está relacionado con la vulnerabilidad física y el segundo con la vulnerabilidad social. Esta última tiene un peso, según se menciona en la sección anterior de un 20 por ciento.

8.4.3 Aplicaciones del índice de riesgo físico (I_{RF})

Esta sección explica de manera detallada cómo estimar I_{RF} para los casos siguientes:

- ✓ Una vivienda;
- ✓ Una manzana, AGEB o localidad;
- ✓ Un municipio.

La aplicación se hará para la tipología de INEGI y para el caso de la clasificación formal que incluye aspectos técnicos.

8.4.3.1 Evaluación del índice de riesgo, I_{RF} para una vivienda

Esta sección aplica tanto para la clasificación de INEGI como la formal. Para el cálculo de I_{RF} se seguirán los siguientes pasos:

1. Localizar el municipio correspondiente en los mapas de peligro por sismo y viento (CENAPRED, “Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastre en México”, 2001);
2. Determinar el valor del nivel de peligro asociado al municipio en estudio y el máximo que se puede presentar en la República Mexicana, es decir los valores de P_i y P_M ;
3. Evaluar el índice relacionado con la vulnerabilidad física, I_{VF} ;
4. Evaluar el índice relacionado con la vulnerabilidad social, I_M ;
5. Finalmente evalúese el índice de riesgo, I_{RF} ;

Así por ejemplo, el caso de un municipio que se encuentra localizado en la zona de muy bajo peligro por sismo y un grado de vulnerabilidad social ante desastres medio, los valores de la clasificación de I_{RF} , para la tipología de INEGI y la formal se consignan en las tablas 8.6 y 8.7, respectivamente.

Tabla 8.6 Ejemplo de aplicación de el cálculo del índice de riesgo para una zona de muy alto peligro por sismo según la clasificación de INEGI

V_i	V_p	P_i	P_M	$I_{vf} = \frac{V_i P_i}{V_p P_M}$	I_M	$\left(0.8 + \frac{I_M}{25}\right)$	$I_{RF} = I_{VF} \left(0.8 + \frac{I_M}{25}\right)$
1	4	0.08	0.8	0.03	3	0.92	0.02
2.3	4	0.08	0.8	0.06	3	0.92	0.05
3.6	4	0.08	0.8	0.09	3	0.92	0.08
4	4	0.08	0.8	0.10	3	0.92	0.09
3.3	4	0.08	0.8	0.08	3	0.92	0.08

Tabla 8.7 Ejemplo de aplicación de el cálculo del índice de riesgo para una zona de muy alto peligro por sismo según la clasificación Formal

V_i	V_p	P_i	P_M	$I_{vf} = \frac{V_i P_i}{V_p P_M}$	I_M	$\left(0.8 + \frac{I_M}{25}\right)$	$I_{RF} = I_{VF} \left(0.8 + \frac{I_M}{25}\right)$
1	4	0.08	0.8	0.03	3	0.92	0.02
1.5	4	0.08	0.8	0.04	3	0.92	0.03
2	4	0.08	0.8	0.05	3	0.92	0.05
2.2	4	0.08	0.8	0.06	3	0.92	0.05
3	4	0.08	0.8	0.08	3	0.92	0.07
3.2	4	0.08	0.08	0.80	3	0.92	0.74
3.6	4	0.08	0.08	0.90	3	0.92	0.83
4	4	0.08	0.08	1.00	3	0.92	0.92
2.5	4	0.08	0.08	0.63	3	0.92	0.58
2.7	4	0.08	0.08	0.68	3	0.92	0.62

8.4.3.2 Evaluación del índice de riesgo para una localidad (I_A)

En una localidad se puede calcular un índice de riesgo de manera individual o para un grupo de viviendas asociado a un área geográfica que puede ser una manzana o una AGEB. Cuando se elija evaluar el índice de riesgo para cada una de las viviendas, se debe efectuar aplicando lo descrito en la sección anterior.

Desafortunadamente, este análisis no es posible hacerlo con datos del INEGI, por que como ya se ha hecho mención dicha institución no tiene a disposición del público los datos a nivel localidad.

Cuando se elija analizar las viviendas por manzana, AGEB o localidad, se debe construir una base de datos con el total de viviendas por manzana, AGEB o localidad, así como con el número de viviendas según la tipología de la clasificación formal de la tabla 8.2.

Para este caso, el índice de riesgo para la manzana, AGEB o localidad se obtendrá haciendo un promedio pesado del I_{RF} asociado a cada tipo de vivienda, esto significa que:

$$I_A = \frac{\sum N_i I_{RFi}}{N_T}$$

dado que en la tabla 8.2 se consideran 10 tipologías para la vivienda, la expresión anterior queda de la siguiente forma:

$$I_A = \frac{N_1 I_{RF1} + N_2 I_{RF2} + N_3 I_{RF3} + N_4 I_{RF4} + N_5 I_{RF5} + N_6 I_{RF6} + N_7 I_{RF7} + N_8 I_{RF8} + N_9 I_{RF9} + N_{10} I_{RF10}}{N_T} \quad (8.3)$$

Por ejemplo, si en la manzana, AGEB o localidad existen viviendas con la tipología y en la cantidad que se indican en la tabla 8.8, el índice de riesgo se obtendrá como sigue:

Tabla 8.8 Número de viviendas del tipo *i* para una manzana, AGEB o localidad supuesta

Tipo de vivienda	Calificación de la vivienda para sismo	Número de viviendas del tipo <i>i</i> , N_i
1	1	25
2	1.5	15
3	2.0	35
4	2.2	4
5	3.0	5
6	3.2	26
7	3.6	17
8	4.0	18
9	2.5	50
10	2.7	45
Total =		240

En la ecuación 8.3 se debe sustituir:

N_i por el número de viviendas del tipo *i*

I_{RFi} por el índice de riesgo correspondiente al tipo de vivienda *i*

N_T por el número total de viviendas de la manzana AGEB o localidad.

$$I_A = \frac{N_1 I_{RF1} + N_2 I_{RF2} + N_3 I_{RF3} + N_4 I_{RF4} + N_5 I_{RF5} + N_6 I_{RF6} + N_7 I_{RF7} + N_8 I_{RF8} + N_9 I_{RF9} + N_{10} I_{RF10}}{N_T}$$

$$I_A = \frac{(25)(0.02) + (15)(0.03) + (35)(0.05) + (4)(0.05) + (5)(0.07) + (26)(0.74) + (17)(0.83) + (18)(0.92) + (50)(0.58) + (45)(0.62)}{240} = 0.46$$

En lo que se refiere al conteo de viviendas se debe hacer con apoyo del formato de la fig. 8.6, para posteriormente, conformar, una base de datos que se puede ser representada en un sistema de información geográfica.

8.4.3.3 Evaluación del índice de riesgo para un municipio (I_{Mun})

En el análisis de la vulnerabilidad de un municipio, el índice de riesgo se puede calcular tanto para los datos de INEGI como para la clasificación formal.

Por lo que toca a los datos de INEGI, el primer paso es llevar a cabo, a partir del censo más reciente de población y vivienda, un conteo del total de las viviendas por municipio, así como de cada uno de los cinco tipos de vivienda según la tabla 8.1 y en seguida calcular el índice de riesgo municipal con la ecuación que sigue.

$$I_{Mun} = \frac{N_1 I_{RF1} + N_2 I_{RF2} + N_3 I_{RF3} + N_4 I_{RF4} + N_5 I_{RF5}}{N_T} \quad (8.4)$$

Las variables N_i y I_{RFi} que aparecen en esta ecuación tienen el mismo significado que la ec. 8.3, la diferencia es que N_T ahora representa el total de viviendas en el municipio.

En el caso de la clasificación formal de vivienda (tabla 8.2), para el cálculo del índice de riesgo municipal, I_{Mun} , se requiere estimar el índice de riesgo por localidad y luego aplicar la ecuación:

$$I_{Mun} = \frac{N_1 I_{A1} + N_2 I_{A2} + N_3 I_{A3} + N_4 I_{A4} + N_5 I_{A5} + N_6 I_{A6} + N_7 I_{A7} + N_8 I_{A8} + N_9 I_{A9} + N_{10} I_{A10}}{N_T} \quad (8.5)$$

En esta ecuación se ha supuesto que el municipio que se estudia tiene 10 localidades, y para este caso:

N_i = es el número total de viviendas de la localidad i ;

I_{Ai} = es índice de riesgo de la localidad i ;

N_T = es el número de viviendas existentes en el municipio en estudio.

El cálculo de I_M , aplicando las ecs. 8.4 ó 8.5 se realiza de manera similar al de la ec. 8.3.

8.4.4 Criterio para estimar el índice de riesgo de forma cualitativa

Una vez que se evalúa el riesgo a través del índice I_{RF} , para una vivienda en forma individual, o bien para un grupo de ellas, o para una localidad o municipio, es posible establecer, según el valor del índice de riesgo, el nivel de riesgo correspondiente. Para ello se proponen los cinco niveles que se presentan en la tabla 8.9.

Tabla 8.9 Niveles de riesgo

Valor de I_{RF} , I_A , I_M	Nivel de riesgo
$0.0 < I_{RF}, I_A, I_{Mun} < 0.2$	Muy bajo
$0.2 \leq I_{RF}, I_A, I_{Mun} < 0.4$	Bajo
$0.4 \leq I_{RF}, I_A, I_{Mun} < 0.5$	Medio
$0.6 \leq I_{RF}, I_A, I_{Mun} < 0.6$	Alto
$0.8 \leq I_{RF}, I_A, I_{Mun} < 1.0$	Muy alto

8.4.5 Ejemplos de mapas calculados

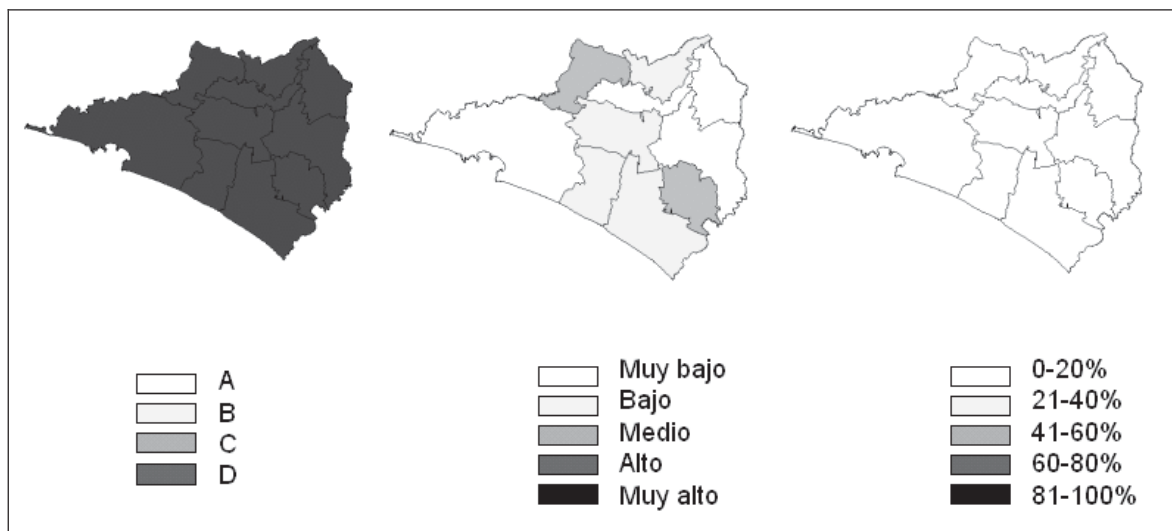
Aplicando la metodología descrita en los acápites anteriores los mapas de riesgo para los estado de Colima y Guerrero tomando en consideración el peligro sísmico, la vivienda de adobe y el índice de marginación son los que se muestran en la figuras 8.8 y 8.9 respectivamente.

COLIMA

Zonificación

Índice de Marginación

% de vivienda de adobe



Índice de Riesgo

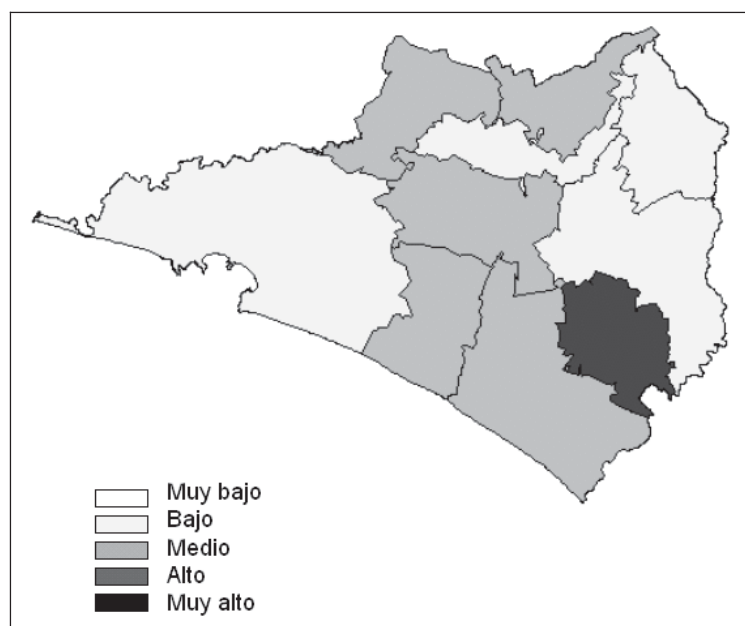
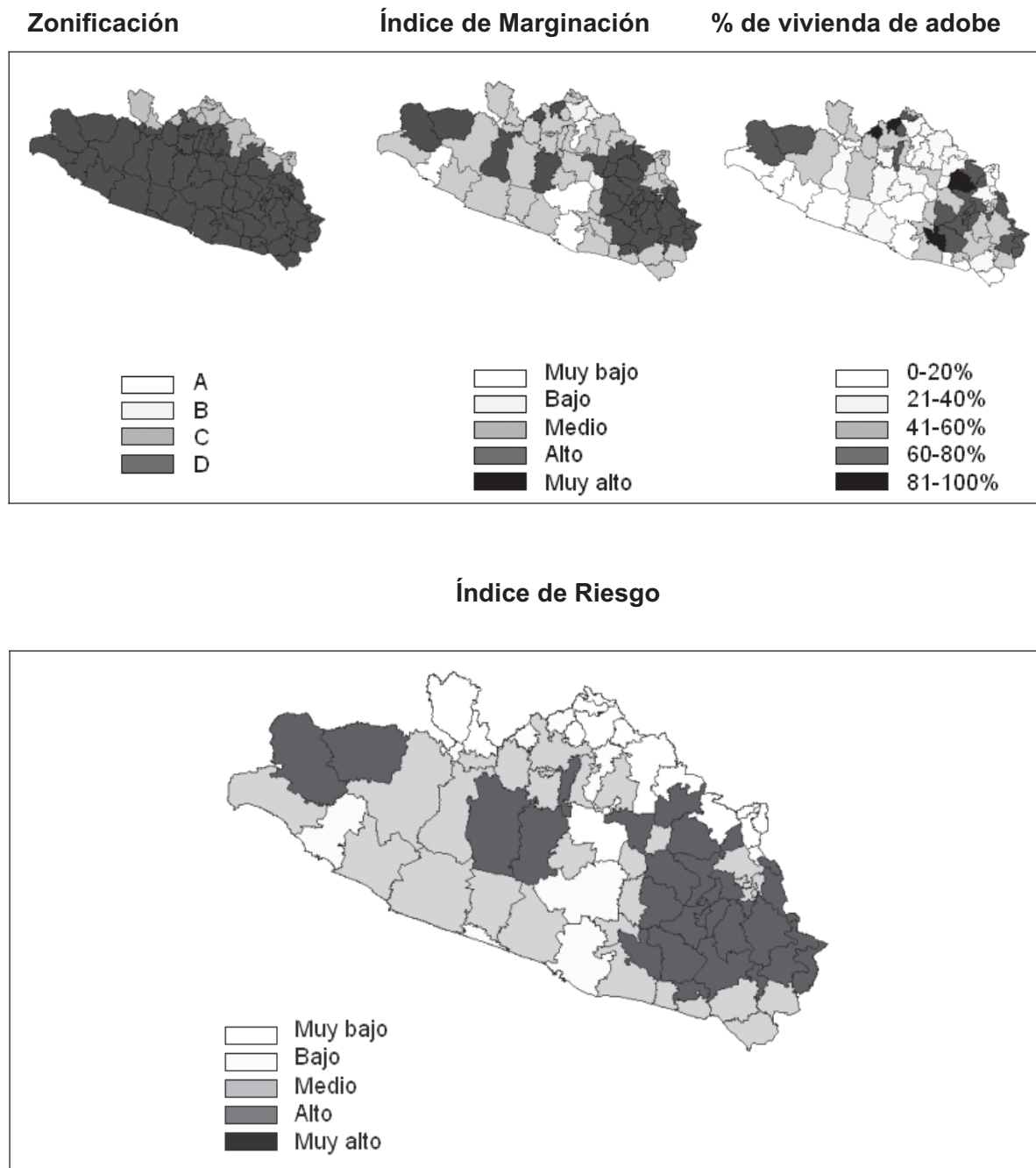


Figura 8.8 Índice de riesgo calculado para el Estado de Colima

GUERRERO**Figura 8.9 Índice de riesgo calculado para el Estado de Guerrero**

COMENTARIOS FINALES

El presente trabajo es un esfuerzo para que las unidades de protección civil estatales y municipales cuenten con una herramienta para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo de distintos tipos de vivienda unifamiliar y de bajo costo. El procedimiento empleado solamente identifica zonas de susceptibilidad de daño ante sismo y viento, sin poder estimar de manera cuantitativa el riesgo o bien las pérdidas esperadas ante la ocurrencia de un sismo o vientos de una intensidad dada, además de ser aplicable solamente a vivienda de bajo costo.

