

**ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS  
(IDENTIFICACIÓN Y ZONIFICACIÓN)  
CIUDAD DE MEXICALI,  
BAJA CALIFORNIA, MÉXICO**

Este programa es de carácter público, no es patrocinado ni promovido por partido político alguno y sus recursos provienen de los impuestos que pagan todos los contribuyentes. Esta prohibido usarlo con fines políticos, electorales, de lucro y otros distintos a los establecidos. Quien haga uso indebido de los recursos de este Programa deberá ser denunciado y sancionado de acuerdo con la ley aplicable y ante la autoridad competente

**Contenido**

Presentación.....	4
1. Introducción.....	6
Antecedentes.....	7
Objetivos.....	11
Alcance.....	11
Conceptos Generales.....	11
Metodología .....	16
Localización y características físicas.....	18
2. Vulnerabilidad social .....	26
Vulnerabilidad socioeconómica .....	27
Capacidad de prevención y respuesta local .....	28
Percepción local del riesgo .....	30
3. Peligros geológicos .....	34
3.1. Geología .....	35
3.2. Tectonismo y sismicidad .....	39
3.3. Peligro por fallas geológicas .....	43
3.4. Peligro por sismos .....	48
3.5. Peligro por vulcanismo .....	60
3.6. Peligro por tsunamis .....	64
3.7. Peligro por procesos de inestabilidad de laderas .....	66
3.8. Medidas de mitigación .....	75
4. Peligros hidrometeorológicos .....	86
4.1. Clima e hidrografía .....	87
4.2. Peligro por tormentas y ondas tropicales .....	90
4.3. Peligro por ciclones tropicales .....	91
4.4. Peligro por lluvias .....	97
4.5. Peligro por lluvias extraordinarias .....	100
4.6. Inundaciones .....	101
4.7. Masas de aire y sistemas frontales .....	116
4.8. Peligro por granizadas.....	117
4.9. Peligro por heladas, nevadas y niebla .....	118
4.10. Temperaturas extremas .....	122
4.11. Vientos .....	134
4.12. Sequías .....	139

4.13. Medidas de mitigación .....	141
5. Peligros químicos .....	149
5.1. Caracterización del riesgo químico .....	153
5.2. Inventario y clasificación de actividades peligrosas urbanas .....	154
5.3. Instalaciones industriales .....	156
5.4. Distribución y comercialización de sustancias peligrosas .....	174
5.4.1. Estaciones de servicio y de carburación .....	174
5.4.2. Tuberías o ductos .....	180
5.4.3. Transporte de sustancias peligrosas .....	185
5.4.3.1. Transporte en vialidades .....	186
5.4.3.2. Transporte en ferrocarril .....	187
5.5. Medidas de mitigación .....	199
Glosario.....	208
Referencias bibliográficas.....	217
Anexos .....	222

## PRESENTACIÓN

La acelerada expansión de las ciudades hacia zonas cuya aptitud del suelo es considerada inadecuada para los asentamientos humanos, tiende a incrementar la exposición de las viviendas a fenómenos geológicos, hidrológicos, químicos, entre otros. Si se agrega a lo anterior, que las condiciones de las familias de escasos recursos asentadas en áreas carentes de infraestructura, servicios y en viviendas inseguras, son de alta vulnerabilidad, entonces la combinación de ambos factores incrementa potencialmente las posibilidades de que ocurra un desastre (SEDESOL-COREMI; 2004a).

Con base en los objetivos del *Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006* en materia de prevención de desastres, la *Secretaría de Desarrollo Social* en el marco del *Programa Hábitat* ha decidido fortalecer las acciones que contribuyan a reducir la vulnerabilidad de la población ante la presencia de ciertos peligros, con especial énfasis en aquellas que permitan identificar zonas de alto riesgo para la población de las localidades -en particular en los barrios y colonias urbano marginadas— frente a una eventual situación de desastre (SEDESOL-COREMI, 2004a).

Con la finalidad de trascender de una cultura reactiva a una cultura preventiva, se presenta el **Atlas de Riesgos para la ciudad de Mexicali, Baja California, México (Identificación y Zonificación)**, que tiene como objetivo proporcionar a las autoridades locales información relevante sobre las zonas de mayor impacto por peligros geológicos, hidrometeorológicos y químicos identificados en la ciudad.

La información contenida en el presente Atlas de Riesgos será clave para actuar en el plano preventivo, en el fundamento de estrategias de autoprotección orientadas a reducir los costos económicos y sociales, que pudieran ocurrir a consecuencia de un desastre. Aunque no es el objetivo central de este atlas, la información puede también servir para orientar estrategias de atención de emergencias.

La ubicación de las zonas de mayor impacto y el nivel de peligro identificado en la ciudad de Mexicali constituyen los primeros pasos para la consolidación de un sistema de protección civil y del proceso de gestión de riesgos en esta importante ciudad de la frontera norte de México. Con ello se avanza hacia uno de los objetivos sustanciales de SEDESOL: *“propiciar el mejoramiento de las condiciones de vida de quienes residen en las comunidades marginadas de las ciudades y zonas metropolitanas del país”*.

El presente estudio ha sido desarrollado con el apoyo financiero del programa Hábitat canalizado a través de la Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio y de los gobiernos del estado de Baja California y del municipio de Mexicali.

**Equipo de trabajo**

M. A. Judith Ley García  
*Coordinadora General*

Dr. Rafael O. García Cueto  
Dra. Guadalupe Ortega Villa  
Dr. Francisco Raúl Venegas Cardoso  
M. C. Fabiola Maribel Denegri de Dios

L. I. Brenda Lozano Rivera  
L.S.C. Guadalupe Valadez López  
L.S.C. Mónica Judith Ochoa García

Estudiantes de Licenciatura  
Oscar Gabriel Castillo Guzmán  
Stivaly Ibarra Henry

# 1. INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

En las últimas décadas, los fenómenos naturales en México han dejado daños con un costo promedio anual de 100 vidas humanas y cerca de 700 millones de dólares (CENAPRED, 2001). De igual forma los fenómenos químicos han tenido graves consecuencias, tal es el caso de eventos como la explosión de gas L. P. en San Juánico en 1984 con más de 500 muertos, o la explosión por hidrocarburos en el alcantarillado de una zona céntrica de Guadalajara en 1992, con más de 200 muertos, 1500 lesionados y 6000 evacuados (CENAPRED, 2001:167). Es por ello que el tema de la prevención de desastres ha tomado relevancia, reconociendo que es indispensable establecer estrategias y programas de largo alcance enfocados a prevenir y reducir sus efectos y no sólo a prestar atención a las emergencias y consecuencias (CENAPRED, 2001).

Los sismos, huracanes, vientos intensos, son fenómenos naturales que forman parte del proceso de balance de energía en el planeta y que se expresan como características propias de los lugares donde ocurren (Ley *et al.*, 2006). Por su parte, los fenómenos químicos están relacionados con las actividades productivas del lugar, ya sea comerciales, industriales, de servicios, las cuales requieren de la producción, el uso, el transporte y la disposición de diversas sustancias peligrosas que pueden -en ciertas circunstancias -llegar a provocar un desastre (CENAPRED, 2001).

Los desastres son producto de la interacción de dos fuerzas opuestas: el peligro y las condiciones inseguras en que se encuentra una población (vulnerabilidad). Los peligros como procesos naturales y/o químicos, y las condiciones inseguras como formas específicas en las que se expresa en tiempo y espacio la vulnerabilidad de la población en relación al peligro (Blaikie *et al.*, 1994:22). Por tanto, en el estudio de riesgo de desastres es tan importante la exposición de la población por la ocupación de suelo no apto como la progresión de la vulnerabilidad a través del empobrecimiento y marginación urbana y social.

### **Políticas Públicas para la Prevención de Desastres en México.**

México es considerado como uno de los países con mayor propensión a la manifestación de peligros de origen natural, esto debido a que presenta una elevada actividad sísmica y volcánica y por su ubicación geográfica esta expuesto a las trayectorias normales de los huracanes tanto en el Océano Pacífico como en el Atlántico (SEDESOL-COREMI 2004a).

Aunado a lo anterior, se han incrementado los niveles de riesgo por la combinación con peligros de origen antropogénico, asociados con la transformación del medio natural y la conformación de asentamientos sobre terrenos de poca aptitud (SEDESOL-COREMI 2004a).

Como consecuencia del alto grado de incidencia de los fenómenos naturales, en el país cada año ocurren un importante número de desastres de distinta magnitud y con niveles de pérdida y daños diferenciados. Pese a ello, hasta el momento, la mayoría de las estrategias instrumentadas han omitido el énfasis que se debe asignar a las acciones de prevención y mitigación así como a la evaluación de la vulnerabilidad de la población, enfocándose básicamente a perfilar acciones reactivas ante una situación de desastre (SEDESOL-COREMI 2004a).

En este sentido, se han iniciado esfuerzos para cambiar esta visión, por su parte, el Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 establece como estrategia central en materia de protección civil el transitar de un sistema reactivo a uno preventivo, con la corresponsabilidad y participación de los tres órdenes de gobierno, población y sectores social y privado (SEDESOL-COREMI 2004a).

Dentro de los instrumentos normativos de política en materia de prevención de desastres, la Ley General de Protección Civil (2000) establece los lineamientos básicos del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) cuyas disposiciones, medidas y acciones están destinadas a la prevención, auxilio y recuperación de la población ante la eventualidad de un desastre<sup>1</sup> (SEDESOL-COREMI 2004a).

En correspondencia a lo anterior, el Programa Nacional de Protección Civil 2001-2006 pretende imprimir una orientación preventiva al SINAPROC a partir de articular congruentemente las políticas y acciones de las dependencias, entidades, organismos y sectores que lo conforman; promover la implantación de mecanismos para detectar, pronosticar e informar con oportunidad a la ciudadanía sobre la ocurrencia de fenómenos que amenacen su seguridad e integridad, así como generar una conciencia de autoprotección por parte de la población expuesta a los efectos de un fenómeno perturbador (SEDESOL-COREMI 2004a).