Por lo que respecta los insumos cartográficos para la representación de la vulnerabilidad y el riesgo, éstos se discuten en otras secciones del documento.

REFERENCIAS

Comisión Federal de Electricidad, “Manual de obras civiles” ; 1993.

CENAPRED, “Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastre en México”, 2001.

Meli R., “Diseño estructural”, editorial Limusa, segunda edición, 2000.

CENAPRED-INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM, “Guía metodológica para el análisis del peligro, vulnerabilidad, riesgo y pérdidas causadas por desastres naturales o antropogénicos y su reducción y prevención”, 2003, (documento preliminar).

GLOSARIO

A continuación se describe lo que se entiende por cada uno de los términos técnicos empleado en la clasificación de las tipologías ya mencionadas y se ilustra cada una de ellas.

Bóveda Catalana

Cubierta curva formada por piezas de ladrillo que se apoyan sobre vigas generalmente de acero o madera.

Muros

Muros de materiales débiles: Aquellos que debido a los materiales empleados para su construcción tienen escasa resistencia para soportar fuerzas laterales como las que inducen los sismos y el viento sobre las estructuras. Ejemplo, muros de bajareque, lámina metálica, cartón o asbesto, madera, palma, entre otros.

Muros de bajareque: Conocido también como embarro, consta de un armazón de enramado o de cañas recubierto de arcilla (lodo endurecido)

Muros de adobe: Aquellos contruidos con piezas de adobe que es el material terreo, arcilloso, moldeado a mano y dejado secar al sol.

Muros de mampostería: Aquellos contruidos con piezas semi e industrializadas de geometría regular y unidas con cementante (mortero de cemento, cal y arena). Las piezas pueden ser macizas o huecas, de arcilla cocida, de concreto o de otros materiales.

Mampostería de piedra o cantera: Usa piedras naturales labradas. Puede ser de primera, de segunda o de tercera según la calidad del labrado y acomodo de las piezas.

Muros de mampostería simple: Aquellos muros de mampostería que no están confinados con elementos de concreto reforzado de pequeñas dimensiones (castillos y dalas) y no cuentan con refuerzo anterior. La distribución y detallado de estos elementos están dados en reglamentos de construcción.

Muros de mampostería confinada: Aquellos muros de mampostería que se encuentran confinados con elementos de concreto reforzado (castillos y dalas).

Muros de mampostería reforzada interiormente: Están elaborados con piezas huecas y reforzados interiormente con barras o alambres de acero y con relleno de mortero o concreto, colocado verticalmente en los huecos y horizontalmente en las juntas o en huecos especiales.

Sistemas de techo

Techo flexible: Aquellos que forman diafragmas que se pueden deformar fuera de su plano. Estos sistemas de techo los conforman, en particular, piezas que suelen estar parcialmente ligadas a los muros. Ejemplo son los que se construyen con: viguería con láminas de asbesto, cartón o zinc; teja, palma, tajamanil, o madera soportadas sobre rollizos (troncos y ramas redondas de madera). Así como materiales de desecho industrial (plásticos, láminas no acanaladas, entre otros).

Techo rígido: Aquellos que prácticamente no se deforman fuera de su plano. Estos sistemas de techo suelen transmitir de forma eficiente las cargas hacia los muros. En algunos casos como en las losas de concreto reforzado además contribuyen a ligar a los muros mejorando el trabajo de conjunto de éstos. Los techos con vigas de acero y bóveda de tabique son menos resistentes, pero proporcionan una rigidez considerable al sistema. Ejemplo: losas de concreto reforzado, bóveda catalana y terrado con vigería (parcialmente rígido).

Terrado: Cubierta plana o con pendiente ligera, cuyo sistema portante esta integrado por una capa de ladrillos que descansan en vigas de madera apoyadas en los muros de carga, y sobre las cuales se coloca una capa de tierra compacta.

IX ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL

Norlang García Arróliga, Rafael Marín Cambranis y Karla Méndez Estrada

RESUMEN

Este documento trata de dar una aproximación al tema de la cuantificación de la vulnerabilidad social asociada a desastres desde una perspectiva cualitativa. Dicha metodología no es aún la versión final y trata de aportar elementos que se deben de considerar para el estudio de la vulnerabilidad social que, según la propuesta, consiste en las características socioeconómicas de la población, aunada a la capacidad de prevención y respuesta ante diversas contingencias y a su percepción local del riesgo.

9.1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, México ha sufrido el impacto de diferentes tipos de desastre, la investigación sobre éstos ha sido extensa en cuanto a las características de los fenómenos, dejando de lado el sistema afectable que se compone principalmente por la población y sus bienes.

La metodología está dirigida a los responsables de las unidades municipales de Protección Civil. El principal objetivo es identificar las características de la población susceptible de sufrir daño, tanto en su persona como en los bienes que posea, a consecuencia de algún fenómeno natural. Lo anterior va unido a la posibilidad de medir la capacidad de prevención y respuesta que se tenga en el municipio, es decir el grado de organización y recursos para atender una emergencia. Para lograr lo anterior, se han elegido algunos indicadores que permitirán conocer las principales características de la población, su capacidad de organización y elementos indispensables para la atención de una emergencia, los cuales aportarán elementos para cuantificar la **vulnerabilidad social** asociada a desastres.

Es conveniente apuntar que a través del tiempo el concepto de vulnerabilidad social se ha relacionado estrechamente con estudios de pobreza y marginación. Sin embargo, diversos autores han llegado a la conclusión de que la vulnerabilidad social es aquella propensión que tiene la población de caer, en un momento determinado, en una condición de pobreza y marginación. Obviamente muchos de estos estudios, no toman en cuenta elementos externos que puedan llegar a incrementar las probabilidades de que una población se encuentre en estos parámetros de pobreza y marginación, como son los desastres naturales.

La vulnerabilidad social es consecuencia directa del empobrecimiento, el incremento demográfico y de la urbanización acelerada sin planeación, así mismo la vulnerabilidad social ante los desastres naturales se define *como una serie de factores económicos, sociales y culturales que determinan el grado en el que un grupo social está capacitado para la atención de la emergencia, su rehabilitación y recuperación frente a un desastre*¹.

¹ Kuroiwa, Julio, "Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza", Lima, Enero 2002.

Respecto a lo anterior, se define para efectos de esta metodología a la vulnerabilidad social asociada a los desastres naturales, como el conjunto de características sociales y económicas de la población que limita la capacidad de desarrollo de la sociedad; en conjunto con la capacidad de prevención y respuesta de la misma frente a un fenómeno y la percepción local del riesgo de la misma población.

Para poder medir la vulnerabilidad social asociada a desastres según la definición anterior, la presente metodología se divide en tres partes: la primera parte permitirá una aproximación al grado de vulnerabilidad de la población en base a sus condiciones sociales y económicas, la cual proporcionará un parámetro para medir las posibilidades de organización y recuperación después de un desastre. Para lograr lo anterior se crearon 18 plantillas, las cuales están conformadas por un indicador pregunta, que a modo de pregunta nos solicita la información requerida, una tabla de rangos y valores, en donde se deberá ubicar la situación del municipio a estudiar y asignarle un valor, en la plantilla también viene una fórmula para obtener el resultado que se tendrá que cotejar en la tabla de rangos y valores, por último viene un razonamiento en el que se explica la importancia del indicador.

En esta primera etapa se describen los indicadores seleccionados para la elaboración de una cuantificación aproximada para medir el grado de vulnerabilidad social asociada a desastres naturales. En el anexo que se presenta al final de este capítulo, se proporcionará una cédula a través de la cual se incluyen los distintos parámetros establecidos para la evaluación de cada indicador, según los datos particulares del municipio, es decir que al obtener los valores de cada plantilla, éstos se vaciarán en la cédula y se sacará un promedio de los valores asignados según rubro (salud, educación, vivienda, empleo e ingresos y población) por último se promediara el valor de cada rubro, lo que nos dará un número entre 1 y 0, éste número será el resultado final de la primera parte.

La segunda etapa de la metodología se dividirá en dos cuestionarios: el primero permitirá conocer la capacidad de prevención y respuesta de los órganos responsables de llevar a cabo las tareas de atención a la emergencia y rehabilitación. El segundo cuestionario se enfocará a la percepción local del riesgo que se tenga en el municipio, lo que permitirá planear estrategias y planes de prevención de acuerdo con la forma de pensar y con la concepción de riesgo que se tenga en el municipio.

Al igual que en la primera etapa, se describe la naturaleza de las preguntas junto con el puntaje para la evaluación de las mismas. Así mismo, se incluye al final una cédula con los parámetros de evaluación para cada respuesta.

Finalmente se describe la manera en que se obtendrán los resultados para cada etapa en donde al resultado de la primera (características socioeconómicas) le corresponde un peso del 60%, así mismo se sumará el resultado del primer cuestionario (capacidad de prevención y respuesta), el cual tendrá un peso del 20%, mientras que el cuestionario referente a la percepción local de riesgo tendrá un peso de 20%. Los criterios para determinar los porcentajes se explican en el apartado de la elaboración del indicador.

Al resultado final se le asignarán valores a través de los cuales se establecerá un grado de vulnerabilidad social que se dividirá en 5 categorías, que abarcarán desde muy alto grado de vulnerabilidad a muy bajo grado de vulnerabilidad.

El conocer la vulnerabilidad social es parte medular para evaluar la magnitud y el impacto de futuros eventos naturales, ya que ésta tiene una relación directa con las condiciones sociales, la calidad de la vivienda y la infraestructura, y en general el nivel de desarrollo de la región.

9.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Este apartado se dedica a las fuentes de información, ya que uno de los primeros pasos que se tienen que realizar para poder identificar el nivel socioeconómico de una región es ubicar e identificar la información que nos va a permitir conocer dichas condiciones.

Generalmente la información impresa es la que se encuentra al alcance de toda la población. Sin embargo, actualmente gracias a la tecnología, son los medios electrónicos, en donde podemos obtener prácticamente cualquier tipo de información que se requiera, desde pequeños artículos, libros en versiones PDF, estudios sobre distintos temas, bases de datos, estadísticas, etc. En este rubro se pueden encontrar diferentes tipos de información, que va desde la información oficial hasta estimaciones y proyecciones para años futuros.

En este caso la búsqueda de información es quizá más sencilla, ya que el acceso se lleva a cabo de manera rápida utilizando principalmente la internet.

A continuación se presentan algunas opciones bibliográficas que son básicas para la identificación del nivel socioeconómico de una región.

Tabla 9.1 Fuentes de información recomendadas

Publicación	Contenido
INEGI Estados Unidos Mexicanos. “ XII censo general de población y vivienda 2000”.	Da a conocer información acerca de la población total según sexo y el número de viviendas en el país. Incluye indicadores sobre el índice de masculinidad, densidad de población y el promedio de ocupantes por vivienda. Contiene mapas estratificados y gráficas que apoyan la presentación de las cifras, los datos se desagregan por entidad federativa, municipio y según tamaño de localidad de acuerdo con el número de habitantes. El Censo General de Población y Vivienda 2000 se encuentra disponible de forma impresa y en la página de internet www.inegi.gob.mx .
INEGI, “México hoy”.	Esta Publicación que hace el INEGI, proporciona un panorama general de los principales aspectos geográficos, sociales y económicos del México actual. Integra la estadística más reciente disponible generada por instituciones y organismos nacionales de sectores público, privado y social.
INEGI, “ Anuario de estadísticas por entidad federativa” Edición 2003	Esta publicación integra información reciente y completa que aportan los elementos necesarios para conocer el territorio, la población y la economía de la entidad que se requiera a nivel de municipios y localidad. En estos anuarios se encuentra infinidad de información entre la cual existen estadísticas de indicadores socioeconómicos como son vivienda, educación, salud, entre otros. Esta publicación se encuentra disponible de forma impresa. Para algunos estados se encuentra disponible en la página de internet www.inegi.gob.mx dentro del catálogo de productos.
INEGI, “ Estadísticas demográficas y socioeconómicas de México”	Esta publicación del INEGI, ofrece una visión general sobre la situación demográfica, social y económica del país, a través de un conjunto de estadísticas básicas y derivadas, presentadas en cuadros, gráficas y mapas de fácil comprensión. Esta publicación sólo se encuentra disponible de forma impresa.

Continúa

Tabla 9.1 Fuentes de información recomendadas

Publicación	Contenido
INEGI “Encuesta nacional de la dinámica demográfica 1997”.	Muestra los resultados del levantamiento de la encuesta, en cuanto a las viviendas y hogares, así como de las mujeres en edad fértil; así mismo ofrece los resultados de población, fecundidad, mortalidad, migración, anticoncepción, salud, estado civil, nacimientos, defunciones, educación, religión, empleo y vivienda. Esta información solo se encuentra disponible de forma impresa.
Instituto Nacional de la Salud Pública, “Atlas de la Salud” 2003.	En esta publicación podemos encontrar el acopio y análisis de información en salud. El Atlas se encuentra disponible vía internet en www.e-mexico.gob.mx

Además de las publicaciones anteriormente mencionadas, el INEGI cuenta con otro tipo de información que es de mucha ayuda para el análisis para de las condiciones sociales y económicas de estados y municipios. Uno de los documentos que no se deben dejar de consultar son los Censos Generales de Población y Vivienda, ya que contienen información más detallada a nivel municipal.

Otra fuente de información importante es el Censo de Población y Vivienda que se lleva a cabo cada 5 años, la cual contiene información de tipo socio-económico, sin embargo, este censo se hace a través de una muestra y el margen de error puede ser mayor.

Otra institución que maneja información que puede ayudar al levantamiento de indicadores por estado o municipio, es el Consejo Nacional de Población (CONAPO), esta institución tiene varias publicaciones que abarcan temas diversos, como son, el crecimiento y distribución de la población, indicadores de marginación, pobreza, entre otros.

También se recomienda documentarse en las bibliotecas de las distintas universidades estatales o regionales, así como revistas publicadas por distintas instituciones públicas y privadas.

Parte importante para la elaboración de esta metodología fue el XII Censo General de Población y Vivienda 2000, que elabora el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), la información de dicho Censo a nivel municipal se obtiene de la página del INEGI www.inegi.gob.mx en el Sistema Municipal de Base de Datos (SIMBAD).

Algunos datos se obtuvieron del Consejo Nacional de Población (CONAPO), el cual cuenta con información de algunos indicadores que utiliza para la elaboración de sus índices (como el índice de marginación, el índice de desarrollo humano, etc.).

Otro indicador para el cual se recurrió a otra fuente, fue la proporción de médicos por cada 1,000 habitantes, cuyos datos se pueden obtener a nivel municipal de la Secretaría de Salud Estatal o del Atlas de la Salud 2003.

9.3 INDICADORES SOCIOECONÓMICOS DE LA GUÍA METODOLÓGICA

Los indicadores socioeconómicos que se eligieron para la elaboración de esta guía se dividen en cinco grandes categorías: Salud, Educación, Vivienda, Empleo e Ingresos y Población, ya que éstos influyen directamente sobre las condiciones básicas de bienestar y de desarrollo de los individuos y de la sociedad en general.

Gran parte de las condiciones de vulnerabilidad de una población, dependen directamente del nivel de desarrollo de ésta. La vulnerabilidad social se reflejará en la predisposición del sistema a sufrir daño, en función directa de sus condiciones y/o capacidades de desarrollo. El desarrollo de los individuos depende principalmente del acceso a los bienes y servicios básicos, de la oportunidad de acceder a la educación, así como de recibir asistencia médica, los cuales son, entre otros, los elementos constitutivos del desarrollo.

Estos indicadores se enfocan principalmente a la identificación de las condiciones que inciden e incluso acentúan los efectos de un desastre. La vulnerabilidad social es una condición íntimamente ligada a las capacidades de desarrollo de la población.

9.3.1 Salud

Uno de los principales indicadores de desarrollo se refleja en las condiciones de salud de la población, es por eso necesario conocer la accesibilidad que ésta tiene a los servicios básicos de salud, así como la capacidad de atención de los mismos.

La insuficiencia de servicios de salud reflejará directamente parte de la vulnerabilidad de la población. Para esta metodología se incluyen 3 indicadores en este rubro.

Tabla 9.2 Cobertura de servicios de salud

Indicador / pregunta	¿Cuántos Médicos existen por cada 1,000 habitantes?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0.20 a 0.39 Médicos por cada 1,000 habitantes	Muy Alta	1.00
	De 0.4 a 0.59 Médicos por cada 1,000 habitantes	Alta	0.75
	De 0.6 a 0.79 Médicos por cada 1,000 habitantes	Media	0.50
	De 0.8 a 0.99 Médicos por cada 1,000 habitantes	Baja	0.25
	Uno o más Médicos por cada 1,000 habitantes	Muy Baja	0.00
Procedimiento	La proporción de médicos por 1,000 habitantes se obtiene de la multiplicación del número de médicos por mil y se divide entre el total de la población.		
Fórmula	$PM = \frac{NoM}{PT} \times 1000$ Donde: PM = Proporción de Médicos NoM = Número de Médicos en el Municipio PT = Población Total		
Justificación	La Secretaría de Salud indica que es aceptable que exista un médico por cada 1,000 habitantes, por lo que el indicador reporta la disponibilidad de médicos para atender a la población por cada 1,000 habitantes en un periodo determinado. La baja proporción de médicos se reflejará en las condiciones de salud de la población, lo que agudiza las condiciones de vulnerabilidad, situación que se podría acentuar en caso de emergencia o desastre.		

Tabla 9.3 Tasa de mortalidad infantil

Indicador / pregunta	¿Cuántas muertes se producen antes del primer año de vida?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 17.2 a 27.1	Muy Baja	0.00
	De 27.2 a 37.0	Baja	0.25
	De 37.1 a 47.0	Media	0.50
	De 47.1 a 56.9	Alta	0.75
	57.0 ó más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Este indicador se puede establecer para un periodo dado, en este caso el primer año de vida. El resultado se obtiene de dividir el número de defunciones de niños menores de un año de edad en un periodo determinado, entre los nacidos vivos en el mismo periodo y el resultado se multiplica por cien.		
Fórmula	$TMI = \frac{DM1a}{NV} \times 100$ Donde: TMI = Tasa de Mortalidad Infantil DM1a = Defunciones de Menores de 1 Año en un periodo determinado NV = Nacidos Vivos en el mismo periodo		
Justificación	Este indicador se refiere a la posibilidad de un recién nacido de sobrevivir el primer año de vida. Tomando en cuenta que el riesgo de muerte es mayor en los primeros días, semanas y meses de vida, la mortalidad durante este periodo indicará en gran medida las condiciones de la atención a la salud de la población en el caso de la madre.		

Tabla 9.4 Porcentaje de la población no derechohabiente

Indicador / pregunta	¿Qué porcentaje de la población no cuenta con derechohabencia a servicios de salud?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 17.63 a 34.10	Muy Baja	0.00
	De 34.11 a 50.57	Baja	0.25
	De 50.58 a 67.04	Media	0.50
	De 67.05 a 83.51	Alta	0.75
	83.52 ó más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	El porcentaje de la población no derechohabiente se obtiene dividiendo el total de la población no derechohabiente entre el total de la población y el resultado se multiplica por cien.		
Fórmula	$\%PND = \frac{PND}{PT} \times 100$ Donde: %PND = Porcentaje de Población No Derechohabiente PND = Población No Derechohabiente PT = Población Total		
Justificación	Este indicador muestra el porcentaje de la población no derechohabiente, la cual es la que menos acceso tiene a servicios de salud y en consecuencia es la que en menor medida acude a las instituciones de salud, esta situación incide directamente en la vulnerabilidad de la población.		

9.3.2 Educación

Las características educativas influirán directamente en la adopción de actitudes y conductas preventivas y de autoprotección de la población, así mismo, pueden mejorar sus conocimientos sobre fenómenos y riesgos. Es un derecho fundamental de todo individuo el tener acceso a la educación y es una herramienta que influirá en los niveles de bienestar del individuo, es por eso que para esta guía metodológica se consideraron 3 indicadores que proporcionarán un panorama general del nivel educativo en cada región.

Tabla 9.5 Porcentaje de analfabetismo

Indicador / pregunta	¿Cuál es el porcentaje de la población de 15 años y más que no sabe leer ni escribir un recado?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 1.07 a 15.85	Muy Baja	0.00
	De 15.86 a 30.63	Baja	0.25
	De 30.64 a 45.41	Media	0.50
	De 45.42 a 60.19	Alta	0.75
	60.20 ó más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Se obtiene dividiendo a la población analfabeta de 15 años y más entre el total de la población de ese mismo rango de edad. El resultado se multiplica por cien.		
Fórmula	$\%A = \frac{P15aA}{PT15a} \times 100$ Donde: %A = Porcentaje de Analfabetismo P15aA = Población de 15 años y más Analfabeta PT15a = Población Total de 15 años y más		
Justificación	Además de las limitaciones directas que implica la carencia de habilidades para leer y escribir, es un indicador que muestra el retraso en el desarrollo educativo de la población, que refleja la desigualdad en el sistema educativo. La falta de educación es considerada como uno de los factores claves con respecto a la vulnerabilidad social.		

Tabla 9.6 Porcentaje de demanda de educación básica

Indicador / pregunta	¿Cuál es el porcentaje de la población de 6 a 15 años que asiste a la escuela?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 42.72 a 54.17	Muy Alta	1.00
	De 54.18 a 65.62	Alta	0.75
	De 65.63 a 77.07	Media	0.50
	De 77.08 a 88.52	Baja	0.25
	88.53 ó más	Muy Baja	0.00
Procedimiento	En algunos casos para la obtención del porcentaje de la cobertura de la demanda de la educación básica, se toma en cuenta la educación preescolar (a partir de los 3 años), otras sólo toman en cuenta desde la educación primaria hasta la educación secundaria; lo cual se estima dividiendo la matrícula de educación primaria y secundaria entre la población de 6 a 15 años, que es el rango de edad de asistencia a tales niveles educativos. ²		
Fórmula	$DEB = \frac{PT6\_14aAE}{PT6\_14a} \times 100$ Donde: DEB = Demanda de Educación Básica PT6_14aAE = Población Total de 6 a 14 años que Asiste a las Escuela PT6_14a = Población Total de 6 a 14 años		
Justificación	El indicador muestra a la población que se encuentra en edad de demandar los servicios de educación básica, la cual es fundamental para continuar con capacitación posterior que proporcione las herramientas para acceder al mercado laboral.		

² Sin embargo por la accesibilidad a los datos, para efectos de esta metodología el porcentaje se estimará dividiendo el total de la población de 6 a 14 años que asiste a la escuela entre el total de la población de 6 a 14 años.

Tabla 9.7 Grado promedio de escolaridad

Indicador / pregunta	¿Cuál es el nivel educativo de la población?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 1 a 3.2	Muy Alta	1.00
	De 3.3 a 5.4	Alta	0.75
	De 5.5 a 7.6	Media	0.50
	De 7.7 a 9.8	Baja	0.25
	De 9.9 o más	Muy Baja	0.00
Procedimiento	Este indicador lo proporciona el INEGI ya elaborado, lo obtiene de dividir la suma de los años aprobados desde el primero de primaria hasta el último año alcanzado de las personas de 15 años y más entre el total de la población de 15 años y más. Incluye a la población de 15 años y más, excluye a la población de 15 años y más con grados no especificados en algún nivel y a la población con nivel de escolaridad no especificado.		
Fórmula	$GPE = \frac{SAAP15a}{PT15a}$ Donde: GPE = Grado Promedio de Escolaridad SAAP15a = Suma de Años Aprobados desde Primero de Primaria hasta el último año alcanzado de la población de 15 años y más. PT15a = Población Total de 15 años y más		
Justificación	Refleja a la población que cuenta con menos de nueve años de educación formal, la educación secundaria es obligatoria para la conclusión del nivel básico de educación. Se considerará a la población mayor de 15 años que no ha completado la educación secundaria como población con rezago educativo.		

9.3.3 Vivienda

La vivienda es el principal elemento de conformación del espacio social, ya que es el lugar en donde se desarrolla la mayor parte de la vida. La accesibilidad y las características de la vivienda determinan en gran parte la calidad de vida de la población.

En relación con los desastres de origen natural, la vivienda es uno de los sectores que recibe mayores afectaciones. Los daños a la vivienda resultan ser, en algunos casos, uno de los principales parámetros para medir la magnitud de los desastres. Cuando el estado de una vivienda es precario, el número y la intensidad de los factores de riesgo que se presentan por diversos fenómenos resultan elevados y las amenazas a la salud de sus habitantes se elevan de igual manera.

La vulnerabilidad de una vivienda, en una de sus tantas facetas, se reflejará tanto en los materiales de construcción como en los servicios básicos con los que cuenta o de los que carece. Para efectos de esta metodología se han tomado seis indicadores que permitirán establecer el grado de vulnerabilidad de la población con respecto a la calidad de su vivienda.

Los primeros indicadores se refieren al número de viviendas que no cuentan con los servicios básicos (agua, luz y drenaje) ya que reflejarán una aproximación a la cantidad de viviendas que no cuenta con los satisfactores de necesidades básicas y de saneamiento de la población, lo cual incide directamente tanto en la comodidad, como en condiciones de salud de la población.

Aún cuando no es una regla, gran parte del sector vivienda que no cuenta con servicios básicos pertenece al sector informal de la construcción, y se localiza en zonas altamente expuestas a peligros naturales, zonas de reserva ecológica o fuera de planes de desarrollo urbano, lo anterior las hace altamente vulnerables.

Tabla 9.8 Porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada

Indicador / Pregunta	¿Qué porcentaje de viviendas no cuentan con agua entubada?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 19.96	Muy Baja	0.00
	De 19.97 a 39.92	Baja	0.25
	De 39.93 a 59.88	Media	0.50
	De 59.89 a 79.84	Alta	0.75
	79.85 ó más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Los datos para obtener este indicador se obtienen del Censo General de Población y Vivienda 2000 realizado por el INEGI. El porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada se obtiene de la diferencia del total de viviendas particulares habitadas y el total de viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada, el resultado se divide entre el total de viviendas y se multiplica por cien.		
Fórmula	$TVNDAE = TVPH - TVDAE$ Donde: TVNDAE = Total de Viviendas Particulares Habitadas que no disponen de Agua Entubada TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas TVDAE = Total de Viviendas Particulares Habitadas que Disponen de Agua Entubada $\%VND\text{AE} = \frac{TVNDAE}{TVPH} \times 100$ Donde: %VND\text{AE} = Porcentaje de Viviendas Sin Agua Entubada TVSAE = Total de Viviendas Particulares Habitadas que no disponen de Agua Entubada TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas		
Justificación	La falta de agua entubada en caso de desastre puede llegar a retrasar algunas labores de atención, ya que el llevar al lugar agua que cumpla con las mínimas medidas de salubridad toma tiempo y regularmente la obtención y el almacenamiento de agua en viviendas que no cuentan con agua entubada se lleva a cabo de manera insalubre.		

Tabla 9.9 Porcentaje de viviendas sin drenaje

Indicador / Pregunta	¿Qué porcentaje de viviendas no cuenta con drenaje?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 1.21 a 20.96	Muy Baja	0.00
	De 20.97 a 40.71	Baja	0.25
	De 40.72 a 60.46	Media	0.50
	De 60.47 a 80.21	Alta	0.75
	80.22 ó más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Este indicador se obtiene de la diferencia del total de viviendas particulares habitadas y el total de viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje, el resultado se divide entre el total de viviendas y se multiplica por cien. Los datos para obtener este indicador también se encuentran en el Censo General de Población y Vivienda 2000 realizado por INEGI.		
Fórmula	$TVND = TVPH - TVDD$ Donde: TVND = Total de Viviendas Particulares Habitadas que no disponen de Drenaje TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas TVDD = Total de Viviendas Particulares Habitadas que Disponen Drenaje $\%VND = \frac{TVND}{TVPH} \times 100$ Donde: %VND = Porcentaje de Viviendas que no disponen de Drenaje TVND = Total de Viviendas Particulares Habitadas que no Disponen de Drenaje TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas		
Justificación	La carencia de drenaje en una vivienda puede llegar a aumentar su vulnerabilidad frente a enfermedades gastrointestinales, las cuales en situaciones de desastre aumentan considerablemente.		

Tabla 9.10 Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad

Indicador / Pregunta	¿Qué porcentaje de viviendas no cuenta con energía eléctrica?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 19.96	Muy Baja	0.00
	De 19.97 a 39.92	Baja	0.25
	De 39.93 a 59.88	Media	0.50
	De 59.89 a 79.84	Alta	0.75
	79.85 ó más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Este indicador se obtiene de la diferencia del total de viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica, el resultado se divide entre el total de viviendas y se multiplica por cien.		
Fórmula	$TVNDE = TVPH - TVDE$ Donde: TVNDE = Total de Viviendas Particulares Habitadas que no Disponen de Energía Eléctrica TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas TVDE = Total de Viviendas Particulares Habitadas que Disponen de Energía Eléctrica $\%VNDE = \frac{TVNDE}{TVPH} \times 100$ Donde: %VNDE = Porcentaje de Viviendas que no disponen de Energía Eléctrica TVNDE = Total de Viviendas Particulares Habitadas que no disponen de Energía Eléctrica TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas		
Justificación	La falta de energía eléctrica aumenta la vulnerabilidad de las personas frente a los desastres naturales, ya que el no contar con este servicio excluye a la población de formas de comunicación, así mismo la capacidad de respuesta se puede retrasar.		

Tabla 9.11 Porcentaje de viviendas con paredes de material de desecho y láminas de cartón

Indicador / Pregunta	¿Qué porcentaje de viviendas tienen paredes de material de desecho y láminas de cartón?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 3.84	Muy Baja	0.00
	De 3.84 a 7.68	Baja	0.25
	De 7.69 a 11.52	Media	0.50
	De 11.53 a 15.36	Alta	0.75
	15.37 ó más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Se obtiene dividiendo el total de viviendas con paredes de material de desecho y láminas de cartón entre el total de viviendas y multiplicando el resultado por cien.		
Formula	$\%VPMD = \frac{TVPMD}{TVPH} \times 100$ Donde: %VPMD = Porcentaje de Viviendas con Paredes de Material de desecho y lámina de cartón TVPMD = Total de Viviendas Particulares Habitadas con Paredes de Material de desecho y lámina de cartón TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas		
Justificación	Este indicador mostrará el número de viviendas que por las características del material con que fue construida puede ser vulnerable frente a cierto tipo de fenómenos.		

Tabla 9.12 Porcentaje de viviendas con piso de tierra

Indicador / pregunta	¿Qué porcentaje de viviendas tienen el piso de tierra?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 1.52 a 20.82	Muy Baja	0.00
	De 20.83 a 40.12	Baja	0.25
	De 40.13 a 59.42	Media	0.50
	De 59.43 a 78.72	Alta	0.75
	78.73 ó más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Este porcentaje se obtiene de la diferencia del total de viviendas habitadas y el total de viviendas con piso de material diferente a tierra, el resultado se divide entre el total de viviendas habitadas y se multiplica por cien.		
Fórmula	$TVPT = TVPH - TVPMDT$ Donde: TVPT = Total de Viviendas Particulares Habitadas con Piso de Tierra TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas TVPMDT = Total de Viviendas Particulares Habitadas con Piso de Material Diferente de Tierra $\%VPT = \frac{TVPT}{TVPH} \times 100$ Donde: %VPT = Porcentaje de Viviendas con Piso de Tierra TVPT = Total de Viviendas Particulares Habitadas con Piso de Tierra TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas		
Justificación	Las viviendas de piso de tierra aumentan la vulnerabilidad de sus habitantes frente a desastres naturales, ya que el riesgo de contraer enfermedades es mayor y su resistencia frente a ciertos fenómenos es menor que otro tipo de construcciones.		

Tabla 9.13 Déficit de vivienda

Indicador / pregunta	¿Cuál es el déficit de vivienda?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 1.67 a 13.75	Muy Baja	0.00
	De 13.76 a 25.83	Baja	0.25
	De 25.84 a 37.91	Media	0.50
	De 37.92 a 49.99	Alta	0.75
	50.00 ó más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	El déficit de vivienda se obtiene de la diferencia del total de hogares y el total de viviendas, éste resultado representa el número de viviendas faltantes para satisfacer la demanda de hogares. A este resultado se le suman las viviendas construidas con material de desecho y lámina de cartón así como las viviendas con piso de tierra. El resultado representa tanto las viviendas nuevas que se requieren, sumado a las viviendas que necesitan mejoramiento. Para efectos de esta metodología el resultado deberá ser un porcentaje.		
Fórmula	$DV = \frac{TH - TVPH + TVPMD + TVPT}{TVPH} 100$ Donde: DV = Déficit de Vivienda TH = Total de Hogares TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas TVPMD = Total de Viviendas Particulares Habitadas con Paredes de Material de desecho y lámina de cartón TVPT = Total de Viviendas Particulares Habitadas con Piso de Tierra		
Justificación	El déficit de vivienda es el resultado de un explosivo crecimiento demográfico, la inequitativa distribución de la riqueza, la falta de financiamiento de algunos sectores de la población para poder adquirir una vivienda. Además el problema no sólo se remite a la insuficiencia de la vivienda si no también a las condiciones de la misma.		