La estrategia del Programa Especial de Prevención y Mitigación del Riesgo de Desastres 2001-2006 (PEPyM) se fundamenta en la realización de 60 estudios y proyectos de carácter multidisciplinario, con un alcance multi-institucional, enfocados a diagnosticar los peligros y riesgos a los que está sujeto nuestro país, a reducir la vulnerabilidad frente a los principales fenómenos naturales o inducidos por el hombre, así como a fortalecer una cultura de autoprotección.

---

<sup>1</sup> A partir del desastre ocasionado por el sismo de 1985 en la ciudad de México, se crea en 1986 el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) destinado a la prevención, auxilio y recuperación de la población ante la eventualidad de un desastre, que posteriormente fue fundamentado con la elaboración de la Ley General de Protección Civil que establece las bases de coordinación entre los distintos órdenes de gobierno (Federación, Entidades Federativas y Municipios) en la materia.

### **Antecedentes de la SEDESOL en materia de Prevención de Desastres**

Durante el periodo 1976-1982, se creó en la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP) la Dirección General de Prevención y Atención de Emergencias Urbanas, encargada de desarrollar el tema en los planes de desarrollo urbano, elaborando el Plan Nacional de Prevención y Atención de Emergencias Urbanas en 1981 (SEDESOL-COREMI 2004a).

Posteriormente en el Programa Nacional de Desarrollo Urbano 1990-1994 se incorporó un anexo en el que se establecen propuestas para reducir los riesgos a los que pueden estar sujetos los centros de población. A partir de la explosión en la ciudad de Guadalajara en 1992, se introduce el tema de prevención de desastres a través de la regulación del uso del suelo, con el propósito de que las localidades contempladas en el Programa de 100 Ciudades incorporen en forma amplia el tema de prevención de desastres a los planes de desarrollo urbano (SEDESOL-COREMI 2004a).

En 1993, la Secretaría de Desarrollo Social, con la promulgación de la Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH) promueve, mediante el Artículo 3º de dicha Ley, que con “el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y el desarrollo urbano de los centros de población, tenderán a mejorar el nivel y calidad de vida de la población urbana y rural, mediante la vinculación del desarrollo regional y urbano con el bienestar social de la población; la adecuada interrelación socioeconómica de los centros de población; el desarrollo sustentable de las regiones del país; el fomento de centros de población estratégicos; la descongestión de las zonas metropolitanas; la coordinación y concertación de la inversión pública y privada; la prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanos en los centros de población, así como la participación social en los asentamientos humanos, entre otros aspectos” (SEDESOL-COREMI 2004a).

En el Programa Nacional de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio (PNDUyOT) 2001–2006 se contemplan las acciones dirigidas a mejorar los sistemas de prevención-alarma; la elaboración de planes de contingencias y organización de la sociedad para su aplicación: el desarrollo de estudios territoriales y urbanos de riesgo, la elaboración y aplicación de planes y reglamentos de control y uso del suelo; el estudio, planeación, proyecto, gestión y ejecución de obras de infraestructura para protección y control ante fenómenos que originan desastres. A partir del año 2003, con el Programa Hábitat, la SEDESOL propone, además de contribuir a superar la pobreza urbana y mejorar el hábitat popular, hacer de las ciudades y sus barrios espacios ordenados, seguros y habitables, mediante acciones orientadas a reducir la vulnerabilidad de los hogares y mejorar la infraestructura frente a peligros de origen natural. Es a través de la Modalidad de Ordenamiento del Territorio y Mejoramiento Ambiental que a partir del 2004, se pretende fortalecer los esfuerzos de prevención de desastres en las zonas urbano-marginadas mediante el impulso

de a) la elaboración de Estrategias para la prevención de desastres, que incluyen atlas de riesgos naturales a nivel ciudad y estudios y mapas de riesgo; b) la elaboración de propuestas para ordenar el uso del suelo con fines de prevención; c) acciones de educación y sensibilización para la prevención de desastre; d) la realización de obras de mitigación que contribuyan a reducir la vulnerabilidad de los asentamientos humanos frente a amenazas de origen natural; e) la reubicación de familias asentadas en zonas de riesgo no mitigable; y f) apoyos a viviendas en situación de emergencia mediante el aprovisionamiento de enseres domésticos básicos(SEDESOL-COREMI 2004a).

### **Antecedentes de los Atlas en México**

Desde su creación, el Sistema Nacional de Protección Civil estableció como una de sus prioridades, el conocimiento y análisis de las condiciones generadoras de riesgo en el territorio nacional, como el medio más accesible para planear y organizar las estrategias y acciones encaminadas a la seguridad de la población.

Los antecedentes de los Atlas en México se remontan a 1991, cuando la Secretaría de Gobernación publicó una primer 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 (CENAPRED, 2004:16). En estos Atlas se identifican los fenómenos que ocurren en el territorio nacional, denominados “agentes destructivos” clasificados según su tipo en geológicos, hidrometeorológicos, químico-tecnológicos, sanitario-ecológicos y socio-organizativos. Como resultado de este esfuerzo, las regiones que integran el territorio nacional fueron clasificadas de acuerdo a la intensidad y frecuencia principalmente de los fenómenos naturales.

El SINAPROC dio origen a sistemas estatales y municipales de protección civil, y con ello, a la realización de atlas de riesgos estatales y municipales. De tal forma que para el estado de Baja California se elabora el primer “Atlas Estatal de Riesgos del estado de Baja California” en 1992 y recientemente en el 2005 se elabora el “*Atlas de Riesgos: Agentes perturbadores de origen geológico e hidrometeorológico*” (2005), el cual consiste en un conjunto de mapas de los peligros naturales del estado. A nivel municipal se cuenta con el “Atlas Municipal de Riesgos”(2002). En los últimos años, varias entidades federativas han elaborado sus respectivos atlas y otras se encuentran desarrollándolos (CENAPRED, 2004:16)

El presente **Atlas de Riesgos Naturales y Químicos (identificación y zonificación)** para la ciudad de Mexicali, Baja California, México, retoma el esfuerzo de los atlas existentes, pero incorpora el análisis de otros peligros y de la vulnerabilidad, y los traduce a la escala intraurbana, misma que resulta más conveniente para el establecimiento de medidas de prevención y mitigación.

## OBJETIVOS

El propósito principal del presente atlas de riesgo es la integración de información disponible de peligros geológicos, hidrometeorológicos y químicos y la vulnerabilidad a los mismos en la zona urbana de Mexicali, para proponer medidas que permitan su reducción. Ello a través de:

- Identificar espacialmente los peligros geológicos, hidrometeorológicos y químicos que amenazan la zona urbana de Mexicali
- Identificar las zonas de la ciudad más impactadas por los peligros identificados
- Identificar la población expuesta y su capacidad de resistencia y recuperación ante los peligros identificados (vulnerabilidad)
- Identificar las medidas de mitigación y disminución del riesgo

## ALCANCE

El atlas de riesgo se centra de manera exclusiva en el estudio de los procesos geológicos, hidrometeorológicos y químicos, que se presentan en la zona urbana de Mexicali por lo que otros peligros importantes, como los sanitarios y socio-organizativos deberán ser abordados en posteriores estudios para complementar el conocimiento integral del riesgo para la ciudad de Mexicali.

Es importante señalar, que a lo largo del desarrollo del presente trabajo se presentó como limitante principal, la no disponibilidad de información adecuada. Esto ocurrió en parte por la escala que demanda el presente estudio (intraurbana) cuando la mayoría de los peligros son medidos y reportados a una escala más general, y en segundo lugar, por el tipo de información que se requiere para el análisis de algunos riesgos, como el químico, para el cual no existe un registro sistemático de datos relevantes sobre materiales peligrosos, su distribución y movilidad espacial.

## CONCEPTOS GENERALES

En esta sección se explican los conceptos relacionados de peligro, riesgo, desastres, vulnerabilidad, prevención y mitigación, de acuerdo a la *Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos* (CENAPRED, 2004a).

El tema del riesgo dentro de la prevención de desastres ha sido abordado por diversas disciplinas mismas que han conceptualizado sus componentes de manera diferente. Un punto de partida es que los riesgos están estrechamente ligados a las actividades humanas. La existencia de un riesgo implica la presencia de un *agente perturbador* (fenómeno natural o generado por el hombre) que tiene la posibilidad de ocasionar *daños* a un *sistema afectable* (asentamientos humanos, infraestructura, planta productiva, etc.) en un grado

tal, que constituye un *desastre*. Así, un movimiento de terreno provocado por un sismo no constituye un riesgo por sí mismo, si se produjese en una zona deshabitada, pues no afectaría a ningún asentamiento humano y por tanto, no se produciría un desastre. Es decir, para que exista un riesgo, debe haber una probabilidad de que ocurran daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes y esto es mediante la exposición de los mismos a los agentes perturbadores (CENAPRED, 2004a:19).

Una de las definiciones más aceptadas del riesgo es que este es producto de la combinación de tres factores: la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino (peligro), la vulnerabilidad y el valor de los bienes expuestos (CENAPRED, 2004a:20). A continuación se analiza brevemente cada uno de estos conceptos.

El *peligro* se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad (peligrosidad), durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado (CENAPRED, 2004a:20).

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 o peligro, es decir la capacidad de resistencia. 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 está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, así como el grado de preparación de la comunidad expuesta. 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 menos vulnerable que otra en la que sus construcciones no están preparadas para resistir dicho fenómeno. En otro aspecto, una población informada, que cuenta con una organización y preparación para responder de manera adecuada ante la inminencia de una erupción volcánica o a 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 (CENAPRED, 2004a:20).

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 en estos términos. En ocasiones pueden emplearse valores como porcentajes de determinados tipos de construcción o inclusive el número de personas que son susceptibles a ser afectadas (CENAPRED, 2004a:20).

El grado de exposición es un parámetro que varía con el tiempo, el cual está íntimamente ligado al desarrollo de los asentamientos humanos. 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 nivel del peligro. La exposición puede disminuir con el alertamiento anticipado de la ocurrencia de un fenómeno, ya sea a través de una evacuación o mejor aún, evitando el asentamiento en el sitio peligroso (CENAPRED, 2004a:20).

Para reducir el impacto de los fenómenos naturales o antropogénicos, es importante implementar estrategias efectivas de *prevención, atención a emergencias, recuperación y reconstrucción*. Para ello es necesario tomar acciones en cada una de las siguientes etapas:

*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 encuentro desafortunado del peligro (agente perturbador) con la vulnerabilidad (propensión a ser afectado) por medio de 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 posibles desastres antes de que éstos ocurran. Incluye la implementación de medidas estructurales y no estructurales para la reducción de la vulnerabilidad o la peligrosidad de un fenómeno: planeación del uso de suelo, reducción de la pobreza urbana, acceso a vivienda y servicios de calidad, aplicación de códigos de construcción, implementación de 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), entre muchos otros.

*Atención de emergencias:* se refiere a las 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, e incluye 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 la posibilidad de 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.

### **Análisis y evaluación de peligros naturales y antropogénicos**

Una de las fases esenciales en el desarrollo de un atlas de riesgos es, *analizar e identificar* los diferentes peligros y riesgos que amenazan en este caso, a una ciudad, así como, *evaluar* sus áreas de incidencia y sus principales efectos (SEDESOL-COREMI, 2004a).

La identificación e interpretación de los peligros y riesgos en una ciudad debe ser resultado del trabajo de especialistas en cada uno de los temas que conforman el atlas. El producto de este análisis debe ser la base para representar cada temática en mapas específicos de identificación de riesgo en las respectivas zonas urbanas (SEDESOL-COREMI, 2004a).

A su vez, la identificación y evaluación de peligros y riesgos en una zona urbana permitirá proponer modelos de zonificación que son el soporte para la toma de decisiones, principalmente, en aquellas regiones donde los riesgos identificados son mitigables y por tanto, se requiere proponer medidas u obras de prevención o mitigación, por ejemplo, obras de infraestructura, proyectos de crecimiento urbano, cambios de uso de suelo, entre otros (SEDESOL-COREMI, 2004a).

Asociado a lo anterior, la localización y representación cartográfica de estos peligros permitirá a las autoridades correspondientes, disponer de información valiosa, útil para la toma de decisiones en la protección de la ciudadanía y en la Ordenación Territorial, Asimismo, este tipo de trabajos debe motivar el cambio de una visión reactiva a una preventiva en la protección civil (SEDESOL-COREMI, 2004a).

El uso de sistemas computacionales y el manejo de sistemas de información geográfica representan un apoyo fundamental para la identificación, el análisis y evaluación de los peligros y riesgos de la ciudad (SEDESOL-COREMI, 2004a).

### **Zonificación de peligros naturales y antropogénicos**

A partir del análisis e identificación de los peligros naturales y antropogénicos, es factible definir o delimitar áreas de mayor o menor incidencia. El procedimiento general consiste en integrar un tema de peligro del que se tiene una variable discreta o atributo específico y luego regionalizar dicha variable en una zona o

región denominada zonificación de riesgo. La zonificación es sobrepuesta digital o analógicamente con la traza urbana (SEDESOL-COREMI, 2004a).

El propósito de la zonificación es apoyar el diseño de los programas de desarrollo urbano y los programas y estrategias de prevención de desastres y mitigación de riesgos. La identificación y zonificación de peligros naturales y antropogénicos en un atlas de riesgos, pretende ser la base para la delimitación de las zonas de riesgo mitigable y no mitigable, partiendo de considerar el riesgo como mitigable cuando su reducción o minimización aparece como un proceso factible o alcanzable, a través de la ejecución de medidas de prevención definidas según sea el caso; en tanto que las áreas de riesgo no mitigable representan espacios donde el asentamiento humano no debe permitirse, ya que cualquier medida de mitigación es físicamente inadmisibles o financieramente inviable (SEDESOL-COREMI, 2004a).

Los riesgos son mitigables cuando se conocen las características de los peligros naturales y antropogénicos y de cómo éstos llegan a afectar en una zona urbana bajo un riesgo potencial. Para llegar a la identificación de zonas de riesgos mitigables y no mitigables es necesario integrar información temática y específica en un medio que permita su análisis, su consulta rápida, que proporcione las bases, tener argumentos sólidos para proponer acciones como son las propuestas de obras de ingeniería, arquitectura, programas de apoyo económico, social, planes y programas de apoyo a la vivienda (SEDESOL-COREMI, 2004a).

En cuanto a las zonas de riesgo no mitigables, se debe tener la propuesta de acciones en donde no se debe permitir el crecimiento urbano en el futuro, proponer los cambios de uso de suelo y proponer acciones como reforestación, obras de remediación, entre otras. También es importante que en la definición de la zonificación se considere la estadística histórica de los eventos y los efectos de desastre que se han generado con la finalidad de tener un argumento más de análisis en la definición de zonas de riesgo mitigable y no mitigable.

En resumen, la zonificación es un procedimiento de análisis de todos los temas de riesgo con respecto al grado de afectación al nivel de la traza urbana y la definición de zonas en donde los riesgos son mitigables, y con ello proponer obras y acciones para contribuir a la mitigación de desastres (SEDESOL-COREMI, 2004a).

### **Análisis y evaluación de la vulnerabilidad**

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 (CENAPRED, 2004a). Por ello, en la realización de atlas de riesgos, además de identificar y evaluar los peligros de la

ciudad es importante evaluar la vulnerabilidad de la población expuesta a los diferentes peligros identificados (SEDESOL-COREMI, 2004a).

De acuerdo a CENAPRED (2004a) la vulnerabilidad a un peligro, consta de dos elementos principales: el índice de vulnerabilidad física que considera las características de la vivienda que permiten resistir a los eventos; y el índice de vulnerabilidad social que expresa las condiciones socioeconómicas de la población, la capacidad de prevención y respuesta de las unidades de protección civil y la percepción local del riesgo (CENAPRED, 2004a).

El conocer la vulnerabilidad social es parte medular para evaluar la magnitud y el impacto de futuros eventos naturales o antropogénicos, 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 una zona (CENAPRED, 2004a).

Asimismo, la zonificación de la vulnerabilidad permite identificar zonas de la ciudad que pueden ser más afectadas por determinado peligro natural o antropogénico.

## METODOLOGÍA

Este estudio se basa fundamentalmente en la “Guía Metodológica para la Elaboración de Atlas de Peligros Naturales al nivel de ciudad (identificación y zonificación)” propuesta por SEDESOL (SEDESOL-COREMI, 2004a) que propone las bases para integrar, manipular, administrar y modelar la información recabada sobre los peligros geológicos e hidrometeorológicos identificados en la ciudad. Se tomó como referencia la “Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos” (CENAPRED, 2004a) para la evaluación de la vulnerabilidad y la determinación del índice de riesgo físico de algunos peligros que contaban con la información requerida. Finalmente, para el análisis de los peligros químicos se utilizó la metodología propuesta en el “*Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries*” (IAEA, 1996) y en la “Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos” (CENAPRED, 2004a).

En el proceso de elaboración del atlas de riesgo para la ciudad de Mexicali se llevaron a cabo actividades de recopilación bibliográfica, cartográfica y hemerográfica; la información fue analizada con el propósito de seleccionar los datos que permitirían caracterizar los peligros geológicos, hidrometeorológicos y químicos que amenazan a la ciudad, tomando en cuenta la ocurrencia de los eventos que han sido cuantificados, cualificados y referidos en el tiempo y en el espacio con base en su impacto en los habitantes. Con el apoyo y asesoría de un grupo interdisciplinario de especialistas, y a partir del cruce de información de temas diversos, se identificaron y delimitaron las áreas de mayor o menor

exposición a tales peligros (alta, mediana y baja peligrosidad); en algunos casos, donde los datos lo permitieron se evaluó la vulnerabilidad de la población y el índice de riesgo. Por último, se obtuvieron las medidas preventivas sugeridas para disminuir la peligrosidad o la vulnerabilidad de las distintas zonas que integran la ciudad de Mexicali.

La información obtenida se expresó en cartografía de peligros y zonificación integrados en un Sistema de Información Geográfica (SIG) que facilita su despliegue y la consulta rápida y sencilla. El arreglo ordenado de la información de los mapas y sus atributos definen una base de datos que permite la interrelación de variables, y la aplicación de operaciones matemáticas y estadísticas.

Producto de este proyecto se obtienen:

- Un estudio denominado Atlas de Riesgos para la ciudad de Mexicali, Baja California, México (Identificación y Zonificación)
- Un Sistema de Información Geográfica Digital
- Un compendio de mapas

## LOCALIZACIÓN

La ciudad de Mexicali, capital del estado de Baja California, se encuentra enclavada en un amplio valle del mismo nombre y se localiza en las coordenadas 32.6633 latitud norte y 115.4680 longitud oeste, limita al norte con los Estados Unidos de América y en su periferia con áreas agrícolas de riego del valle de Mexicali.

Figura 1 Localización de la ciudad de Mexicali



Elaboración Propia

## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

### Geología

El origen de la formación de la península de Baja California tal como se conoce actualmente se remonta a la era Mesozoica hace aproximadamente 135 millones de años, con el inicio de una intensa actividad de un sistema de fallas conocido hoy en día como Falla San Andrés y fallas concurrentes Elsinore y San Jacinto (Venegas en Sánchez, 2004:29).

La actividad en estas fallas provocó la caída de un inmenso bloque para formar lo que se conoce como Depresión de Saltón (o Salton Trough) (Gastil *et al.*, 1975; Singer, 1998). Después de este suceso se inicia un fuerte proceso de

erosión en las partes altas de la sierra de San Bernardino que fue rellenando la Depresión de Saltón con sedimentos de gravas y arenas. Autores como Muffler y Doe (1968) y Singer (1998) señalan que este proceso de transporte y sedimentación se mantuvo alrededor de 70 millones de años y que en la actualidad esas gravas y arenas se han consolidado parcialmente en areniscas y conglomerados.