9.3.4 Empleo e Ingresos

Estos indicadores son fundamentales en esta metodología ya que aportarán elementos acerca de la generación de recursos que posibilita el sustento de las personas. La importancia de este indicador no se puede dejar de lado ya que las cifras en México demuestran la existencia de una gran desigualdad en la distribución de los ingresos.

Los indicadores de la condición de empleo e ingresos se refieren principalmente a una situación vulnerable tanto en el plazo inmediato, donde la condición de vida es precaria y las familias de bajos ingresos sólo pueden atender sus necesidades inmediatas, y en el largo plazo, se reflejaría en cuanto a la capacidad de prevención y respuesta que potenciaría la vulnerabilidad en caso de un desastre. En este rubro se incluyen 3 indicadores.

Tabla 9.14 Porcentaje de la población económicamente activa (PEA) que recibe menos de dos salarios mínimos

Indicador / pregunta	¿Qué porcentaje de la PEA recibe menos de dos salarios mínimos?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 18.41 a 34.50	Muy Baja	0.00
	De 34.51 a 50.59	Baja	0.25
	De 50.60 a 66.68	Media	0.50
	De 66.69 a 82.77	Alta	0.75
	82.78 ó más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Se obtiene de dividir a la PEA que recibe hasta 2 salarios mínimos entre el total de la PEA y el resultado se multiplica por cien. Este indicador se puede obtener ya estimado en el Consejo Nacional de Población, información disponible en la página de internet www.conapo.gob.mx .		
Fórmula	$\%PEA = \frac{PH2SM}{PEA} \times 100$ Donde: %PEA = Porcentaje de la Población Económicamente Activa H2SM = Población que Percibe hasta 2 Salarios Mínimos PEA = Población Económicamente Activa		
Justificación	Aún cuando son diversos los factores que influyen en la determinación de los salarios, las remuneraciones guardan relación con la productividad en el trabajo, además este indicador proporcionará de manera aproximada el porcentaje de la población que no puede satisfacer sus necesidades básicas de alimentación, vivienda, salud, etc.		

Tabla 9.15 Razón de dependencia

Indicador / pregunta	¿Cuántas personas dependen de la PEA?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 37.72 a 57.69	Muy Baja	0.00
	De 57.70 a 77.66	Baja	0.25
	De 77.67 a 97.63	Media	0.50
	De 97.64 a 117.60	Alta	0.75
	117.60 ó más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	La razón de dependencia se obtiene de la suma del total de las personas que por su edad se consideran como dependientes (menores de 15 años y mayores de 64 años) entre el total de personas que por su edad se identifican como económicamente productivas (mayores de 15 años y menores de 64 años).		
Fórmula	$RD = \frac{P0\_14a + P65a}{P15\_64a} \times 100$ Donde: RD = Razón de Dependencia P0_14a = Población de 0 a 14 años P65a = Población de 65 años y más P15_64a = Población de 15 a 64 años		
Justificación	Mientras mayor sea la razón de dependencia, más personas se verán en desventaja frente a un desastre de origen natural ya que su capacidad de respuesta y prevención prácticamente va a ser nula.		

Tabla 9.16 Tasa de desempleo abierto

Indicador / pregunta	¿Cuántas personas desocupadas hay con respecto a la PEA?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 0 a 3.09	Muy Baja	0.00
	De 3.10 a 6.18	Baja	0.25
	De 6.19 a 9.27	Media	0.50
	De 9.28 a 12.36	Alta	0.75
	12.37 ó más	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Para obtener la Tasa de Desempleo Abierto es necesario dividir el número de personas desocupadas entre la PEA y multiplicar el resultado por cien.		
Fórmula	$TDA = \frac{NoPD}{PEA} \times 100$ Donde: TDA = Tasa de Desempleo Abierto NoPD = Número de Personas Desocupadas PEA = Población Económicamente Activa		
Justificación	Este indicador se refiere directamente a la situación de desempleo que influye sobre la capacidad de consumo de la población así como en la capacidad de generar los recursos que posibiliten la adquisición de bienes satisfactorios.		

9.3.5 Población

Para efectos de esta guía, se consideran principalmente tres aspectos sociales de la población: dos de ellos se refieren a la distribución y dispersión de los asentamientos humanos y el tercero a los grupos étnicos que cuyas condiciones de vida se asocian a diferencias culturales y sociales, y que a su vez representan uno de los grupos más marginados del país.

Tabla 9.17 Densidad de población

Indicador / pregunta	¿Cuál es el grado de concentración de la población en el territorio?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	De 1 a 99 Habitantes por km ²	Muy Baja	0.00
	De 100 a 499 Habitantes por km ²	Baja	0.25
	De 500 a 999 Habitantes por km ²	Media	0.50
	De 1,000 a 4,999 Habitantes por km ²	Alta	0.75
	Más de 5,000 habitantes por km ²	Muy Alta	1.00
Procedimiento	Se obtiene de dividir el total de la población de un territorio determinado entre la superficie del mismo. El resultado indica el número de habitantes por kilómetro cuadrado.		
Fórmula	$DP = \frac{PT}{ST}$ Donde: DP = Densidad de Población PT = Población Total ST = Superficie Territorial		
Justificación	La densidad, más que un problema de sobrepoblación, refleja un problema de mala distribución de la población, además de que la tasa de crecimiento es elevada, el problema se agudiza por la migración del medio rural a las ciudades. Cuando la gente se encuentra concentrada en un área limitada, una amenaza natural puede tener un impacto mayor.		

Tabla 9.18 Porcentaje de la población de habla indígena

Indicador / pregunta	¿La población es predominantemente indígena?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	Menos del 40% de la población	Predominantemente no indígena	0.00
	Más del 40% de la población	Predominantemente indígena	1.00
Procedimiento	Se obtiene de dividir a la población de 5 años y más que habla alguna lengua indígena entre el total de la población de 5 años y más, el resultado se multiplica por cien. Para efectos de esta metodología se consideran como municipios predominantemente indígenas aquellos con 40% o más de hablantes de lengua indígena.		
Fórmula	$\%PI = \frac{P5HLI}{P5} \times 100$ Dónde: %PI = Porcentaje de Población Indígena P5HLI= Población de 5 años y más que Habla una Lengua Indígena P5 = Población de 5 años y más		
Justificación	La mayoría de los municipios donde se asienta la población indígena, presenta una estructura de oportunidades muy precaria, lo cual se refleja en condiciones de vulnerabilidad de esta población.		

Tabla 9.19 Dispersión poblacional

Indicador / pregunta	¿Qué porcentaje de la población habita en localidades pequeñas?	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Rangos	de 0 a 9.9	Muy Bajo	0.00
	de 10 a 19.9	Bajo	0.25
	de 20 a 29.9	Medio	0.50
	de 30 a 39.9	Alto	0.75
	40 o más	Muy Alto	1.00
Procedimiento	Se consideran localidades pequeñas a las menores de 2,500 habitantes. Con lo cual se calcula el porcentaje de personas con respecto al total de la población de un territorio determinado.		
Fórmula	$DiPo = \frac{TPM2500hb}{PT} \times 100$ Donde: DiPo = Dispersión Poblacional TPM2500hb = Total de la Población que Habita en Localidades Menores a 2,500 Habitantes PT = Población Total		
Justificación	La dispersión poblacional se manifiesta principalmente en localidades pequeñas cuyas condiciones de escasez y rezago en la disponibilidad de servicios públicos representan un problema. Estas localidades presentan las mayores tasas de fecundidad, mortalidad infantil y ausencia o deficiencia de servicios básicos: agua, drenaje, electricidad, telefonía y caminos de acceso.		

9.4 CAPACIDAD DE PREVENCIÓN Y RESPUESTA Y PERCEPCIÓN LOCAL

La segunda etapa de la metodología se enfoca a la capacidad de prevención y respuesta y a la percepción local del riesgo. La capacidad de prevención y respuesta se refiere a la preparación antes y después de un evento por parte de las autoridades y de la población. Por su parte, la percepción local de riesgo es el imaginario colectivo que tiene la población acerca de los peligros y las vulnerabilidades que existen en su comunidad.

El principal objetivo en esta segunda parte es evaluar de forma general el grado en el que el municipio se encuentra capacitado para incorporar conductas preventivas y ejecutar tareas para la atención de la emergencia, lo cual complementará el grado de desarrollo social, según los indicadores descritos anteriormente.

Esta etapa se divide en dos cuestionarios: el primero está elaborado para conocer de manera general la capacidad de prevención y respuesta ante una emergencia por parte del municipio. El segundo, será de gran utilidad para conocer la memoria colectiva acerca de eventos anteriores y el modo de actuar por parte de la sociedad frente a éstos.

La importancia del primer cuestionario radica en el conocimiento de los recursos, programas y planes con los que dispone la Unidad de Protección Civil Municipal en caso de una emergencia, por lo que esta dirigido al responsable de ésta.

Dentro de los problemas comunes ocasionados al presentarse un desastre se encuentran: el desplazamiento de la población, las enfermedades transmisibles, problemas de alimentación y nutrición, los problemas de suministro de agua y saneamiento y el daño a la infraestructura de viviendas, centros educativos, vías de comunicación, servicios públicos básicos, presas y áreas de cultivo entre otros.

Teniendo en cuenta los efectos anteriores, la capacidad de prevención y respuesta debe considerar acciones para planificar, organizar y mejorar las condiciones existentes frente a los posibles efectos de los eventos adversos.

Por otro lado, el segundo cuestionario nos permitirá conocer la percepción local del riesgo que se tiene en la región (estado, municipio etc.), con lo que se pueden elaborar procedimientos y medidas de prevención que sean aceptados y llevados a cabo por la población en conjunto con las dependencias responsables.

Siguiendo con el procedimiento anterior se muestran a continuación los cuestionarios que tendrán que ser contestados y ubicar la calificación que se tiene para evaluar el conjunto de respuesta mediante una sumatoria al final de esta parte.

Tabla 9.20

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 1
Indicador / pregunta	¿El municipio cuenta con una unidad de protección civil o con algún comité u organización comunitario de gestión del riesgo que maneje la prevención, mitigación, preparación y atención a emergencias?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Es fundamental el conocimiento de la existencia de una unidad de protección civil o alguna organización de este tipo, ya que será la responsable de llevar a cabo un plan, así como la organización de la respuesta. En un futuro, lo ideal sería que además de la unidad de protección civil municipal se contara también con grupos locales de manejo de emergencias, estos grupos tendrían la posibilidad de influir en las decisiones para ayudar a reducir la vulnerabilidad y el manejo de los riesgos.	

Tabla 9.21

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 2
Indicador / pregunta	¿Cuenta con algún plan de emergencia?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Otro aspecto fundamental, es la existencia de planes de acción, de emergencia o de contingencia, lo cual determinará las normas y describirá los peligros, los actores y responsables en caso de algún evento adverso. El plan de emergencia será el instrumento para dar respuesta y para la recuperación en caso de una emergencia. Describirá las responsabilidades y el manejo de las estrategias y los recursos. El plan de emergencia dependerá de la particularidad de cada lugar y los detalles de los planes serán distintos para cada municipio.	

Tabla 9.22

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 3
Indicador / pregunta	¿Cuenta con un consejo municipal el cual podría estar integrado por autoridades municipales y representantes de la sociedad civil para que en caso de emergencia organice y dirija las acciones de atención a la emergencia?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Este consejo municipal es fundamental para el manejo de riesgos y desastres en una comunidad, ya que facilita la comunicación. Se requiere del compromiso de todos los actores relevantes para la respuesta y la atención de la emergencia. El Consejo puede estar conformado por autoridades municipales, regidores, síndicos, representantes de alguna organización, etc.	

Tabla 9.23

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 4
Indicador / pregunta	¿Conoce los programas federales de apoyo para la prevención, mitigación y atención de desastres?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Para asegurar que el daño sufrido durante un desastre pueda ser reparado de manera rápida, así como para darle la continuidad a las acciones, es de fundamental importancia que los gobiernos tengan contemplado un fondo de contingencia por desastre en el presupuesto anual, así como la aseguración de bienes. En el caso de México, existe el Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) que es un programa cuya finalidad es apoyar las acciones preventivas, existe el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) que es un programa de apoyo en caso de haber sufrido las consecuencias de un desastre, así mismo el programa Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRAC) tiene como finalidad el apoyo a los agricultores que no poseen seguros y han sido víctimas de un evento. Estos fondos tienen la finalidad de financiar las actividades de manera pronta después de que ha ocurrido un desastre para la estabilización de la situación. Es muy importante conocer los mecanismos para acceder al fondo y familiarizarse con los procedimientos específicos de solicitud del mismo, para que en caso de un desastre, sea un recurso de fácil acceso.	

Tabla 9.24

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 5
Indicador / pregunta	¿Cuenta con algún mecanismo de alerta temprana?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	El sistema de alerta, es una señal que indica que se puede producir o se ha producido un evento, este sistema puede emanar de la propia comunidad y ser administrado por un organismo identificado como el responsable de comunicar a la población. La alerta temprana es una de las bases para la reducción de desastres. Su fin principal es la prevención a individuos y comunidades expuestas a amenazas naturales, que permita reaccionar con anticipación y de manera apropiada para reducir la posibilidad de daños tanto humanos como materiales. Sin embargo se debe tomar en cuenta que en algunos casos aun teniendo las habilidades y procedimientos correctos las comunidades no pueden responder apropiadamente a estos sistemas, por presentar problemas relacionados con la planificación de recursos respecto a las opciones de protección disponibles que se pueden utilizar de forma temporal.	

Tabla 9.25

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 6
Indicador / pregunta	¿Cuenta con canales de comunicación (organización a través de los cuáles se pueda coordinar con otras instituciones, áreas o personas en caso de una emergencia)?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	La definición de canales de comunicación a través de los cuales se llevan a cabo los mecanismos de coordinación, es de fundamental importancia, ya que en el caso de emergencia el responsable de la unidad u organización siempre deberá tener a la mano los teléfonos de los organismos o personas que puedan ayudar. Es importante tener en cuenta, que la comunicación debe mantenerse no sólo en situaciones de emergencia, sino constantemente con el fin de realizar acciones de prevención como simulacros.	

Tabla 9.26

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 7
Indicador / pregunta	¿Las instituciones de salud municipales cuentan con programas de atención a la población (trabajo social, psicológico, vigilancia epidemiológica) en caso de desastre?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	El conocimiento de la vulnerabilidad del sector salud es esencial, es uno de los principales elementos en la capacidad de respuesta ya que este será el encargado de atender los daños a la salud en caso de desastre. En éste caso, es de fundamental importancia contar con programas de promoción de salud, prevención y control de enfermedades. El desarrollo de medidas de reducción de desastres depende de la fuerza de las instituciones locales por lo que es importante el fortalecimiento de las mismas.	

Tabla 9.27

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 8
Indicador / pregunta	¿Tiene establecidas las posibles rutas de evacuación y acceso (caminos y carreteras) en caso de una emergencia y/o desastre?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	El establecimiento de las rutas de acceso y evacuación en caso de un desastre es muy importante, principalmente en las comunidades más aisladas, ya que son éstas más vulnerables cuando se trata de evacuaciones, ayuda de recursos y servicios en una situación después del desastre. En este caso sería también importante elaborar algún tipo de recuento que indique si en años anteriores la comunidad se ha quedado aislada por el bloqueo de acceso físico a causa de un desastre.	

Tabla 9.28

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 9
Indicador / pregunta	¿Tiene establecidos los sitios que pueden fungir como helipuertos?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Al igual que en el punto anterior, es importante establecer los sitios que pueden fungir como helipuertos en caso de un desastre, para que se facilite la ayuda en la emergencia y sea más fácil el flujo de recursos.	

Tabla 9.29

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 10
Indicador / pregunta	¿Tiene ubicados los sitios que pueden funcionar como refugios temporales en caso de un desastre?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Es importante elaborar con anterioridad y que quede establecido en los planes de emergencia la previsión de la ubicación de lugares para la concentración de damnificados para lograr una mejor organización en caso de presentarse una emergencia.	

Tabla 9.30

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 11
Indicador / pregunta	¿Tiene establecido un stock de alimentos, cobertores, colchonetas y pacas de lámina de cartón para casos de emergencia?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	La existencia de fondos o del stock, indica una concientización sobre los riesgos en caso de desastre por parte de la administración municipal, el fondo local puede movilizarse de manera más rápida que uno nacional, por lo que se considera como un instrumento de respuesta rápida. En este caso es importante también fijar los espacios posibles para el almacenamiento de ayuda (despensas, cobijas, etc.).	