Puente y de la Peña (1978) confirman que el valle de Mexicali también es parte de esta depresión al describir una columna estratigráfica a la altura de Cerro Prieto de los diferentes eventos de sedimentación y sus posibles edades, las cuales van desde el Mesozoico hasta el Reciente, y de 2 mil a 2500 metros de profundidad. De acuerdo a Lira (2005) la cuenca de Saltón, abarca desde el Salton Sea en la porción sur del estado de California, Estados Unidos, hasta el Golfo de California.

Se calcula que hace aproximadamente cinco millones de años en el Mioceno, el sistema de fallas de San Andrés se volvió a activar dando como resultado la formación del Protogolfo de California y el desprendimiento del macizo continental de la parte correspondiente a la actual península de Baja California (Gastil *et al.* 1975). Hoy en día, la separación de la península continua a un promedio de 4.9 cm al año (Sarychikhina, 2003; Cruz-Castillo, 2002).

Diversos estudios realizados en el valle de Mexicali señalan que las aguas marinas del antiguo protogolfo llegaban hasta el límite norte del ahora conocido Salton Sea. Además, se ha documentado que después de iniciarse el proceso de separación de la península y la expansión del actual Golfo de California, el río Colorado comenzó el proceso de conducción y descarga de sedimentos, permitiendo así la nivelación de la Depresión de Saltón y la conformación paulatina del Delta del Colorado.

Durante el Pleistoceno se presentaron cuatro períodos glaciares y sus respectivos períodos interglaciares (Derruau, 1970) en esos largos espacios de tiempo, el río Colorado presentó una gran dinámica, desde enormes avenidas que conducían importantes cantidades de carga de sedimentos, provocando la formación de bancos o bordos que hacían que la corriente divergiera o cambiará su cauce formando cuerpos de agua. En ocasiones estos cuerpos de agua eran alimentados constantemente por el mismo río, sin embargo, en otras épocas se interrumpía su flujo y estos cuerpos de agua se empezaban a desecar por evaporación y falta de suministro de agua dulce. Un ejemplo de esto es el Lago Cahuilla, según Singer (1998) este cuerpo de agua fue posiblemente uno de los más grandes lagos dulces en el pasado que podría haber llegado a tener una superficie de 3320 Km<sup>2</sup>, ocupando parte del valle de Mexicali.

En síntesis, la ciudad de Mexicali se encuentra enclavada en un amplio valle de origen tectónico formado por sedimentos producto del material depositado por el Río Colorado y los abanicos aluviales de la Sierra Cucapah, compuestos por

gravas, arenas y arcillas que alcanzan una profundidad de hasta 2500 metros. Estos sedimentos descansan sobre un paquete arcilloso representado por lutitas grises con intercalaciones de areniscas, lutitas cafés del Terciario y lodolitas, con un espesor promedio de 2700 m, que subyacen sobre el basamento, el cual esta compuesto por granitos del Cretácico (Lira, 2005).

### **Fisiografía**

La ciudad y valle de Mexicali pertenecen a la subunidad fisiográfica del Bajo Delta del Colorado la cual a su vez es parte de la Gran Provincia Fisiográfica del Desierto Sonorense (Shreve y Wiggins, 1964)

Esta subunidad se caracteriza por presentar una superficie casi plana, lo que manifiesta su carácter de zona de inundación, con altitudes de poco más de 40 metros en la desembocadura del río Colorado hacia el valle, y después de ahí disminuye progresivamente hasta alcanzar el abanico aluvial de la sierra Cucapah, la cual tiene una dirección N= -SE y altitud de 1080 msnm. Al norte de la sierra Cucapah se localiza el cerro El Centinela con 760 msnm.

En la porción NE se localizan las dunas llamadas Mesa de Andrade, que en su mayoría pertenecen a los Estados Unidos. Estas dunas son de origen eólico, con altitudes máximas de alrededor de 100 msnm. Hacia el NO, esta subunidad va descendiendo hasta llegar a cero msnm casi en el extremo NO de la ciudad de Mexicali, prácticamente en el límite internacional con los Estados Unidos; de ahí hacia al Norte la altitud va cayendo debajo de los cero metros hasta llegar a un desnivel de 87 metros abajo del nivel del mar en, para formar el Salton Sea, mostrando la profundidad de la Depresión de Saltón.

Hacia el sur esta subunidad se conecta con el Golfo de California o Mar de Cortés, el cual ejerce una influencia importante en la zona por la gran actividad de los procesos litorales, presentando en ocasiones un oleaje que puede alcanzar entre tres y siete metros.

En la porción oeste casi pegado a la sierra Cucapah, existe una estructura o aparato volcánico llamado Cerro Prieto que sobresale del paisaje casi plano, con una altitud de 220 msnm; es un volcán pleistocénico. En la actualidad esta inactivo y alrededor de él se establece el mayor campo geotérmico de producción de energía eléctrica en México.

Del mismo modo, a escala urbana la ciudad de Mexicali se caracteriza por presentar una superficie prácticamente plana en donde el cauce del río Nuevo representa la discontinuidad orográfica más sobresaliente. La cota cero se localiza hacia el poniente de la ciudad, próxima a la margen poniente del río Nuevo, en tanto que la cota 10 metros sobre el nivel del mar corre al oriente, a la altura del poblado compuertas. En general, se presenta una pendiente menor del

1% a través del cual drenan los escurrimientos pluviales en dirección al río Nuevo, que a su vez escurre hacia el norte.

Las elevaciones mencionadas anteriormente se encuentran localizadas con respecto a la ciudad de la manera siguiente: al oeste el cerro “El Centinela” con 760 msnm, al suroeste la sierra Cucapah con 1080 msnm, y al sur el volcán Cerro Prieto con 220 msnm (INEGI, 1983).

### **Hidrografía**

De acuerdo a la clasificación del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la ciudad de Mexicali se localiza en la región hidrológica número 7, subregión 1 Río Colorado.

El río Colorado nace en los Estados Unidos y desemboca en el Golfo de California, se trata de una cuenca de carácter internacional. La parte que México administra inicia en la presa Morelos la cual fue construida sobre el cauce del río Colorado en los linderos del límite internacional con los Estados Unidos, precisamente en el punto en que coinciden los estados de Arizona y California (EUA) con Baja California (México) (CNA, 1995). El río Colorado es la principal corriente de la entidad y representa tanto para el valle de Mexicali como para el resto del estado la principal fuente del recurso agua.

La configuración plana del delta del río Colorado, dio como consecuencia que éste tuviera una serie de derivaciones como el río Hardy, el río Álamo y el río Nuevo.

El río Nuevo, inicialmente partía de la laguna Volcano, localizada cerca del volcán Cerro Prieto, al sureste de la ciudad. Con la habilitación del valle de Mexicali a principios del siglo XX, el río Nuevo se constituyó en el elemento pluvial más importante del sistema de drenes de esta región.

Actualmente, las aguas del río Colorado captadas por la presa Morelos son dirigidas tanto al valle como a la ciudad de Mexicali para su uso respectivo, a través de una extensa red de canales. Por su parte, las descargas residuales resultado del aprovechamiento agrícola de las aguas del río Colorado son conducidas a través de una serie de drenes que atraviesan la ciudad hasta ser depositadas en el río Nuevo, el cual recorre la ciudad de sureste a noroeste recibiendo los aportes de aguas agrícolas, industriales y descargas domésticas finalizando su recorrido en el Mar de Salton en Estados Unidos.

Recientemente, con el proyecto “Río Nuevo” una sección aproximadamente de 6 kilómetros del río Nuevo fue embovedada, el resto del cauce alcanza una longitud de 8 kilómetros y se desprende a cielo abierto en una sección variable que incluye las lagunas Xochimilco y México.

Como escurrimientos superficiales alimentadores destacan: el canal alimentador del Norte, el canal el Álamo y el canal Principal del Oeste y como drenes de aguas residuales (sanitarias o agrícolas) el dren Tula y el dren Mexicali.

Con respecto a las aguas subterráneas, el acuífero del valle de Mexicali se localiza en el Distrito de Desarrollo Rural 002 que corresponde al Distrito de Riego 014, presenta una recarga media anual de 700 Mm<sup>3</sup> y una extracción de 735 Mm<sup>3</sup>. De acuerdo a los estudios efectuados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos en 1979, se aprecia que el flujo subterráneo entra al valle de Mexicali por la zona noroeste proveniente de los valles Imperial y Yuma de Estados Unidos, desplazándose una parte hacia el norte y otra hacia el Golfo de California. La recarga principal proviene del Río Colorado y del canal Todo Americano (CNA, 1995; PDUCP 1993).

### **Suelos**

Como se mencionó anteriormente el río Colorado a través de procesos de erosión, transporte y acumulación de sedimentos en millones de años ha conformado lo que conocemos hoy en día como Bajo Delta del Colorado. Son estos sedimentos principalmente los de más reciente edad los que han conformado los suelos de origen aluvial que caracterizan la región. De manera general, los suelos del Bajo Delta del Colorado son de textura media a fina; es decir, los diferentes estratos son en su mayoría capas de arcillas y limos intercaladas con arenas finas. Debido a estas características, los suelos son profundos, pesados, susceptibles de ensalitramiento, con alta capacidad de saturación y mal drenaje.

En la ciudad de Mexicali encontramos varios tipos de suelos siendo el *vertisol crómico de textura fina Vc-3* el suelo predominante, acompañado por áreas en menor proporción de regosoles con las siguientes clasificaciones: éutrico con textura gruesa re-1 (dunas), crómico con fluvisol calcárico de textura mediana Rc+Jc-2 y con fluvisol calcárico de textura gruesa Rc+Jc-1, caracterizados por su alta concentración de limos, que se pueden ubicar a lo largo del cauce del río Nuevo. Todos estos con la fase salina sódica a menos de 125 cm. de profundidad. En algunas zonas como las inmediaciones del volcán Cerro Prieto se puede encontrar suelo Solonchack Ortico combinado con gleyco de textura fina Zo+Zg-3 (PDUCP 1993-1997).

### **Carreteras y vías férreas**

La ciudad de Mexicali se conecta al resto del estado y del país través de la carretera federal número 2. Esta carretera tiene una orientación casi paralela a la frontera con Estados Unidos uniendo la ciudad de Mexicali con las ciudades de Tecate y Tijuana. Esta vía es de suma importancia pues permite la comunicación del estado de Baja California con la capital del país al entroncar en Santa Ana, Sonora con la carretera federal no. 15.

La ciudad de Mexicali también cuenta con otra carretera federal la número 5 que va de Mexicali a San Felipe con un recorrido de 196 km y una orientación general de norte a sur. Esta carretera es la única vía de comunicación terrestre de penetración al Mar de Cortés.

Son importantes también las siguientes vialidades: la carretera Mexicali-Islas Agrarias-Algodones; carretera Islas Agrarias-Colonia Abasolo; carretera Puebla-Cerro Prieto-Ejido Nuevo León y carretera Santa Isabel-Col. Progreso. Destaca la carretera Mexicali-Islas Agrarias-Algodones de 73 km. al comunicar la zona noreste del valle y la ciudad de Mexicali con el estado de Arizona (PDUCP-2025).

La traza vial de la ciudad de Mexicali se define como una gran retícula plana e irregular por estar seccionada por algunas limitaciones físicas como el río Nuevo y la vía de ferrocarril, así como por la marcada discontinuidad del crecimiento urbano en las distintas etapas de su crecimiento(PDUCP 1993-1997).

Dentro de las vialidades urbanas principales se encuentran el Bulevar Lázaro Cárdenas que conecta las carreteras de San Luis Río Colorado y Tijuana, además de permitir internamente en la ciudad el tránsito de las zonas sureste y suroeste de la ciudad; el Bulevar López Mateos que comunica desde la garita del centro hasta la salida a las carreteras que van a San Luis Río Colorado y San Felipe; la Calzada Justo Sierra que permite el tráfico de la línea internacional hacia el sur conectándose con el Bulevar Benito Juárez y el Bulevar Francisco L. Montejano; la Calzada Independencia que cruza de oriente a poniente la ciudad en su parte media.

En la actualidad la ciudad cuenta con dos puertos o garitas fronterizas para el cruce transfronterizo de vehículos, personas y camiones de carga Estados Unidos-México. Una ubicada en el centro histórico y la otra en el este de la ciudad, sólo en este último puerto se realiza el cruce de camiones de carga. Como un dato de la importancia de la conexión con Estados Unidos, podemos señalar que en el 2004 los puertos fronterizos de la ciudad presentaron aproximadamente 20 millones de cruces vehiculares, 16 millones de cruces peatonales y 240 mil cruces con camiones de carga (PDUCP, 2025).

Con respecto a las vías férreas, la ciudad de Mexicali se conecta con el resto del país a través de la línea que va a Benjamín Hill, Sonora y hacia Estados Unidos de Norteamérica cruzando por el centro de la ciudad hasta la línea internacional.

## ACTIVIDAD ECONÓMICA Y CRECIMIENTO URBANO

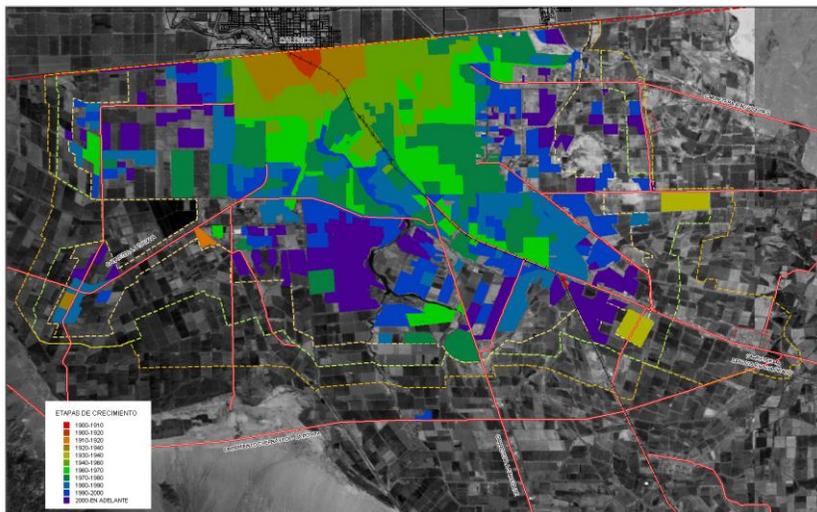
A pesar de ser una ciudad joven con poco más de 100 años de fundación (1903), Mexicali es una ciudad que ha experimentado vertiginosos cambios en su economía, población y expansión urbana.

La ciudad de Mexicali emerge con la explotación agrícola del valle del mismo nombre, por la empresa estadounidense *Colorado River Land Company*, dedicada al monocultivo del algodón. En 1910 el entonces poblado de Mexicali contaba con menos de 500 habitantes, dedicados a esta actividad (PDUCP 1993-2007).

Años más tarde, algunos factores como: el aumento internacional en la demanda de algodón; la aprobación de la Ley Seca en Estados Unidos; la repatriación de trabajadores mexicanos al finalizar el programa bracero, entre otros; fomentaron la ampliación de áreas de cultivo en el valle de Mexicali, la proliferación de cantinas y bares en el poblado y la inmigración de una cantidad importante de personas de diversas partes del país y del mundo (PDUCP 1993-2007).

Para los años treinta el cultivo del algodón había crecido de manera importante en la región e incluso funcionaban un par de despepitadoras. Como complemento de la actividad agrícola, habían surgido un par de industrias cerveceras y de alimentos constituyendo los indicios de la actividad industrial en la ciudad de Mexicali.

Figura 2 Crecimiento urbano de la ciudad de Mexicali 1900-2000



Elaboración propia a partir de Álvarez de la Torre, 2006; Programas de Desarrollo Urbano de Centro de Población y Esquemas de Desarrollo Urbano (varias fechas)

De los años cuarentas a los sesenta se presentó una intensificación de los flujos migratorios de diversas partes del país hacia Mexicali, originado principalmente por el reparto de tierra agrícola (1937), la demanda de mano de obra por la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) y el fin del segundo programa bracero (1954) reflejándose en una acelerada expansión urbana (ver figura 2).

A mediados de los años sesenta era ya visible el agotamiento del modelo primario monoexportador, pues las condiciones de mercado del algodón en el exterior resultaban sumamente desfavorables. Al mismo tiempo, la preocupación por las consecuencias sociales en el norte del país que traería la suspensión del Programa Bracero en Estados Unidos, dieron lugar a la implementación del Programa de Industrialización Fronteriza (1965) con lo que inició la instalación de las primeras industrias maquiladoras en la ciudad.

A partir de esto, la estructura urbana de la ciudad cambiaría y su carácter primordialmente agrícola se transformaría a uno de mayor diversidad e intensidad de la producción industrial, sobre todo después de las crisis económicas de los años ochentas, cuando la inmigración se intensificó provocando una expansión acelerada.

Es de esperarse que esta tendencia de expansión urbana continúe en los años venideros, como resultado de transformaciones en la dinámica de corredores e infraestructura regionales ligada al desarrollo urbano-regional y la incorporación de iniciativas de grandes proyectos productivos fuera del espacio urbano, así como la propia dinámica de las localidades próximas a la ciudad que culminan por fusionarse con ésta última (PDUCP, 2025:76).

## **2. VULNERABILIDAD SOCIAL**

Para la realización de estudios de riesgo es necesario abarcar dos grandes campos: el peligro y la vulnerabilidad. 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 antropogénicos (CENAPRED, 2004a:329).

La vulnerabilidad a un peligro, de acuerdo a la metodología CENAPRED consta de dos elementos principales: el índice de vulnerabilidad física (IVF) que considera las características de la vivienda que permiten resistir a los eventos; y el índice de vulnerabilidad social (IM) que expresa las condiciones socioeconómicas de la población, la capacidad de prevención y respuesta de las unidades de protección civil y la percepción local del riesgo. En este apartado se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de la vulnerabilidad social para la ciudad de Mexicali<sup>2</sup>.

### ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL (IM)

CENAPRED (2004a:340) considera como vulnerabilidad social 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 prevención y respuesta de la misma frente a un fenómeno y la percepción local del riesgo de la misma población”. Siguiendo esta lógica, el cálculo del índice de vulnerabilidad social (IM) a partir de la metodología de CENAPRED (ver Anexo I), incluye tres principales elementos: la vulnerabilidad socioeconómica de la población, la capacidad de prevención y respuesta de los organismos encargados de la protección civil, y la percepción social del riesgo.

### Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)

La vulnerabilidad socioeconómica se calculó con información de la muestra censal a partir de 18 indicadores sobre los temas de salud, educación, vivienda, empleo e ingreso y población, resultando en promedio para la ciudad de Mexicali una vulnerabilidad socioeconómica muy baja (ver tabla 1).

**Tabla 1** Nivel de vulnerabilidad por indicador socioeconómico

CLAVE	INDICADORES	Vulnerabilidad
S1	Proporción de médicos por cada 1000 habitantes	MB
S2	Tasa de mortalidad infantil	MB
S3	Porcentaje de la población no derechohabiente	MB
E1	Porcentaje de analfabetismo	MB
E2	Porcentaje de demanda de educación básica	MB
E3	Grado promedio de escolaridad	B
V1	Porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada	MB
V2	Porcentaje de viviendas sin drenaje	MB

<sup>2</sup> El cálculo de la vulnerabilidad física para cada peligro se muestra en el apartado correspondiente a cada uno de ellos.