Tabla 9.31

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 12
Indicador / pregunta	¿Tiene establecido un vínculo con centros de asistencia social (DIF, DICONSA, LICONSA, etc.) para la operación de los albergues y distribución de alimentos, cobertores, etc.?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	En caso de desastre puede ser de gran utilidad la ayuda de centros de asistencia social (como el DIF, DICONSA, LICONSA, etc.) u otros organismos para la recepción, almacenamiento y distribución de apoyos, así como para la operación de los albergues para los damnificados, ayudando también en la atención médica, protección social y la capacitación y canalización de las donaciones que pudieran hacer el sector público y privado, así como garantizar que esta ayuda llegue de manera oportuna a los albergues. Entre los muchos apoyos que puede brindar, se encuentra la ubicación de nuevos albergues en caso de que se llegaran a necesitar, así como la difusión de los mismos.	

Tabla 9.32

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 13
Indicador / pregunta	¿Se llevan a cabo simulacros en las distintas instituciones (escuelas, centros de salud, etc.) sobre qué hacer en caso de una emergencia y promueve un Plan Familiar de Protección Civil ?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Es importante el establecimiento de simulacros no sólo en las instituciones, sino que el involucramiento de la comunidad en los procesos de planificación ayudaría en gran medida a la mitigación de los desastres, en el proceso de hacer partícipe a la comunidad, la promoción de la creación de planes familiares de Protección Civil es de gran ayuda. En el caso de instituciones como hospitales, escuelas y edificios grandes es necesario ensayar lo que los ocupantes deben hacer en caso de una emergencia.	

Tabla 9.33

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 14
Indicador / pregunta	¿Tiene un número de personal activo que cuente con las capacidades para informar qué hacer en caso de emergencia?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Es importante contar con cierto número de elementos capacitados en materia de protección civil que pueda atender de manera inmediata tanto al recibimiento de información, como a la difusión de la misma bajo esquemas de coordinación pre-establecidos para la atención de un imprevisto de manera eficaz.	

Tabla 9.34

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 15
Indicador / pregunta	¿Cuenta con mapas o croquis de su localidad que tengan identificados puntos críticos o zonas de peligro?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	El contar con mapas o con croquis de la localidad facilitará en gran medida las acciones a tomar en el municipio o localidad al contar con la ubicación de varios de los aspectos mencionados anteriormente, como la ubicación de rutas de evacuación, refugios temporales, la localización de un posible helipuerto, etc. , así como zonas críticas y/o de peligro.	

Tabla 9.35

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 16
Indicador / pregunta	¿Cuenta con el equipo necesario en su unidad para la comunicación tanto para recibir como para enviar información (computadora, internet, fax, teléfono, etc.)?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	El equipamiento en una unidad de protección civil será completo en la medida en que cuente con los elementos básicos tanto para recibir información de manera rápida y oportuna, así como para enviar la misma de manera efectiva en el menor tiempo posible.	

Tabla 9.36

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 17
Indicador / pregunta	¿Cuenta con acervos de información históricos de desastres anteriores y las acciones que se llevaron a cabo para atenderlos?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	El poseer acervos de información de sucesos anteriores proporciona una idea de los eventos más recurrentes en el lugar, lo que permitirá establecer medidas de acción específicas para la atención de un evento similar. Así mismo a partir del conocimiento de las acciones de atención que se llevaron a cabo con anterioridad sentará las bases para nuevos planes de acción y en su caso para mejorar procedimientos de acción.	

Tabla 9.37

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 18
Indicador / pregunta	¿Cuenta con equipo para comunicación estatal y/o municipal (radios fijos, móviles y/o portátiles)?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	La comunicación es de vital importancia, tanto con otras unidades de protección civil municipales así como con la protección civil estatal, ya que esto agilizará las acciones en caso de la ocurrencia de una emergencia, así mismo, en el caso de la comunicación municipal, el personal de la unidad debe contar con equipo que les permita comunicarse entre ellos para mantenerse siempre informados de los acontecimientos dentro de su localidad en el caso de una emergencia.	

Tabla 9.38

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 19
Indicador / pregunta	¿Cuenta con algún Sistema de Información Geográfica (SIG) para procesar y analizar información cartográfica y estadística con el fin de ubicar con coordenadas geográficas los puntos críticos en su localidad?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Estos sistemas ayudarán en gran medida a sistematizar y a ubicar con coordenadas geográficas (georeferenciar) la información de su municipio, lo que facilitaría en gran medida las acciones de prevención en el municipio, ya que puede establecer los sitios de mayores concentraciones de población, elaborar análisis espaciales de vulnerabilidad, peligro y riesgo, evaluación y prevención de riesgos, ordenamiento ecológico, planeación regional, etc.	

Tabla 9.39

Nombre del Indicador	Capacidad de prevención y respuesta	No. 20
Indicador / pregunta	¿Cuenta con algún sistema de Geo Posicionamiento Global (GPS) para georeferenciar puntos críticos en su localidad?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Estos sistemas facilitarán (al igual que los mapas y los SIG) la localización tanto de lugares estratégicos así como del establecimiento de las rutas de acceso, de evacuación, los radios de afectaciones etc. que agilizará en gran medida las acciones en la atención de emergencias.	

9.4.1 Percepción local

En las dos fases anteriores de la metodología se consideraron tanto las características de la población como la capacidad de prevención y respuesta por parte de las unidades de protección civil. La percepción local constituye la tercera parte de la metodología, ya que se considera como una parte complementaria de la vulnerabilidad social frente a los desastres.

En muchas ocasiones la población no tiene una percepción clara del peligro que representa una amenaza de tipo natural o antrópica en su localidad, lo que incide directamente en la capacidad de respuesta de la población ante un desastre.

Para complementar la metodología se incluye un cuestionario de 17 preguntas que buscarán de manera muy general dar un panorama de la percepción de la población acerca del riesgo. En este caso, la importancia de las preguntas se enfocan tanto a la percepción de los peligros en su entorno, así como a la manera en que consideran las acciones preventivas en su comunidad y la información o preparación que poseen acerca de cómo enfrentar una emergencia.

Las preguntas del cuestionario se diseñaron con el objetivo de que a cada respuesta se le pudiera asignar un valor entre 0 y 1. Los rangos en algunos casos son distintos según la naturaleza de la pregunta, sin embargo el valor de las respuestas se situará entre los rangos establecidos para las dos fases anteriores.

El valor 0 se le asignará a la respuesta que mayor percepción del local del riesgo presente según las respuestas preestablecidas, lo que significa que su grado de vulnerabilidad será menor, contrariamente se le aplicará el valor más alto (que en este caso es 1) a la respuesta que menor percepción del riesgo posea, ya que entre menor sea la percepción del riesgo, el grado de vulnerabilidad será mayor.

De una manera muy general, este cuestionario es una primera aproximación para conocer la opinión de la población en esta materia. En este sentido la información que se pueda obtener en esta tercera parte puede despertar el interés para producir información más particular según el municipio, la cual pudiera resultar útil en la toma de decisiones por parte de los organismos de atención de emergencias en lo referente al comportamiento de la población.

Cabe resaltar que los resultados obtenidos serán mucho más variados que en las dos fases anteriores, ya que dependerán de las características de la población en la comunidad, como de las condiciones geográficas de la misma.

A continuación se presentan las plantillas de cada pregunta del cuestionario de percepción local, en la plantilla se muestra tanto la pregunta como una pequeña explicación de la razón por la que se incluye.

Tabla 9.40

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 1
Indicador / pregunta	¿Dentro de los tipos de peligro que existen (ver cuadro) cuántos tipos de fuentes de peligro identifica en su localidad?	
Geológicos: Sismos Maremotos Volcanes Flujos de lodo Deslizamientos de suelo (deslaves) Hundimientos y Agrietamientos	Hidrometeorológicos: Ciclones Inundaciones pluviales y fluviales Granizadas Nevadas y Heladas Lluvias torrenciales y trombas Tormentas eléctricas Vientos Temperaturas extremas Erosión Sequías	Químicos: Incendios forestales Incendios Urbanos Explosiones Fugas y derrames de sustancias peligrosas Fuentes móviles
Rangos	De 1 a 5	1.00
	De 6 a 13	0.50
	14 o más	0.00
Razonamiento	Si alguna de las amenazas anteriormente expuestas se ha presentado en el municipio, existe la posibilidad de que esta se llegue a presentar otra vez. Se deben usar registros para verificar y complementar la información, dado que en muchos casos ésta información es útil para crear las medidas preventivas adecuadas.	

Tabla 9.41

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 2
Indicador / pregunta	Respecto a los peligros mencionados en la pregunta no. 1 recuerda o sabe si han habido emergencias o situaciones de desastre asociadas a alguna de éstas amenazas en los últimos 30 años	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	0.50
Razonamiento	Una situación de emergencia se refiere a un evento que haya causado la pérdida de vidas o bienes de la población, bajo esta óptica, será importante conocer la memoria colectiva acerca de estas situaciones en los municipios a estudiar.	

Tabla 9.42

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 3
Indicador / pregunta	¿Considera que su vivienda está localizada en un área susceptible de amenazas (que se encuentre en una ladera, en una zona sísmica, en una zona inundable, etc.)?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	0.50
Razonamiento	El conocer la geografía donde se encuentra ubicada la vivienda que se habita permite tomar precauciones y establecer planes de prevención a nivel individual o familiar en caso de enfrentar un fenómeno natural que por su intensidad represente un peligro.	

Tabla 9.43

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 4
Indicador / pregunta	En caso que recuerde algún desastre, los daños que se presentaron en su comunidad fueron:	
Rangos	Ninguna fatalidad, daños leves a viviendas e infraestructura (bajo).	0.25
	Personas fallecidas, algunas viviendas con daño total y daños a infraestructura (medio).	0.50
	Personas fallecidas, daño total en muchas viviendas y daños graves en infraestructura (alto).	1.00
Razonamiento	Los daños ocasionados por un desastre de origen natural, nos permiten calcular la magnitud del desastre, así mismo, mientras mayor sea el número de daños, la percepción de riesgo de las personas aumenta, dependiendo también de su experiencia. Por ejemplo en el sismo de 1985, no se tenía cultura de la prevención y la población no sabía como actuar ante un sismo, en la actualidad, las campañas informativas sobre qué hacer durante un sismo, implementadas desde entonces, han preparado a la población para actuar frente a un evento similar.	

Tabla 9.44

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 5
Indicador / pregunta	¿Ha sufrido la pérdida de algún bien a causa de un fenómeno natural?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	0.50
Razonamiento	La pérdida de bienes ocasionada por un fenómeno natural llega a ser muy común y es un buen parámetro para detectar eventos que tal vez no fueron considerados como desastre, pero que sin duda influyen en la percepción del riesgo.	

Tabla 9.45

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 6
Indicador / pregunta	¿Sabe si en su comunidad se han construido obras que ayuden a disminuir los efectos de fenómenos naturales tales como bordos, presas, terrazas, muros de contención, pozos, sistemas de drenaje, rompevientos, rompeolas, etc.?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	0.50
Razonamiento	El estar al tanto de lo que se hace en materia de prevención es importante, ya que algunas de las acciones que se realizan deben de ser conocidas por la población en general, para que ésta pueda conocer los peligros a que se enfrenta y actuar correctamente en caso de algún evento.	

Tabla 9.46

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 7
Indicador / pregunta	¿En los centros educativos de su localidad o municipio se enseñan temas acerca de los agentes perturbadores y la protección civil?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	0.50
Razonamiento	La educación en materia de prevención y mitigación de desastres es de gran utilidad para que la población conozca los peligros a lo que se puede enfrentar, así mismo por medio de este tipo de educación se crea conciencia a la población y se sientan las bases para consolidar una cultura de prevención.	

Tabla 9.47

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 8
Indicador / pregunta	¿Alguna vez en su comunidad se han llevado a cabo campañas de información acerca de los peligros existentes en ella?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	0.50
Razonamiento	Al igual que la pregunta anterior, el conocer nuestro entorno y su comportamiento permite que la prevención sea mayor y que en caso de algún evento la población esté más preparada. Por lo que si la información no llega a la población que puede ser afectada, ésta puede ser más vulnerable que la población bien informada.	

Tabla 9.48

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 9
Indicador / pregunta	¿Ha participado en algún simulacro, cuenta con un Plan Familiar de Protección Civil?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	0.50
Razonamiento	Dentro de las acciones de prevención, los simulacros son de gran importancia, debido a que es un ejercicio que promueve la cultura de la prevención y al ser aplicado crea conciencia en los participantes.	

Tabla 9.49

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 10
Indicador / pregunta	¿Sabe a quién o a dónde acudir en caso de una emergencia?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Es importante que la población conozca los lugares a los que puede acudir en caso de una situación de emergencia, ya que aún cuando existan las posibilidades y los procedimientos para la atención de la misma, si la comunidad no conoce los lugares ni a los responsables de la atención no responderá apropiadamente a los sistemas existentes, por más efectivos que éstos sean.	

Tabla 9.50

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 11
Indicador / pregunta	¿Sabe si existe en su comunidad un sistema de alertamiento para dar aviso a la población sobre alguna emergencia?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
Razonamiento	Los sistemas de alertamiento, son un importante instrumento para la reducción de los desastres. La meta de los sistemas de alertamiento es que las comunidades expuestas a fenómenos naturales y similares reaccionen con antelación y de forma apropiada para reducir la posibilidad de daños personales, pérdida de vidas y daño a la propiedad.	

Tabla 9.51

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 12
Indicador / pregunta	¿De acuerdo con experiencias anteriores, su comunidad está lista para afrontar una situación de desastre tomando en cuenta las labores de prevención?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	0.50
Razonamiento	A través de experiencias anteriores y según la percepción de la localidad se podrá conocer si las acciones que se han llevado a cabo para la mitigación del desastre han sido percibidas de una manera exitosa o a consideración de la población aún hay cosas que mejorar.	

Tabla 9.52

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 13
Indicador / pregunta	En los últimos años ¿qué tan frecuentemente se ha quedado aislada la comunidad debido a la interrupción de las vías de acceso por más de dos días a causa de a algún tipo de contingencia?	
Rangos	ninguna o 1 vez	0.00
	de 2 a 5 veces	0.50
	5 veces o más	1.00
Razonamiento	Al quedar una comunidad aislada, aumenta su vulnerabilidad cuando se trata de evacuaciones, ayuda de emergencia o flujo de recursos y servicios en una situación de desastre, por lo que es importante conocer si en ocasiones anteriores la comunidad ha presentado algún caso de bloqueos de vías de acceso.	

Tabla 9.53

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 14
Indicador / pregunta	¿Considera importante mantenerse informado acerca de los peligros en su comunidad?	
Rangos	SI	0.00
	NO	1.00
	NO SÉ	0.50
Razonamiento	Dentro de la planificación para la mitigación del riesgo se debe considerar el desarrollo de una cultura segura, en la cual la población esté informada y conciente de las amenazas que afronta y asuma la responsabilidad de protegerse a sí misma de la mejor manera posible y que facilite el trabajo de las instituciones encargadas de la protección civil.	

Tabla 9.54

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 15
Indicador / pregunta	¿Sabe dónde está ubicada y que función desempeña la unidad de protección civil?	
Rangos	Sé dónde se encuentra y sé sus funciones	0.00
	No sé dónde se encuentra y no sé qué hace	1.00
	Sé qué hace pero no sé dónde se encuentra	0.50
Razonamiento	Es importante conocer las labores que desempeña la unidad de protección civil, ya que al conocer su función es más fácil que la población tenga presente que las recomendaciones y la información que salga de ésta será para la prevención y coordinación en caso de una emergencia.	

Tabla 9.55

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 16
Indicador / pregunta	¿Considera que tiene la información necesaria para enfrentar una emergencia?	
Rangos	Si	0.00
	No	1.00
	No sé	0.50
Razonamiento	Es importante conocer si las personas consideran que la información que reciben es suficiente para afrontar una situación de desastre, en el caso contrario es importante tomarlo en consideración y fomentar una cultura de prevención entre la población, lo que facilitaría las acciones de prevención al contar con una población más preparada.	

Tabla 9.56

Nombre del Indicador	Percepción local	No. 17
Indicador / pregunta	En caso de haber estado en una situación de emergencia cómo se enteró de las medidas que debía tomar	
Rangos	No se enteró	1.00
	A través de medios impresos	0.50
	A través de radio y televisión	0.00
Razonamiento	Es importante conocer los medios a través de los cuales la población se entera de las situaciones de emergencia, ya que ayudará de alguna manera a priorizar la difusión de la información en aquellos medios a través de los cuales la mayoría de la población tiene acceso.	

9.5 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIAL

9.5.1 Primera etapa

La primera parte de la metodología fue diseñada para evaluar los principales aspectos que propician la vulnerabilidad social, los cuales se acentúan en caso de desastre.

En esta primera parte de la metodología se incluyen 18 indicadores, los cuáles se obtendrán a partir de datos estadísticos, tres referentes a la salud, tres referentes a educación, seis para vivienda, tres para empleo e ingresos y tres para población, cada indicador incluye una tabla que describe los rangos de medición y la descripción del indicador.

Para el caso del déficit de vivienda, se consideró que a partir del 50% el déficit de vivienda respecto al total de hogares en el municipio es severo.

En el caso de porcentaje de habla indígena sólo se proponen dos valores, ya que se establece que una población es predominantemente indígena si existen un 40% o más, hablantes indígenas.