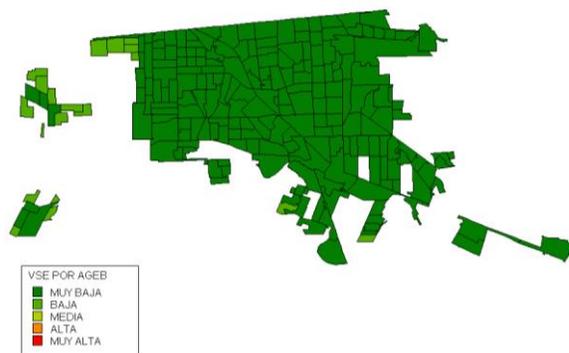
CLAVE	INDICADORES	Vulnerabilidad
V3	Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad	MB
V4	Porcentaje de viviendas con paredes de material de desecho y lámina de cartón	MB
V5	Porcentaje de viviendas con piso de tierra	MB
V6	Déficit de vivienda	MB
EI1	Porcentaje de población ocupada que recibe menos de dos salarios mínimos*	MB
EI2	Razón de dependencia	MB
EI3	Tasa de desempleo abierto	MB
P1	Densidad de población	A
P2	Porcentaje de la población de habla indígena	MB
P3	Dispersión poblacional	MB

A partir de la información censal por AGEB se calculó la vulnerabilidad socioeconómica en la ciudad, resultando que el 95% de la superficie de urbana presenta una vulnerabilidad socioeconómica muy baja, la superficie restante, integrada por algunas colonias periféricas, presenta vulnerabilidad socioeconómica baja.

### Capacidad de prevención y respuesta local (VCPR)

Mexicali cuenta con una Unidad Municipal de Protección Civil (UMPROC) que nació en el seno del Heroico cuerpo de Bomberos como Departamento de Protección Civil<sup>3</sup> y desde hace algunos años trabaja de manera independiente en sus funciones. El municipio cuenta con un reglamento que precisa la acción de la UMPROC, este fue publicado el 3 de diciembre del 2004<sup>4</sup>.

Figura 3 Vulnerabilidad socioeconómica por AGEB



Elaboración propia

<sup>3</sup> Reglamento de seguridad civil y prevención de incendios para el municipio de Mexicali, Baja California . Publicado en el Periódico Oficial No. 34, de fecha 10 de Agosto de 2001.

<sup>4</sup> Reglamento de protección civil de Mexicali, Baja California. Publicado en el Periódico Oficial No. 53, diciembre del 2004.

Para conocer la vulnerabilidad por incapacidad de prevención y respuesta se aplicó el cuestionario que sugiere CENAPRED (ver Anexo I) y se obtuvo que la ciudad de Mexicali cuenta con una capacidad alta de prevención y respuesta, lo que significa una vulnerabilidad baja en este rubro (VCPR=0.25).

El municipio cuenta con un Consejo Municipal de Protección Civil, organismo donde participan representantes de diversas dependencias municipales y miembros de la sociedad civil, e interactúan principalmente a través del Comité de Planeación y Desarrollo del Municipio de Mexicali (COPLADEMM).

Con respecto a la atención de emergencias químicas la ciudad de Mexicali cuenta con 9 estaciones de bomberos, con personal capacitado y equipo contra incendios, también cuenta con equipo especializado para enfrentar emergencias químicas denominado HAZMAT.

Debido a que Mexicali es una ciudad fronteriza, la UMPROC se coordina con autoridades locales y estadounidenses para la planeación y atención de emergencias, especialmente en materia de capacitación.

El cuestionario propuesto por CENAPRED, proporciona información relevante para identificar los principales elementos de acción y coordinación de la UMPROC, sin embargo, explora de manera superficial los temas, por lo que es recomendable diseñar cuestionarios más completos por tipo de peligro o por riesgo y con un enfoque cualitativo.

El resultado de Mexicali (capacidad alta) resulta relativo una vez que se profundiza en los componentes de esta capacidad. Por ejemplo, cuando se revisan de manera más específica los programas, planes, equipo, material y redes de coordinación con que la UMPROC cuenta para cada tipo de evento. Por ejemplo, aunque existe una UMPROC, esta se integra por sólo 6 miembros, lo que significa que el municipio de Mexicali dispone de menos de un elemento por cada 100,000 habitantes. Sólo dos de ellos están capacitados para ser instructores e impartir cursos a la comunidad, por lo que aunque la unidad desempeña funciones preventivas su impacto en la comunidad es muy bajo.

Por otro lado, aunque la UMPROC cuenta con planes de emergencia y croquis de peligros, mismos que actualiza constantemente, éstos no se encuentran integrados en un Sistema de Información Geográfica o en medios informáticos tales que faciliten su manejo, consulta y actualización, por ello tienden a ser descriptivos y generales y no geográficamente precisos.

La capacidad de prevención y respuesta de la UMPROC depende en gran parte del presupuesto que le es asignado anualmente y que desafortunadamente ha sido insuficiente para permitirle contar con el personal, equipo y vehículos necesarios para llevar a cabo sus funciones a plenitud.

Esto significa que la simple existencia de la UMPROC y de los planes y programas no garantizan una plena capacidad de prevención y respuesta, por lo que resulta fundamental realizar una evaluación más profunda sobre el tema para identificar las líneas de acción y mejora que permitirán disminuir significativamente la vulnerabilidad local.

### Percepción local del riesgo (VPLR)

La percepción del riesgo por parte de la población es un tema importante en materia de prevención de desastres, pues una comunidad informada, que identifica y conoce los peligros y riesgos de su entorno tiene mayores posibilidades de asumir una actitud preventiva y de tener una respuesta más adecuada durante y después de la emergencia.

Por la importancia del tema, y aunque la metodología propuesta por SEDESOL no incluye el análisis de la vulnerabilidad social, en el presente estudio incluimos el tema de la percepción local del riesgo, utilizando la información sobre percepción del riesgo de la encuesta aplicada por el proyecto *“Pobreza y niveles de Bienestar en Mexicali”* (UABC-SEDESOL, 2006) a una muestra aleatoria de 450 manzanas.

Cabe aclarar que para la medición de la percepción local del riesgo, CENAPRED ha desarrollado una metodología que consiste en un cuestionario de 17 preguntas, el cual debe ser aplicado a una muestra aleatoria del 5% de la población (ver Anexo I).

Con el propósito de conocer cuáles peligros identifica en el entorno inmediato (colonia o barrio) en que vive, así como cuáles de ellos han afectado directamente a su hogar, en la encuesta anteriormente señalada se incluyeron 2 preguntas acerca de la percepción local del riesgo de los siguientes fenómenos:

**Tabla 2** Tipos de Fenómenos incluidos en la encuesta

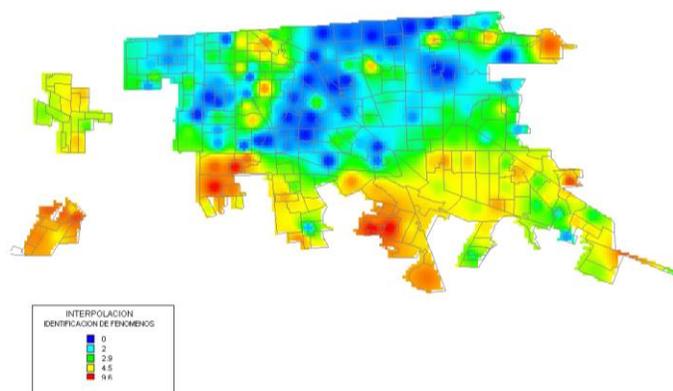
FENÓMENOS			
HIDROMETEOROLÓGICO	GEOLÓGICO	QUIMICO	SANITARIO
Inundaciones	Maremotos	Explosiones	Contaminación del agua
Vientos	Sismos	Fugas de sustancias químicas	Contaminación del aire
Granizadas	Derrumbes o deslizamientos	Incendios	Contaminación del suelo
Heladas	Hundimientos	Radiación	Epidemias
Calor intenso			Plagas
Sequía			Polvo en el aire

Los habitantes de la ciudad de Mexicali identificaron en promedio tres de los anteriores fenómenos como amenazas a su entorno (percepción baja) y al menos uno de ellos ha afectado directamente a su hogar (percepción alta). Por

lo que, para el cálculo del grado de vulnerabilidad social (GVS) se asignó a la VPLR un valor intermedio (0.50).

Para efectos del presente análisis y siguiendo la lógica de la metodología CENAPRED, una percepción baja significa que los habitantes no identifican los peligros del entorno y por lo tanto no están preparados o informados para enfrentarlos adecuadamente, por ello este nivel de percepción se traduce en una vulnerabilidad alta. En cambio, una percepción alta significa que los habitantes identifican o conocen los peligros del entorno y por lo tanto, es más probable que se encuentren preparados para enfrentarlos, por lo que se traduce en una vulnerabilidad baja.

**Figura 4** Interpolación del número de peligros identificados por la población



Elaboración propia a partir de los proyectos: “*Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali*” (UABC-2006) y “*Pobreza y niveles de Bienestar en Mexicali*” (UABC-SEDESOE, 2006)

La percepción local del riesgo a partir de la identificación de los fenómenos del lugar, se concentra en la parte sur de la ciudad (ver figura 4) esto significa que los habitantes de la zona sur de Mexicali identifican más peligros que el resto. La distribución y frecuencia varía de acuerdo al fenómeno en cuestión, siendo el calor intenso y el polvo en el aire los peligros más visibles para la población, sobre todo en los fraccionamientos de la periferia.

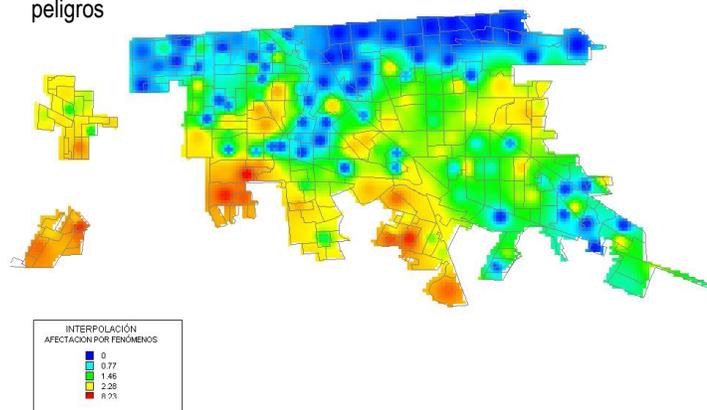
Las pérdidas o daños por fenómenos se da principalmente en la zona sur de la ciudad (ver figura 5) presentando un comportamiento similar a la figura 4 anterior de identificación de peligros. La similitud entre ambos temas nos sugiere que los peligros se hacen visibles a la comunidad a través de la experiencia o vivencia directa de los mismos.

En su distribución espacial la zona sur de la ciudad ha sufrido con más frecuencia pérdidas por razón de estos fenómenos, y aunque esto varía de

acuerdo al fenómeno en cuestión, el polvo en el aire y el calor intenso son los que han ocasionado con más frecuencia pérdidas o daños en los hogares.

Por lo que podemos entender dos situaciones: la visibilidad de aquellos peligros de impacto constante (hidrometeorológicos y sanitarios) y la invisibilidad de riesgos en estado latente (químicos y geológicos), por lo que la vulnerabilidad relacionada con la percepción se incrementa en éstos últimos.

**Figura 5** Interpolación del número de afectaciones a la población por peligros



Elaboración propia a partir de los proyectos: "Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali" (UABC-2006) y "Pobreza y niveles de Bienestar en Mexicali" (UABC-SEDESOC, 2006).

Para obtener un panorama más completo, es necesario estudiar la percepción de la población asentada en las zonas de alto riesgo dentro de la ciudad. Será conveniente aplicar la encuesta que sugiere CENAPRED de manera constante para el monitoreo del estado de la percepción social del riesgo. Para ello es recomendable incluir preguntas más específicas de los riesgos en Mexicali y aplicarlo en la población considerando su distribución espacial por nivel de exposición y vulnerabilidad.

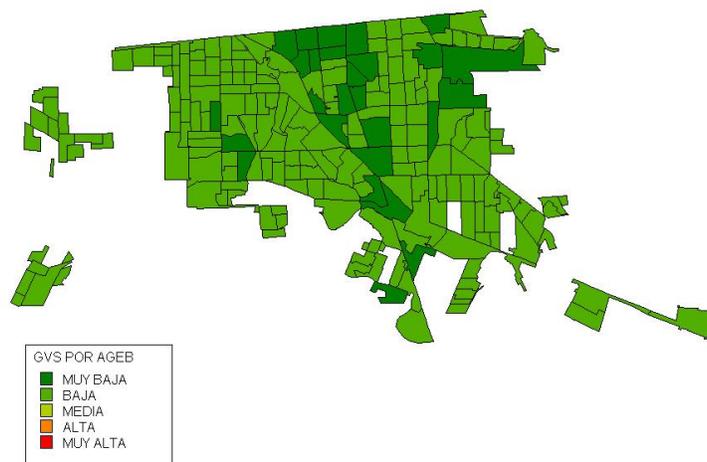
El cálculo del índice de vulnerabilidad social (IVS) a partir de los temas de vulnerabilidad socioeconómica, capacidad de prevención y respuesta local y percepción local del riesgo a escala urbana, mostró que la ciudad de Mexicali tiene un grado de vulnerabilidad social muy baja.

**Tabla 3** Índices de vulnerabilidad social

IM	GVS	Grado de vulnerabilidad social ante desastres
1	De 0 a 0.20	Muy bajo (MB)
2	De 0.21 a 0.40	Bajo (B)
3	De 0.41 a 0.60	Moderado (M)
4	De 0.61 a 0.80	Alto (A)
5	Más de 0.80	Muy alto (MA)

El cálculo del IM o el grado de vulnerabilidad social (GVS) por AGEB mostró la distribución espacial de la vulnerabilidad predominando el nivel 2 o vulnerabilidad baja con el 63% de la superficie urbana, y en segundo lugar el nivel 1 o vulnerabilidad muy baja con el 37% de la superficie urbana.

**Figura 6** Vulnerabilidad social por AGEB



Elaboración propia

Aun cuando el IM resultante muestra una vulnerabilidad muy baja para Mexicali, debemos entender que el índice puede resultar relativo para una ciudad donde el costo de vida es de los más altos del país. Por lo que será conveniente realizar los ajustes metodológicos necesarios para que el índice refleje la realidad local

Por lo pronto, para reducir la vulnerabilidad social, es necesario incrementar la capacidad de prevención y respuesta de la UMPROC, dotándole de los recursos e instrumentos que requiere. Mejorar y ampliar la comunicación del riesgo al punto tal que los habitantes identifiquen los peligros del entorno y las acciones de autoprotección a los mismos. Mejorar las condiciones de vida de la población especialmente en las zonas afectadas recurrentemente por agentes perturbadores.

## **3. PELIGROS GEOLÓGICOS**

Los peligros geológicos se originan por procesos naturales de tipo endógeno, aquellos que tienen lugar en el interior de la Tierra y que dan lugar a fenómenos como los sismos, los tsunamis y los volcanes, y los de tipo exógeno, que se presentan en la superficie terrestre debido a las acciones del aire, el sol, la lluvia y otros factores que contribuyen como el tipo de rocas y suelo, la vegetación, el relieve, la pendiente del terreno, entre otros (Lundgren, 1973 en SEDESOL-COREMI, 2004b:28).

Los peligros geológicos comprenden los temas de:

- Fracturas
- Erosión
- Volcanes
- Deslizamientos
- Flujos de lodo
- Fallas
- Sismos
- Hundimientos
- Derrumbes
- Tsunamis

### 3.1. GEOLOGÍA

La ciudad de Mexicali se encuentra enclavada en un extenso valle de origen tectónico formado principalmente por depósitos de material aluvial provenientes del río Colorado.

El valle de Mexicali, forma parte de la cuenca de Salton<sup>5</sup> (Gastil, . 1975 y Singer, 1998) la cual abarca desde el Mar de Salton, en los Estados Unidos hasta el Golfo de California. La Depresión de Salton forma parte del sistema de fallas de San Andrés, el cual es uno de los sistemas más activos del mundo (Lira, 1994).

La región del valle de Mexicali se encuentra en su mayor parte, saturada por varios tipos de depósitos cuaternarios, y en el resto sierras, lomeríos y algunas mesetas donde afloran diversos tipos de rocas. En cuanto a la geología estructural, las principales estructuras geológicas de esta región son las fallas y las fracturas del sistema de falla de San Andrés.

Con relación a la edafología, los diferentes estratos del suelo son en su mayoría capas de arcilla y limos, intercaladas con areniscas finas. Estos suelos son profundos, pesados, poseen mal drenaje, fertilidad alta, y son susceptibles al ensalitramiento; de acuerdo con la clasificación americana USDA-NRSA (1998) este tipo de suelo se clasifica como entisoles (Venegas en Sánchez, 2004:44).

A continuación se describe a mayor detalle el tipo de rocas características del valle de Mexicali, abordando dos secciones: la geología superficial y la geología del subsuelo.

---

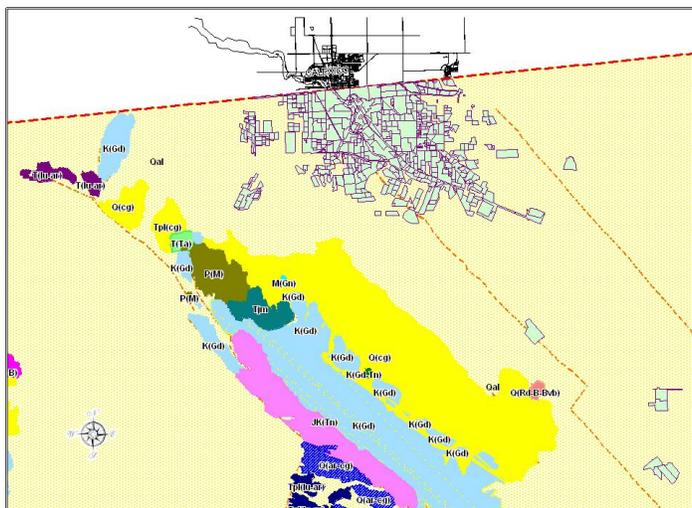
<sup>5</sup> También conocida como Salton Trough o Depresión del Salton

## Geología Superficial

De acuerdo a la información de Lira (2005)<sup>6</sup> la ciudad de Mexicali se encuentra ubicada en una cuenca tectónica con una profundidad aproximada de 5200 metros. Esta cuenca es originada por el escalonamiento en dirección noreste de las fallas Cucapá, Cerro Prieto y Michoacán junto con la falla imperial del lado oriental, es decir, se origina por el desplazamiento de las fallas que rodean el valle de Mexicali.

La capa superficial de la cuenca esta compuesta de sedimentos aluviales y deltaicos de edad reciente -plio-cuaternarios (Qal)- que fueron aportados principalmente por el Río Colorado (ver figura 7). Estos sedimentos están compuestos por conglomerados y depósitos no consolidados de arena, grava, arcilla, limo y cantos rodados que en conjunto alcanzan un espesor de 2500 metros (Lira, 2005).

Figura 7 Litología



Elaboración propia

También afloran en la superficie otro tipo de rocas de diferentes edades y que en orden de mayor a menor edad son:

- Rocas Prebatolíticas
- Rocas Batolíticas
- Rocas Posbatolíticas

<sup>6</sup> Este estudio esta dirigido a revisar la geología del campo geotérmico de Cerro Prieto pero ofrece información sobre el valle de Mexicali.

**Rocas Prebatolíticas**, se localizan al oeste del Campo Geotérmico Cerro Prieto (CGCP). Son metasedimentos, los más antiguos de la región de edad Pérmico-Jurásico compuestas por gneis cuarzofeldespáticos, esquistos de cuarzo-mica, mármoles, anfibolitas y cuarcitas.