Los valores que se establecen para cada rango serán de entre 0 y 1, donde 1 corresponde al nivel más alto de vulnerabilidad, y 0 al nivel más bajo.

El municipio hará el cálculo para cada uno de los indicadores según la fórmula que se incluye en las tablas obteniendo, en la mayoría de los casos, la información del XII Censo General de Población y Vivienda. Una vez elaborado la evaluación para cada indicador, se le dará el valor establecido en la tabla según el rango que corresponda. Esto se hará en la tabla de llenado que se incluye en el Anexo al final de esta metodología.

Es necesario remarcar la necesidad de la utilización del XII Censo General de Población y Vivienda publicado por el INEGI para la realización de esta parte de la metodología ya que en él se encontrarán los resultados particulares para cada municipio de donde se pueden calcular todos los indicadores que se requieren.

Así, una vez establecidos los valores de cada indicador, se obtendrá el promedio para cada rubro por lo que existirá un promedio para salud, uno para vivienda, etc. Se calcula el promedio simple de los indicadores para dar el mismo peso a cada indicador. Una vez obtenido, se sumarán los resultados de cada gran rubro (educación, salud, vivienda, etc.) y se dividirá entre 5 para obtener el promedio total. Finalmente este promedio total será el valor final para la primera parte de esta metodología.

Indicadores socioeconómicos = Promedio Total Final Obtenido de la Primera Parte

9.5.2 Segunda etapa

La segunda etapa de la metodología se elabora a nivel cualitativo. Consiste en dos cuestionarios, el primero se diseñó para conocer de manera general la capacidad de prevención y respuesta ante una emergencia por parte del municipio y está dirigido hacia los responsables de la unidad de protección civil municipal. El segundo es un cuestionario, el cual se aplicará a través de una muestra aleatoria al 5% de la población, en la medida de lo posible, y será contestado por personas mayores de 18 años.

Al igual que en la primera parte de la metodología, se incluye al final de este capítulo un anexo con la descripción de cada indicador así como sus rangos de medición.

Para esta parte se llevó a cabo la revisión de varios planes de emergencia a nivel municipal de México y América Latina y se incluyeron los aspectos más relevantes según lo investigado.

En el caso de la percepción local de riesgo, se revisó bibliografía relacionada con el tema y se diseñó un cuestionario que nos da una idea general de la manera de actuar de las personas en caso de emergencia, así mismo algunas preguntas están enfocadas a conocer el sentir de la población en cuanto a la seguridad de sus bienes y la propia en caso de desastre.

La primera parte consta de un cuestionario de 15 preguntas. Para hacer más fácil la medición en este caso las respuestas serán cerradas, dando un valor de “0” a Sí y “1” a No.

En esta parte, cabe aclarar que en el cuestionario el valor más bajo será para “Sí” ya que este representará una mayor capacidad de prevención y respuesta y por consiguiente menor vulnerabilidad. Así mismo, en el momento de buscar el valor en la tabla final esto deberá coincidir con el grado de vulnerabilidad, siendo así, una mayor capacidad de prevención y respuesta significa menor vulnerabilidad y viceversa, por lo que en esta parte una baja capacidad de prevención y respuesta en la tabla de valores significará una mayor vulnerabilidad y tendrá como valor más alto el 1.

Se sumará el resultado de cada pregunta y se buscará el valor que le corresponda en la tabla de llenado del cuestionario, tomando en cuenta que entre menor es la capacidad de prevención y respuesta, es más alto el grado de vulnerabilidad. Este será el segundo valor de la metodología.

En cuanto al segundo cuestionario el cual consta de 17 preguntas, también se dará un valor a cada respuesta, dichos valores estarán especificados en las plantillas, el valor que se obtendrá de este cuestionario deberá oscilar entre 0 y 1 y éste será el tercer y último valor que obtendremos en la metodología.

Al igual que en el cuestionario anterior, el valor menor será para “Sí” ya que este representará una mayor percepción local y por ende menor vulnerabilidad. Así mismo, en el momento de buscar el valor en la tabla final esto deberá coincidir con el grado de vulnerabilidad, siendo así, una mayor percepción local significa menor vulnerabilidad y viceversa, por lo que en esta parte una baja percepción local en la tabla de valores significará una mayor vulnerabilidad y tendrá como valor más alto 1.

Se estableció que el cuestionario sobre percepción local se aplicará al 5% de la población municipal, distribuyendo proporcionalmente los cuestionarios en las distintas localidades, se debe cuidar que la distribución de éstos sea aleatoria, es decir, que cualquier persona tenga las mismas posibilidades de ser elegida.

Esta metodología constituye un primer esfuerzo para la cuantificación de la vulnerabilidad social asociada a desastres, que conforme se obtengan los primeros resultados y con la aplicación de algunas pruebas cambiará en un futuro, principalmente en esta tercera etapa que concierne a la percepción local.

Es recomendable que para la aplicación del cuestionario, éste sea guiado por una persona con alguna experiencia tanto en protección civil como en algún área relacionada con aspectos sociales.

La aplicación de los mismos se puede realizar con pasantes de las distintas instituciones educativas del municipio que presten su servicio social.

En el caso del cuestionario de percepción local, el cual será aplicado a una muestra, cada pregunta del cuestionario tiene un valor, el cual se sumará al final de cada cuestionario. Una vez aplicados todos los cuestionarios se sumará el número de final de todos los cuestionarios y se dividirá entre el total de cuestionarios que fueron aplicados para obtener un promedio final de la tercera parte, este número deberá situarse en alguno de los rangos, al cual le corresponde un valor que se anexa al final de la plantilla de percepción local. El número que se obtenga, será el número final de esta tercera y última parte.

Finalmente a la primera parte de la metodología se le dará un peso del 60%, ya que las condiciones de vida de la población determinarán en gran medida el grado vulnerabilidad. A la capacidad de prevención y respuesta se le dará un peso del 20% que es otro factor determinante para hacer frente a los desastres. Por último a la percepción local de riesgo se le dará un valor del 20%.

El número final para la medición de la vulnerabilidad social se obtiene de la siguiente manera:

$$GVS = (R1 * 0.60) + (R2 * 0.20) + (R3 * 0.20)$$

Donde:

GVS = Es el grado de Vulnerabilidad Social asociada a desastres

R1 = Resultado del primer cuestionario de la metodología

R2 = Resultado del cuestionario de capacidad de prevención y respuesta

R3 = Resultado del cuestionario de percepción local de riesgo

Finalmente, el número que se obtiene de la operación anterior representa el grado de vulnerabilidad de una población el cual incluye tanto a las condiciones socio - económicas, como a la capacidad de prevención y respuesta de la misma ante un desastre y la percepción local del riesgo. Los rangos para la medición de la vulnerabilidad social van de 0 a 1, donde 0 representa el grado más bajo de vulnerabilidad social y 1 representa el valor más alto de la misma. Se establecen de la siguiente manera:

Valor Final	Grado de Vulnerabilidad Social Asociado a Desastres
De 0 a 0.20	Muy Bajo
De 0.21 a 0.40	Bajo
De 0.41 a 0.60	Medio
De 0.61 a 0.80	Alto
Más de 0.80	Muy Alto

Este número final representa el grado de vulnerabilidad social de una población.

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

En tiempos recientes se ha observado una preocupación constante por la realización de estudios y análisis sobre temas que involucren a la vulnerabilidad social. Dichos estudios se encuentran enmarcados en distintos ámbitos, diversas metodologías y con diferentes enfoques. De hecho, uno de los principales problemas que se presentan al estudiar la vulnerabilidad social radica en el problema conceptual.

Sin embargo, en los últimos años se ha observado una relación más marcada entre el análisis de la vulnerabilidad social y la relación que guarda ésta con los desastres. Esta metodología se enmarca en este ámbito de estudio.

Estamos convencidos que la vulnerabilidad social asociada a desastres es una combinación entre las características de desarrollo humano que tiene la población, que permiten medir la capacidad de sobreponerse a un desastre y la capacidad de organización antes, durante y después del mismo.

Así mismo creemos que tiene una estrecha vinculación con la capacidad de prevención y respuesta que se genera en las distintas dependencias, órganos de gobierno, iniciativa privada y organizaciones no gubernamentales para tener la capacidad de organización y generación de información, aunado a la percepción local que se tiene del riesgo de la misma población y sus mecanismos para mitigar el peligro. Una sociedad que tiene el conocimiento sobre sus peligros y amenazas latentes en sus localidades resulta menos vulnerable.

Así pues, al ser evaluada la vulnerabilidad social como se propone en esta guía es necesario siempre tomar en cuenta algunas consideraciones y recomendaciones en el marco de los planes de emergencia de cada localidad y municipio.

Sin embargo, la guía necesita ser alimentada por elementos enriquecedores que permitirán tener una identificación general de las amenazas, lo anterior se logra a partir del conocimiento de:

- La historia de los desastres en el lugar (si no se cuenta con un registro histórico de los desastres en el lugar, comenzar a trabajar en la recopilación de datos con las personas de mayor edad de la población que pueden ayudar a elaborar un registro histórico de los desastres)
- La magnitud de los desastres, es decir el área de influencia
- Frecuencia de los eventos.

Es necesario conocer y evaluar, también, cuál fue la reacción que se tuvo ante desastres o eventos anteriores. A partir de esto, se tendrá una primera aproximación de los niveles de organización, que consisten en el nivel de conocimiento sobre el riesgo a través de las acciones que se realizaron para minimizar el impacto y las actividades que se llevaron a cabo para responder ante el evento y cómo se organizó la recuperación de las zonas afectadas.

Es de vital importancia tomar en cuenta que la presente metodología se elaboró para evaluar la vulnerabilidad social y la capacidad de prevención y respuesta a escala municipal, sin embargo, tomando en cuenta que el Programa Nacional de Protección Civil reporta la existencia de 1,413 Consejos Municipales de Protección Civil, habrá municipios donde el grado de vulnerabilidad aumente por no contar con un Consejo.

En caso de no contar con una unidad de protección civil, ni con algún comité encargado de la atención de la emergencia, lo ideal sería contar con algún organismo de este tipo, una instancia integrada por elementos institucionales, técnicos, científicos, organizativos, públicos y privados para responder desde su ámbito con el fin de evitar o reducir los efectos de los desastres.

Por último, se quiere dejar plasmado que esta guía metodológica es una primera aproximación al tratamiento de la vulnerabilidad social asociada a desastres de origen natural, que puede sufrir cambios en un futuro y fija un punto de vista muy particular de los autores.

GLOSARIO

Actividad económica: Acción destinada a producir bienes y servicios para el mercado. Incluye la producción agropecuaria de autoconsumo.

Analfabeta: Población de 15 años y más que no sabe leer y escribir.

Auto adscripción indígena: Reconocimiento que hace la población de pertenecer a una etnia, con base en sus concepciones.

Brigada de emergencia o de auxilio: Grupo organizado y capacitado en una o más áreas de operaciones de emergencia.

Capacidad de prevención y respuesta: Conjunto de acciones que se llevan a cabo antes del desastre y después de la superación de la condición crítica del mismo.

Cobertura de educación básica: Es la proporción de la matrícula de la población primaria y secundaria respecto a la población de 6 a 15 años de edad.

Condición de actividad económica: Situación que distingue a la población de 12 años y más, según haya realizado o no alguna actividad económica en la semana de referencia. Se clasifica en población económicamente activa y población económicamente inactiva.

Condición de alfabetismo: Situación que distingue a la población de 15 años y más según declare saber leer y escribir. La población se clasifica en alfabeta y analfabeta.

Condición de asistencia escolar: Situación que distingue a la población de 5 años y más según asista o no a algún establecimiento de enseñanza escolar del Sistema Educativo Nacional de cualquier nivel (preescolar a posgrado).

Condición de habla indígena: Situación que distingue a la población de 5 años y más según declare hablar o no alguna lengua indígena.

Condición de ocupación: Situación que distingue a la población económicamente activa en ocupada y desocupada, de acuerdo con el desempeño o búsqueda de una actividad económica en la semana de referencia.

Déficit de vivienda: Desequilibrio resultante entre el número total de viviendas aceptables disponibles (parque habitacional aceptable) y el número total de hogares que requieren satisfacer la necesidad de habitar en alguna vivienda, aunado a las viviendas cuyos componentes principales o son de materiales no duraderos o se encuentra(n) en un estado de deterioro.

Densidad: Es la relación entre el número de personas que habita un territorio determinado y la superficie del mismo. El cociente resultante se expresa como número de habitantes por kilómetro cuadrado.

Derechohabiencia a servicios de salud: Derecho de las personas a recibir atención médica en instituciones de salud públicas y/o privadas, como resultado de una prestación laboral al trabajador, a los miembros de las fuerzas armadas, a los familiares designados como beneficiarios o por haber adquirido un seguro facultativo (voluntario) en el Instituto Mexicano del Seguro Social.

Desastre: Se define como el estado en que la población de una o más entidades federativas, sufre severos daños por el impacto de una calamidad devastadora, sea de origen natural o antropogénico, enfrentando la pérdida de sus miembros, infraestructura o entorno, de tal manera que la estructura social se desajusta y se impide el cumplimiento de las actividades esenciales de la sociedad, afectando el funcionamiento de los sistemas de subsistencia.

Desempleado o desocupado: Persona de 12 años o más que en la semana de referencia no tenía trabajo pero lo buscó activamente.

Disponibilidad de agua entubada: Accesibilidad de los ocupantes de la vivienda al uso de agua entubada, así como la forma de abastecimiento cuando no disponen de ella.

Las viviendas se clasifican de acuerdo con el acceso que sus ocupantes tienen al agua entubada en:

- Disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda.
 1. Dentro
 2. Fuera de la vivienda pero dentro del terreno.
- Disponen de agua entubada por acarreo.
 1. De llave pública o hidrante.
 2. De otra vivienda.
- No disponen de agua entubada.
 1. Usan agua de pipa.
 2. Usan agua de algún pozo, río, lago, arroyo u otra fuente.

Disponibilidad de electricidad: Existencia de energía eléctrica para alumbrar la vivienda, sin considerar la fuente de donde provenga. La fuente puede ser un acumulador, el servicio público de energía, una planta particular, una planta de energía solar o cualquier otra.

Drenaje: Sistema de tuberías mediante el cual se eliminan de la vivienda las aguas negras o las aguas sucias. Si al menos una de las instalaciones sanitarias de la vivienda (lavadero, fregadero, sanitario o regadera) dispone de un sistema de tuberías para eliminar las aguas negras o aguas sucias, se considera que tiene drenaje.

De acuerdo con la disponibilidad de drenaje la vivienda se clasifica en:

- Dispone de drenaje conectado a:
 - a. Barranca o grieta.
 - b. Fosa séptica
 - c. Red pública
 - d. Río, lago o mar.
- No dispone de drenaje.

Entidad Federativa: Unidad geográfica mayor de la división político-administrativa del país. El territorio nacional se divide en 31 estados y un Distrito Federal.

Emergencia: Situación anormal que puede causar un daño a la sociedad y propiciar un riesgo excesivo para la seguridad e integridad de la población en general; se declara por el Ejecutivo Federal cuando se afecta una Entidad Federativa y/o se rebasa su capacidad de respuesta requiriendo el apoyo Federal.

Grado promedio de escolaridad: Es el resultado de dividir la suma de los años aprobados desde el primero de primaria hasta el último grado alcanzado en las personas de 15 años y más, entre el total de la población de 15 años y más.

- Se incluye a la población de 15 años o más con cero grados aprobados
- Se excluye a la población de 15 años y más con grados no especificados en algún nivel y a la población con nivel de escolaridad no especificado.

Grados aprobados: Años de estudio aprobados por la población de 5 años y más en el nivel más alto alcanzado en el Sistema Educativo Nacional.

Hijo fallecido: Todo producto del embarazo, de la población femenina de 12 años y más, nacido vivo que en el momento de la entrevista ya ha muerto, aunque haya vivido poco tiempo (segundos, minutos, etcétera.)

Hijo nacido vivo: Todo producto del embarazo, de la población femenina de 12 años y más, que después de la extracción o expulsión completa del cuerpo de la madre manifiesta algún signo de vida, tal como movimiento voluntario, respiración, latido del corazón o llanto.

Hijo sobreviviente: Todo producto del embarazo, de la población femenina de 12 años y más, nacido vivo, que en el momento de la entrevista aún vive, independientemente de que resida en el hogar de la madre o fuera de éste.

Hogar: Unidad formada por una o más personas, unidas o no por lazos de parentesco, que residen habitualmente en la misma vivienda y se sostienen de un gasto común para la alimentación.

Los hogares se clasifican por tipo, en familiares y no familiares, y al interior de estos según su clase.

- Familiares: se clasifican en ampliados, compuestos y nucleares.
- No familiares: se clasifican en de correspondientes y unipersonales.

Indicadores sociales: Indicadores usados para la determinación de la situación socioeconómica de una población. Ejemplos, tasas de mortalidad infantil, áreas verdes por habitante, tasa de alfabetización, etc.

Ingresos por trabajo: Percepción en dinero que la persona ocupada declare recibir por su trabajo. Se consideran los ingresos por concepto de sueldos, comisiones, propinas y cualquier percepción devengada por el desempeño de una actividad económica. El ingreso se publica en salario mínimo mensual.

Instituciones de Salud: Establecimientos u organismos dedicados a proporcionar servicios médicos en distintos niveles: prevención y tratamiento de enfermedades, hospitalización, intervenciones quirúrgicas u otro tipo de servicios de salud.

Se clasifican en:

- Públicas para población derechohabiente: IMSS, ISSSTE, PEMEX, Defensa o Marina, otro tipo de instituciones.
- Públicas para población no derechohabiente: IMSS-Solidaridad, Secretaría de Salud y otro tipo de instituciones.
- Privadas para población derechohabiente
- Privadas para población no derechohabientes.

Instrucción media superior: Comprende el bachillerato y sus equivalentes, los estudios técnicos o comerciales con antecedente de secundaria y la normal básica.

Instrucción superior: Comprende los estudios técnicos con antecedente de preparatoria, profesional, normal superior y los de maestría y doctorado.

Lengua indígena: Conjunto de idiomas que históricamente son herencia de las diversas etnias del continente americano.

Ley General de Protección Civil: Conjunto de objetivos, políticas, estrategias, líneas de acción y metas para cumplir con el objetivo del Sistema Nacional de Protección Civil, según lo dispuesto por la Ley de Planeación.

Localidad: Todo lugar ocupado por una o más viviendas habitadas. Este lugar es reconocido por un nombre dado por la ley o la costumbre.

Lugar de trabajo: Municipio o Delegación, entidad federativa o país donde se ubica la empresa, predio agrícola, negocio o institución pública o privada en la que la población ocupada trabajó la semana de referencia.

Material predominante en paredes: Elemento con el que están construidas la mayor parte de las paredes de la vivienda. Se clasifican en: adobe, carrizo, bambú, palma, embarro, bajareque, lámina de cartón, lámina de asbesto o metálica, madera, material de desecho, tabique, ladrillo, piedra, cantera, cemento o concreto.

Material predominante en pisos: Elemento básico de los pisos de la vivienda. Se clasifican en: cemento, firme, madera, mosaico u otros recubrimientos y tierra.

Mortalidad infantil: Se refiere a las defunciones de menores de un año.

Municipio: División territorial político-administrativa de una entidad federativa.

Nivel de instrucción: Grado de estudio más alto aprobado por la población de 5 y más años de edad en cualquiera de los niveles del Sistema Educativo Nacional o su equivalente en el caso de estudios en el extranjero. Los niveles son: preescolar, kinder, primaria, secundaria, preparatoria o bachillerato, normal básica, carrera técnica o comercial, profesional, maestría o doctorado.

Ocupado: Persona de 12 años o más que realizó alguna actividad económica, al menos una hora en la semana de referencia, a cambio de un sueldo, salario, jornal u otro tipo de pago en dinero o en especie. Incluye a las personas que tenían trabajo pero no laboraron en la semana de referencia por alguna causa temporal, sin que haya perdido el vínculo con su trabajo. Incluye a las personas que ayudaron en el predio, fábrica, tienda o taller familiar sin recibir un sueldo o salario de ninguna especie, así como a los aprendices o ayudantes que trabajaron sin remuneración.

Peligro o Peligrosidad: evaluación de la intensidad máxima esperada de un evento destructivo en una zona determinada y en el curso de un periodo dado, con base en el análisis de probabilidades.

Plan: instrumento diseñado para alcanzar determinados objetivos, en el que se definen en espacio y tiempo los medios utilizables para lograrlos. En él se contemplan en forma ordenada y coherente las metas, estrategias, políticas, directrices y tácticas, así como los instrumentos y acciones que se utilizarán para llegar a los fines deseados. Un plan es un instrumento dinámico sujeto a modificaciones en sus componentes, en función de la periódica evaluación de sus resultados.

Plan de Emergencia o de Contingencia: Función del subprograma de auxilio e instrumento principal de que disponen los centros nacional, estatal o municipal de operaciones para dar una respuesta oportuna, adecuada y coordinada a una situación de emergencia. Consiste en la organización de las acciones, personas, servicios y recursos disponibles para la atención del desastre, con base en la evaluación de riesgos, disponibilidad de recursos materiales y humanos, preparación de la comunidad, capacidad de respuesta local e internacional, etcétera.

Población afectada: Segmento de la población que padece directa o indirectamente los efectos de un fenómeno destructivo, y cuyas relaciones se ven substancialmente alteradas, lo cual provoca la aparición de reacciones diversas, condicionadas por factores tales como: Pautas comunes de comportamiento, arraigo, solidaridad y niveles culturales.

Población asalariada: Personas de 12 años o más que trabajaron o prestaron sus servicios a un patrón, empresa o institución pública o privada a cambio de un sueldo o jornal. Comprende a empleados, obreros, jornaleros y peones.

Población Económicamente Activa: Personas de 12 años y más que en la semana de referencia se encontraban ocupadas o desocupadas.

Población Económicamente Inactiva: Personas de 12 años y más que en la semana de referencia no realizaron alguna actividad económica ni buscaron trabajo. Se clasifican en: estudiantes, incapacitados permanentemente para trabajar, jubilados o pensionados, personas dedicadas a los quehaceres del hogar, otro tipo de inactividad.

Población Ocupada con Ingresos de hasta dos salarios mínimos: Población ocupada que no recibe ingresos por trabajo o que sólo percibe hasta dos salarios mínimos.

Población Total: Personas censadas, nacionales y extranjeras, que residen habitualmente en el país. Incluye mexicanos que cumplen funciones diplomáticas en el extranjero, así como sus familiares, también se incluye a la población sin vivienda y a los mexicanos que cruzan diariamente la frontera para trabajar en otro país, no se incluye a los extranjeros que cumplen con un cargo o misión diplomática en el país, ni a sus familiares.

Porcentaje de hijos fallecidos: Es el resultado de dividir el total de hijos fallecidos entre el total de hijos nacidos vivos y multiplicar el resultado por 100.

Prestaciones laborales: Bienes y servicios que recibe por ley la población asalariada, como complemento de la remuneración recibida por el desempeño de su trabajo. Las prestaciones consideradas son: aguinaldo, ahorro para el retiro, reparto de utilidades, servicio médico y vacaciones pagadas.

Promedio de hijos nacidos vivos: Es el resultado de dividir el número total de hijos nacidos vivos entre el total de mujeres.

Razón de dependencia: La razón de dependencia es la relación existente entre la población menor de 15 años y la mayor de 64 con respecto a la población en edades laborales (15 a 64 años).

Riesgo: Probabilidad de que se produzca un daño originado por un fenómeno perturbador.

Salario mínimo: Pago mensual en pesos mexicanos con el que se retribuye a los trabajadores por su ocupación o trabajo desempeñado. El salario mínimo mensual lo determina la Comisión Nacional de los Salarios Mínimos para las tres áreas geográficas en que son agrupadas las entidades federativas de país.

Servicio médico: Atención a la salud que recibe como prestación laboral la población asalariada y sus beneficiarios por parte de alguna de las instituciones de salud pública o privada.

Sistema Afectable o Sistemas Expuesto: denominación genérica que recibe todo sistema integrado por el hombre y por los elementos que éste necesita para su subsistencia, sobre el cual pueden materializarse los efectos de una calamidad.

Tamaño del hogar: Número de integrantes que forman el hogar.

Tasa de Desempleo Abierta (TDA): Es el resultado de dividir el número de personas desocupadas entre el total de la población económicamente activa y multiplicar el resultado por cien.

Tasa de Mortalidad Infantil: Es el resultado de dividir el número de defunciones de menores de un año ocurridas en un periodo determinado, entre el total de nacidos vivos durante el mismo lapso, y multiplicar el resultado por una constante (generalmente mil).

Tipo de vivienda: Diferenciación de la vivienda según se use para alojar a personas que conforman hogares, o bien a personas que tienen que cumplir con reglamentos de convivencia o comportamiento. La vivienda se diferencia según su tipo en: particular o colectiva.

Vivienda: Espacio determinado normalmente por paredes y techos de cualquier material, con entrada independiente, que se utiliza para vivir, esto es, dormir, preparar los alimentos, comer, y protegerse del ambiente. Se considera como entrada independiente al acceso que tiene la vivienda por el que las personas pueden entrar o salir de ella sin pasar por el interior de los cuartos de otra.

Vulnerabilidad: Se refiere a la propensión de un sistema o un asentamiento humano a sufrir afectaciones de diversa índole con respecto a una amenaza.

Vulnerabilidad Social: Se refiere al conjunto de características sociales y económicas de la población que limita la capacidad de desarrollo de la sociedad; en conjunto con la capacidad de respuesta de la misma frente a un fenómeno.

BIBLIOGRAFÍA

CONAPO, “La situación demográfica de México”, México, 1998.

Garza Gustavo coordinador, Atlas demográfico de México, CONAPO – Programa de Educación, Salud y Alimentación (PROGRESA), México, 1999.

Garza Gustavo coordinador, “El sistema de ciudades, 1990 y 1995 en: Atlas demográfico de México, CONAPO – PROGRESA”, México, 1999.

Kuroiwa, Julio, “Reducción de desastres, Viviendo en armonía con la naturaleza”, Lima, enero 2002.

Gobierno del Estado Libre y Soberano de Puebla, “Plan General de Atención de Emergencias del Estado de Puebla”, Secretaría de Gobernación, Sistema Estatal de Protección Civil, México, 2000.

Gobierno del Estado de Michoacán, “Atlas de Riesgos y Plan Municipal”, Aguila Michoacán, 1999.

Gobierno del Estado de Michoacán, “Atlas de Riesgos y Plan Municipal”, La Huacana Michoacán, 1999.

Gobierno del Estado de Michoacán, “Atlas de Riesgos y Plan Municipal”, Uruapan Michoacán, 1999.

SEDESOL, “Sistema de ciudades de México: Estructura y funcionamiento, en: Sistema de ciudades y distribución espacial de la población en México”, 2 tomos, México, 1991.

SEDESOL, “El sistema urbano nacional y sus áreas de influencia funcional, en México, 2020: Un enfoque territorial de desarrollo; vertiente urbana, síntesis ejecutiva, México, Colegio de Arquitectos de la Ciudad de México, A.C., Sociedad de Arquitectos Mexicanos e Instituto de Investigaciones Económicas”, UNAM, México, 2000.

Organización Panamericana de la Salud, “Establecimiento de un sistema de Atención de Víctimas en Masa”, Washington, 1996.

ANEXO

CÉDULA (PRIMERA PARTE)

Sector	Variable	Intervalos	Condición Vulnerabilidad	Valor	Calificación
SALUD	Cobertura de Servicios de Salud	De 0.20 a 0.39 Médicos por cada 1,000 habitantes	Muy Alta	1	
		De 0.4 a 0.59 Médicos por 1,000 habitantes	Alta	0.75	
		De 0.6 a 0.79 Médicos por cada 1,000 habitantes	Media	0.5	
		De 0.8 a 0.99 Médicos por cada 1,000 habitantes	Baja	0.25	
		Uno o más Médicos por cada mil habitantes	Muy Baja	0	
	Tasa de Mortalidad Infantil	De 17.2 a 27.1	Muy Baja	0	
		De 27.2 a 37.0	Baja	0.25	
		De 37.1 a 47.0	Media	0.5	
		De 47.1 a 56.9	Alta	0.75	
		57.0 ó más	Muy Alta	1	
	Porcentaje de la Población no Derechohabiente	De 17.63 a 34.10	Muy Baja	0	
		De 34.11 a 50.57	Baja	0.25	
De 50.58 a 67.04		Media	0.5		
De 67.05 a 83.51		Alta	0.75		
83.52 ó más		Muy Alta	1		
Promedio Salud					
EDUCACIÓN	Porcentaje de Analfabetismo	De 1.07 a 15.85	Muy Baja	0	
		De 15.86 a 30.63	Baja	0.25	
		De 30.64 a 45.41	Media	0.5	
		De 45.42 a 60.19	Alta	0.75	
		60.20 ó más	Muy Alta	1	
	Porcentaje de la Demanda en Educación Básica	De 42.72 a 54.17	Muy Alta	1	
		De 54.18 a 65.62	Alta	0.75	
		De 65.63 a 77.07	Media	0.5	
		De 77.08 a 88.52	Baja	0.25	
		88.53 ó más	Muy Baja	0	
	Grado Promedio de Escolaridad	De 1 a 3.2	Muy Alta	1	
		De 3.3 a 5.4	Alta	0.75	
De 5.5 a 7.6		Media	0.5		
De 7.7 a 9.8		Baja	0.25		
De 9.9 o más		Muy Baja	0		
Promedio Educación					
VIVIENDA	Porcentaje de Viviendas sin Servicio de Agua Entubada	De 0 a 19.96	Muy Baja	0	
		De 19.97 a 39.92	Baja	0.25	
		De 39.93 a 59.88	Media	0.5	
		De 59.89 a 79.84	Alta	0.75	
		79.85 ó más	Muy Alta	1	
	Porcentaje de Viviendas sin Servicio de Drenaje	De 1.21 a 20.96	Muy Baja	0	
		De 20.97 a 40.71	Baja	0.25	
		De 40.72 a 60.46	Media	0.5	
		De 60.47 a 80.21	Alta	0.75	
		80.22 ó más	Muy Alta	1	
	Porcentaje de Viviendas sin Servicio de Electricidad	De 0 a 19.76	Muy Baja	0	
		De 19.77 a 39.52	Baja	0.25	
		De 39.53 a 59.28	Media	0.5	
De 59.29 a 79.04		Alta	0.75		
79.05 ó más		Muy Alta	1		
Déficit de Vivienda	De 1.63 a 13.72	Muy Baja	0		
	De 13.73 a 25.81	Baja	0.25		

Sector	Variable	Intervalos	Condición Vulnerabilidad	Valor	Calificación
		De 25.82 a 37.90	Media	0.5	
		De 37.91 a 49.99	Alta	0.75	
		De 50 ó más	Muy Alta	1	
	Piso de tierra	De 1.52 a 20.82	Muy Baja	0	
		De 20.83 a 40.12	Baja	0.25	
		De 40.13 a 59.42	Media	0.5	
		De 59.43 a 78.72	Alta	0.75	
		78.73 ó más	Muy Alta	1	
	Porcentaje de Viviendas con Paredes de Material de Desecho y Lámina de Cartón	De 0 a 3.84	Muy Baja	0	
		De 3.85 a 7.68	Baja	0.25	
De 7.69 a 11.52		Media	0.5		
De 11.53 a 15.36		Alta	0.75		
	15.37 ó Más	Muy Alta	1		
Promedio Vivienda					
EMPLEO E INGRESOS	Porcentaje de la Población Económicamente Activa que Recibe Ingresos de Menos de 2 Salarios Mínimos	De 18.41 a 34.50	Muy Baja	0	
		De 34.51 a 50.59	Baja	0.25	
		De 50.60 a 66.68	Media	0.5	
		De 66.69 a 82.77	Alta	0.75	
		82.78 ó más	Muy Alta	1	
	Razón de Dependencia	De 37.72 a 57.69	Muy Baja	0	
		De 57.70 a 77.66	Baja	0.25	
		De 77.67 a 97.63	Media	0.5	
		De 97.64 a 117.60	Alta	0.75	
	117.61 ó más	Muy Alta	1		
Tasa de Desempleo Abierto	De 0 a 3.09	Muy Baja	0		
	De 3.10 a 6.18	Baja	0.25		
	De 6.19 a 9.27	Media	0.5		
	De 9.28 a 12.36	Alta	0.75		
	12.37 ó más	Muy Alta	1		
Promedio empleo e ingresos					
POBLACIÓN	Densidad de Población	De 1 a 99 Habitantes por km ²	Muy Baja	0	
		De 100 a 499 Habitantes por km ²	Baja	0.25	
		De 500 a 999 Habitantes por km ²	Media	0.5	
		De 1,000 a 4,999 Habitantes por km ²	Alta	0.75	
		Más de 5,000 Habitantes por km ²	Muy Alta	1	
	Porcentaje de Población de Habla Indígena	Más del 40% de la población	Predominantemente indígena	0	
		Menos del 40% de la población	Predominantemente no indígena	1	
	Porcentaje de Población que Habita en Localidades Menores a 2 500 Habitantes	de 0 a 9.9	Muy Baja	0.00	
		de 10 a 19.9	Baja	0.25	
		de 20 a 29.9	Media	0.50	
de 30 a 39.9		Alta	0.75		
40 o más		Muy Alta	1.00		
Promedio población					
Total					

Resultado de la primera parte

Total de tabla primera parte	

Cédula (Cuestionario capacidad de prevención y respuesta)

NO.	Pregunta	SÍ	NO
1	¿El municipio cuenta con una unidad de protección civil o con algún comité u organización comunitario de gestión del riesgo que maneje la prevención, mitigación, preparación y la respuesta?	0	1
2	¿Cuenta con un plan de emergencia?	0	1
3	¿Cuenta con un consejo municipal el cual debe de estar integrado por diferentes dependencias de gobierno* para saber que papel desempeñaría cada una en caso de emergencia?	0	1
4	¿Conoce los mecanismos para acceder al Fondo Nacional de Desastres?	0	1
5	¿Cuenta con algún tipo de alerta?	0	1
6	¿Cuenta con canales de comunicación (organización a través de los cuáles se pueda coordinar con otras instituciones, áreas o personas en caso de una emergencia?	0	1
7	¿Las instituciones de salud municipales cuentan con programas de atención a la población (trabajo social, psicológico, vigilancia epidemiológica en caso de desastre?	0	1
8	¿Tiene establecidas las posibles rutas de evacuación y acceso (camino y carreteras) en caso de un desastre?	0	1
9	¿Tiene establecidos los sitios que pueden fungir como helipuertos?	0	1
10	¿Tiene ubicados los sitios que pueden funcionar como refugios temporales en caso de un desastre?	0	1
11	¿Tiene establecido un stock de alimentos, cobertores, colchonetas y pacas de lámina de cartón para casos de emergencia?	0	1
12	¿Tiene el vínculo con centros de asistencia social (DIF, DINCOSA, LICONSA, etc.) para la operación de los albergues y distribución de alimentos, cobertores, etc.?	0	1
13	¿Dispone de convenios con iniciativa privada en caso de desastre?	0	1
14	¿Se llevan a cabo simulacros en las distintas instituciones (escuelas, centros de salud, etc.) sobre qué hacer en caso de una emergencia?	0	1
15	¿Se aplica algún programa de créditos para la reconstrucción de viviendas afectadas en caso de desastre?	0	1
Total			

Resultado final de la cédula (capacidad de prevención y respuesta)

Rangos con respecto a la suma de respuesta	Capacidad de prevención y respuesta	Valor asignado según condición de vulnerabilidad	Calificación
De 0 a 3	Muy Alta	0	
De 3.1 a 6.0	Alta	0.25	
De 6.1 a 9.0	Media	0.5	
De 9.1 a 12.0	baja	0.75	
12.1 ó mas	Muy baja	1	

Cédula (percepción local)

Número	Pregunta	Valores			Total
		A	B	C	
1	¿ Dentro de los tipo de peligro que existen (ver cuadro) cuántos tipos de fuentes de peligro identifica en su localidad?	De 1 a 5	De 6 a 13	Más de 13	
		1.0	0.50	0.0	
2	Respecto a los peligros mencionados en la pregunta no. 1 recuerda o sabe si han habido emergencias o situaciones de desastre asociada a alguna de éstas amenazas en los últimos 30 años	Si	No	No sé	
		0	1	0.5	
3	¿Considera que su vivienda está localizada en un área susceptible de amenazas (que se encuentre en una ladera, en una zona sísmica, en una zona inundable, etc.)?	Si	No	No sé	
		0	1	0.5	
4	En caso que recuerde algún desastre, los daños que se presentaron en su comunidad fueron:	Ninguna fatalidad. Daños sólo en vivienda e infraestructura	Pocas personas fallecidas, daños en infraestructura y vivienda	Muchas personas fallecidas, daños en muchas vivienda y en infraestructura	
		0.25	0.5	1	
5	Ha sufrido la pérdida de algún bien a causa de un fenómeno natural?	Si	No	No sé	
		0	1	0.5	
6	¿Sabe si en su comunidad se han construido obras que ayuden a disminuir los efectos de fenómenos naturales tales como bordos, presas, terrazas, muros de contención, pozos, sistemas de drenaje, rompevientos, rompeolas, etc.?	Si	No	No sé	
		0	1	0.5	
7	¿En los centros educativos de su localidad o municipio se enseñan temas acerca de las consecuencias que trae consigo un fenómeno natural y/o químico?	Si	No	No sé	
		0	1	0.5	
8	¿Alguna vez en su comunidad se han llevado a cabo campañas de información acerca de los peligros existentes en ella?	Si	No	No sé	
		0	1	0.5	
9	¿Ha participado en algún simulacro en alguna ocasión, y/o cuenta con su programa familiar de Protección Civil?	Si	No	No sé	
		0	1	0.5	
10	¿Sabe a quién o a dónde acudir en caso de una emergencia?	Si	No		
		0	1		
11	¿Sabe si existe en su comunidad un sistema de alertamiento para dar aviso a la población sobre alguna emergencia?	Si	No		
		0	1		
12	¿De acuerdo a experiencias anteriores, su comunidad está lista para afrontar una situación de desastre tomando en cuenta las labores de prevención?	Si	No	No sé	
		0	1	0.5	
13	En los últimos años ¿qué tan frecuentemente se ha quedado aislada la comunidad debido a la interrupción de las vías de acceso por más de dos días debido a algún tipo de contingencia?	Ninguna o una vez	De 2 a 5 veces	Más de 5 veces	
		0	0.5	1	
14	¿Considera importante mantenerse informado acerca de los peligros en su comunidad?	Si	No	No sé	
		0	1	0.5	
15	¿Sabe dónde esta ubicada y que función desempeña la unidad de protección civil?	Sé dónde se encuentra y sé sus funciones	No sé dónde se encuentra y no sé qué hace	Sé qué hace pero no dónde se encuentra	
		0	1	0.5	
16	¿Considera que tiene la información necesaria para enfrentar una emergencia?	Si	No	No sé	
		0	1	0.5	
17	En caso de haber estado en una situación de emergencia cómo se enteró de las medidas que debía tomar	No se enteró	Medios impresos	Televisión o Radio	
		1	0.5	0.0	
TOTAL					

Resultado final cédula (percepción local)

Rangos	Percepción Local	Valor asignado según condición de vulnerabilidad	Calificación
De 0 a 4	Muy Alta	0	
De 4.01 a 7.25	Alto	0.25	
De 7.26 a 10.50	Medio	0.5	
De 10.51 a 13.75	Bajo	0.75	
13.76 ó más	Muy Baja	1	

GRADO DE VULNERABILIDAD

Valor Final	Grado de Vulnerabilidad Social	Resultado Final
De 0 a .20	Muy Bajo	
De .21 a .40	Bajo	
De .41 a .60	Medio	
De .61 a .80	Alto	
Más de .80	Muy Alto	

EJEMPLO:

Cédula (primera parte)

Sector	Variable	Intervalos	Grado	Valor	Calificación
EDUCACIÓN	Porcentaje de analfabetismo	De 1.07 a 15.85	Muy Bajo	0	1
		De 15.86 a 30.63	Bajo	0.25	
		De 30.64 a 45.41	Medio	0.5	
		De 45.42 a 60.19	Alto	0.75	
		60.20 ó más	Muy Alto	1	
	Cobertura de educación básica	De 42.72 a 54.17	Muy Alto	1	0.75
		De 54.18 a 65.62	Alto	0.75	
		De 65.63 a 77.07	Medio	0.5	
		De 77.08 a 88.52	Bajo	0.25	
		88.53 ó más	Muy Bajo	0	
	Grado promedio de escolaridad	De 1 a 3.2	Muy Alto	1	1
		De 3.3 a 5.4	Alto	0.75	
		De 5.5 a 7.6	Medio	0.5	
		De 7.7 a 9.8	Bajo	0.25	
		9.9 ó más	Muy Bajo	0	
Total Educación					0.91

En el ejemplo anterior sólo se toma en cuenta el sector de educación de la cédula de la primera parte, sin embargo todos los otros rubros se trabajan de la misma forma. En este caso las variables son 3. Cada variable tiene su tabla de rangos, por lo que en el ejemplo anterior el

municipio evaluado tuvo un porcentaje de analfabetismo de más de 60.2%, por lo que se le asignó el valor de 1 que reflejará su condición de vulnerabilidad. Así mismo, dicho municipio tuvo una cobertura de educación básica de entre 54.2% y 65.6%, por lo que se le situó en el valor de 0.75. Por último, el grado promedio de escolaridad en el municipio es de menos de 3.2 años, por lo que se le fijó el valor de 1 según se muestra en la tabla anterior. El total del rubro de educación se obtiene promediando los resultados de cada variable (0.91 en este ejemplo) .

Cédula (capacidad de prevención y respuesta)

NO.	Pregunta	SÍ	NO
1	¿El municipio cuenta con una unidad de protección civil o con algún comité u organización comunitario de gestión del riesgo que maneje la prevención, mitigación, preparación y la respuesta?	0	1
2	¿Cuenta con un plan de emergencia?	0	1
3	¿Cuenta con un consejo municipal el cual debe de estar integrado por diferentes dependencias de gobierno* para saber que papel desempeñaría cada una en caso de emergencia?	0	1

En éste ejemplo sólo se tomaron en cuenta tres preguntas de las 15 que consta el cuestionario. Sin embargo la forma de llenado es la misma, a cada pregunta afirmativa se le asignará el valor de 0 y a cada pregunta negativa el valor de 1, al final se contabilizarán los puntos que se hayan obtenido de las respuestas y se cotejara el resultado con los rangos de la cédula de resultado final correspondiente a las capacidades de prevención y respuesta, y se obtendrá un resultado entre 1 y 0, el cual será el resultado final de ésta parte.

Cédula (percepción local)

Número	Pregunta	Valores			Total
		A	B	C	
		1	0	0.5	
1	¿ Dentro de los tipo de peligro que existen (ver cuadro) cuántos tipos de fuentes de peligro identifica en su localidad?	De 1 a 5	DE 6 A 13	Más de 13	0.50
		1.0	0.50	0.0	
2	Respecto a los peligros mencionados en la pregunta no. 1 recuerda o sabe si han habido emergencias o situaciones de desastre asociada a alguna de éstas amenazas en los últimos 30 años	Si	No	NO SÉ	0.5
		0	1	0.5	
3	¿Considera que su vivienda está localizada en un área susceptible de amenazas (que se encuentre en una ladera, en una zona sísmica, en una zona inundable, etc.)?	Si	NO	No sé	1
		0	1	0.5	
4	En caso que recuerde algún desastre, los daños que se presentaron en su comunidad fueron:	Ninguna fatalidad. Daños sólo en vivienda e infraestructura	Pocas personas fallecidas, daños en infraestructura y vivienda	Muchas personas fallecidas, daños en muchas vivienda y en infraestructura	0.5
		0.25	0.5	1	

En la percepción local, la tabla se llenará como se muestra en la anterior. En este caso sólo se eligieron 4 preguntas, sin embargo el mismo procedimiento se hará de la misma manera para las 17 preguntas. Suponiendo que como resultado se haya obtenido un total de 2.5 se procederá a

buscar el valor en la cedula de resultado final (en este caso en el rango de 0 a 4) del cuestionario como se muestra a continuación:

Resultado final del cuestionario

Rangos	Percepción Local	Valor asignado según condición de vulnerabilidad	Calificación
De 0 a 4	Muy Alta	0	0
De 4.01 a 7.25	Alta	0.25	
De 7.26 a 10.50	Media	0.5	
De 10.51 a 13.75	Baja	0.75	
13.76 ó más	Muy Baja	1	

Una vez ubicado el rango que en este caso se sitúa de 0 a 4 se le asignará el valor correspondiente según la condición de Vulnerabilidad, en este caso el 0 indica una percepción local muy alta lo que disminuirá el grado de vulnerabilidad.

LISTA DE PUBLICACIONES RELACIONADAS CON LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y RIESGOS

CENAPRED (2001). “Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México”, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México D.F.

Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres:
www.eird.org/esp/varios/folletocomunidades/mapascomunidades.htm

Garza Gustavo coordinador, Atlas demográfico de México, CONAPO – Programa de Educación, Salud y Alimentación (PROGRESA), México, 1999.

Hernández García C., Hernández Ortega J. A., Contreras Cruz J. C. “Distancias de seguridad a ductos de transporte de hidrocarburos” Memorias Técnicas del 7º Congreso y Expo Internacional de Ductos. Puebla, México, 2003

INEGI “Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENANID) 1997”. Edición Junio 2002. Documento disponible en www.inegi.gob.mx

INEGI, “México Hoy”. Edición 2003. Documento disponible en www.inegi.gob.mx

INEGI, “Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa” Edición 2003. Documento disponible en www.inegi.gob.mx

INEGI, “Estadísticas Demográficas y Socioeconómicas de México”.

INEGI, Estados Unidos Mexicanos. “XII Censo General de Población y Vivienda” 2000. Documento disponible en www.inegi.gob.mx

Instituto de Ingeniería, UNAM-CENAPRED (2003) “Guía Metodológica para el Análisis del Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo y Pérdidas Causadas por Desastres Naturales o Antropogénicos y su Reducción y Prevención” (Documento preliminar).

Instituto Nacional de la Salud Pública, “Atlas de la Salud” 2003. Disponible en www.insp.mx

Macías J.L., Carrasco-Núñez G., Delgado-Granados H., Martín Del Pozzo A.L., Siebe C., Hobblit R.P., Sheridan M.F., Tilling R.I. (1995) Mapa de peligros del volcán Popocatepetl. Instituto de Geofísica, UNAM.

Martín Del Pozzo A.L., Sheridan M.F., Barrera D., Lugo-Hubp J., Vázquez L. (1995) Mapa de peligros del volcán de Colima. Instituto de Geofísica, UNAM.

Mendoza, M. J., Domínguez, L., Noriega, I. y Guevara, E., Monitoreo de laderas con fines de evaluación y alertamiento, Informe Técnico del CENAPRED, 78 pp. México, 2002.

Navarro C., Cortés A. (2003) Mapa de peligros del volcán de Fuego de Colima. Observatorio Vulcanológico, Universidad de Colima.

PSM “Mapas de peligro sísmico en México”, Programa elaborado por el Instituto de Ingeniería, UNAM; CENAPRED, CFE y el IIE. México D.F., 1996.

Ordaz M. (Mayo 1996), “Algunos Conceptos del Análisis de Riesgos”. Revista Prevención. CENAPRED, número 14, p.p. 6-11.

Rivera Balboa R. D. “Metodologías para la evaluación del riesgo en el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos” Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, 2002.

Secretaría de Gobernación, Dirección General de Protección Civil, “Atlas Nacional de Riesgos”, noviembre de 1993.

Secretaría de Gobernación, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, “Primer listado de actividades altamente riesgosas” Diario Oficial de la Federación, 28 de marzo de 1990.

Secretaría de Gobernación, Subsecretaría de Protección Civil y de Prevención y Readaptación Social (1991), “Guía técnica para la preparación de mapas de ubicación geográfica de riesgos”, Estados Unidos Mexicanos, (69 pp.)

Secretaría de Gobernación. Guía Cartográfica para el levantamiento de Riesgos a nivel Municipal. (1998).

Secretaría de Gobernación, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, “Segundo listado de actividades altamente riesgosas” Diario Oficial de la Federación, 4 de mayo de 1992.

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.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes “NOM-002-SCT-2003 Listado de sustancias y materiales más usualmente transportados” Disponible en la dirección electrónica <http://www.economia-noms.gob.mx>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes “NOM-004-SCT-2000 Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos” Disponible en la dirección electrónica <http://www.economia-noms.gob.mx>

Secretaría de Desarrollo Social, Consejo de Recursos Minerales (2004), “Guía Metodológica para la Elaboración de Atlas de Peligros Naturales a Nivel de Ciudad, Identificación y Zonificación”, Habitat, México, (101 pp.).

Secretaría de Desarrollo Social, Consejo de Recursos Minerales (2004), “Guía Metodológica para la Elaboración de Atlas de Peligros Naturales a Nivel de Ciudad, Identificación y Zonificación”, Habitat, México, (101 pp.).

Secretaría de Desarrollo Social. 2000 “El sistema urbano nacional y sus áreas de influencia funcional, en México, 2020: Un enfoque territorial de desarrollo; vertiente urbana, síntesis ejecutiva, México, Colegio de Arquitectos de la Ciudad de México, A.C., Sociedad de Arquitectos Mexicanos e Instituto de Investigaciones Económicas”, UNAM, México.

Secretaría de Trabajo y Previsión Social “NOM-018-STPS-2000 Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas” Disponible en la dirección electrónica <http://www.economia-noms.gob.mx>

Secretaría de Trabajo y Previsión Social “NOM-026-STPS-1998 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías” Disponible en la dirección electrónica <http://www.economia-noms.gob.mx>

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales “NOM-052-ECOL-1993 Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente” Disponible en la dirección electrónica <http://www.economia-noms.gob.mx>

Sheridan M.F., Carrasco-Núñez G., Hubbard B.E., Siebe C., Rodríguez-Elizarrarás S. (2001) Mapa de peligros del volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba). Institutos de Geología, Geofísica y Geografía, UNAM.

***Se agradece la participación del C. Adelaido Martínez Huitrón por su
participación en la corrección de estilo de esta obra.***



Secretaría de Gobernación
Centro Nacional de Prevención de Desastres
Dirección General de Protección Civil

Av. Delfín Madrigal No. 665,
Col. Pedregal de Sto. Domingo,
Del. Coyoacán
México D.F., C.P. 04360

www.cenapred.unam.mx