**Rocas Batolíticas**, son rocas intrusivas que forman parte del Batolito Peninsular que es la estructura principal de toda la península de Baja California, y están representadas por tonalitas del Jurásico-Cretácico (Jkt), que se encuentran intrusionando a las rocas metamórficas paleozoicas, además de granitos y granodioritas del Cretácico Inferior (Kgd), los cuales afloran en su mayor parte en la Sierra Cucapá, al oeste del CGCP.

**Rocas Post-Batolíticas**, están representadas por dacitas y andesitas miocénicas (Tv) localizadas en la porción norte de la Sierra Cucapá. Se presentan en forma de domos riodacíticos (Qr) forman la estructura volcánica de Cerro Prieto, la cual consta de dos centros eruptivos que se superponen. Ambos domos están asociados a flujos e intrusiones riodacíticas con una edad de 110 mil a 10 mil años.

### **Geología del subsuelo**

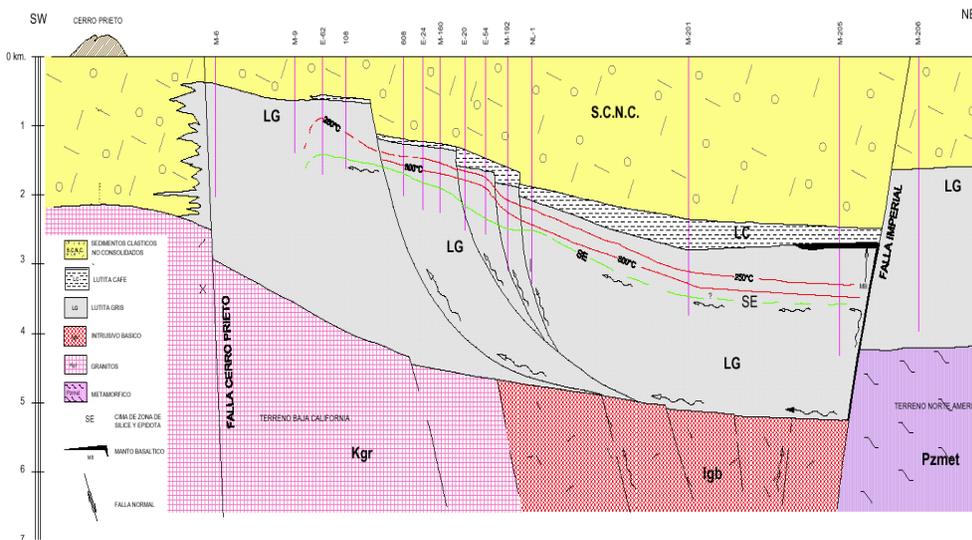
Con base en la información obtenida con la perforación de 321 pozos hasta el 2004, así como el análisis mineralógico, Lira (2005) define cinco unidades litológicas:

- el Basamento
- la Lutita Gris (LG)
- la Lutita Café (LC)
- las Lodolitas
- los sedimentos clásticos no consolidados (SCNC)

El Basamento esta compuesto por tres secciones. La primera sección, denominada por Lira (2005) Terreno Norteamericano esta compuesta por rocas metamórficas (Pzmet) que son las más antiguas de edad (Paleozoico-Mesozoico). La segunda sección denominada Terreno Baja California, representado por rocas graníticas del Cretácico (Kgr) y la última sección del basamento la formación denominada Intrusivo Máfico compuesta por roca intrusiva de composición básica de probable edad Terciario Superior-Plioceno (ver figura 8).

Sobre este basamento, se extiende una unidad de Lutita Gris formada a partir de sedimentos continentales que rellenaron la cuenca tectónica. La unidad está compuesta por lutitas y lutitas limolíticas que varían de color gris claro a negro, con intercalaciones de areniscas, que en conjunto dan un espesor promedio, para toda la unidad, de 3000 metros. Por su posición estratigráfica se le ha asignado una edad tentativa del Terciario, probablemente Mioceno Tardío.

Figura 8 Sección geológica



Tomado de Lira, 2005: 42

Otra unidad del subsuelo que descansa sobre la lutita gris, es una lutita café, la cual presenta intercalaciones de areniscas y arenas muy permeables de color crema, clasificadas de medianamente a bien, cementadas principalmente por carbonatos, con espesores variables propios de ambientes de alta energía. El espesor de esta unidad varía desde unos cuantos metros hasta 500 m.

Sobre las lutitas grises y café sobreyace una formación de Lodolitas. Su distribución es muy errática y se localizan principalmente en la porción centro oriental del campo geotérmico. Presentan un típico color café con intercalaciones ocasionales de arenas y gravas pobremente consolidadas.

Por último sobreyaciendo a las unidades anteriores, se localizan sedimentos clásticos no consolidados, los cuales están compuestos por arcillas, limos, arenas y escasas gravas, con espesores que varían desde los 400 m hasta los 2500 m de edad posible del Cuaternario no diferenciado.

Estos materiales no consolidados son lo que han formado el Delta del río Colorado, el cual en la actualidad incluye el Valle de Mexicali y prácticamente cubren casi todo el antiguo Delta.

Las características geológicas de un lugar son muy importantes para el análisis de los peligros geológicos, por ejemplo, la velocidad e impacto de las ondas sísmicas puede variar cuando se presentan cambios en el tipo de rocas por el cual se desplazan.

### 3.2. TECTONISMO Y SISMICIDAD

La corteza terrestre esta constituida por una serie de placas tectónicas que se desplazan entre sí, en promedio de 2 a 12 centímetros por año (CENAPRED, 2001b). Este movimiento relativo es la causa principal de la formación de montañas, valles, cadenas volcánicas, entre otros, y es un proceso conocido como tectonismo. Entre los limites de las placas y los continentales no hay coincidencia; una sola placa puede contener completa o parcialmente continentes y áreas oceánicas.

Los desplazamientos entre placas pueden ser de tres tipos: a) divergentes, donde las placas se están separando, b) convergentes donde una de las placas se introduce abajo de otra, o bien, dos placas chocan entre sí, c) de transformación o transcurrentes, donde dos placas se mueven entre sí lateralmente.

México se encuentra afectado por la movilidad de cinco placas tectónicas: la de Norteamérica, del Pacífico, Cocos, Rivera y del Caribe. En la figura 9 se muestra la configuración de estas placas; las flechas indican las direcciones y velocidades promedio de desplazamiento relativo entre ellas (CENAPRED, 2004a:63).

Figura 9 Placas tectónicas y velocidades relativas promedio



Tomado de SEDESOL-COREMI, 2004a:47

Por su parte, la península de Baja California, forma parte de la placa del Pacífico, la cual limita con la placa de Norteamérica. Los desplazamientos laterales de ambas placas (transcurrentes) ocasionan una lenta separación de la península de Baja California y una parte del sur de California con respecto al

continente en dirección noroeste de 4.9 cm/año (Sarychikhina, 2003; Cruz-Castillo, 2002). La frontera entre ambas placas esta determinada por la falla de San Andrés.

En las zonas donde hacen contacto las placas tectónicas, se generan fuerzas de fricción que impiden el desplazamiento de una respecto a la otra, con grandes esfuerzos en el material que las constituye. Si dichos esfuerzos sobrepasan la resistencia del material o se vencen las fuerzas friccionantes, ocurre una ruptura violenta y se libera de manera repentina de la energía acumulada. Desde el foco<sup>7</sup> (o hipocentro), ésta se irradia en forma de ondas sísmicas que, a través del medio sólido de la tierra, se propagan en todas direcciones (SEDESOL-COREMI, 2004a).

De este modo, se puede decir que un **sismo** (temblor o terremoto) es la liberación súbita de energía dentro del interior de la Tierra por un reajuste de ésta, mediante el movimiento relativo entre placas tectónicas.

Además de los sismos generados por la actividad entre placas tectónicas existen los sismos volcánicos, de colapso y los artificiales. Los sismos volcánicos son simultáneos a erupciones volcánicas; principalmente los ocasiona el fracturamiento de las rocas debido al movimiento del magma. Los sismos de colapso son generados por derrumbamiento de cavernas y minas, generalmente ocurren cerca de la superficie y se sienten en un área reducida. Los sismos artificiales son producidos por el hombre por medio de explosiones comunes y nucleares.

Para la medición de los sismos se toman en cuenta los valores de: profundidad, intensidad, magnitud y aceleración.

Por la *profundidad* a la que se originan, los sismos pueden ser superficiales (0 a 60 km), intermedios (61 a 300 km) o profundos (301 a 650 km). La profundidad focal tiene gran importancia en los efectos que produce el temblor. Los sismos de foco superficial actúan sobre áreas reducidas, pero sus efectos son considerables, pues las ondas sísmicas apenas se atenúan antes de llegar a la superficie. En cambio los de foco profundo afectan a zonas más extensas, pero la intensidad, en igualdad de magnitud, es menor, debido a que las ondas sísmicas llegan más debilitadas a la superficie (CICESE, 2006).

La *intensidad* se asigna en función de las afectaciones causadas en el ser humano, en sus construcciones y, en general, en el terreno natural. Actualmente se utiliza la escala de intensidad de Mercalli modificada (ver tabla 4) (CENAPRED, 2004).

---

<sup>7</sup> Punto de origen del sismo, en el interior de la tierra.

La *aceleración* debida a la gravedad cuyo valor es  $981 \text{ cm/seg}^2$  y se representa como 1.0 g, es usada como una medida de unidad comparativa (Abbott, 1999, CENAPRED, 2004a). Se obtiene, a través de valores de aceleración del terreno producto de los acelerógrafos<sup>8</sup> (CENAPRED,2001b). Para el caso de México, se ha observado que aquellas aceleraciones que rebasan el 15% del valor de la aceleración de la gravedad (g) producen daños y efectos de consideración, sobre todo por los tipos constructivos que predominan (CENAPRED, 2004a).

La *magnitud* de un sismo es el valor relacionado con la cantidad de energía liberada. Dicho valor no depende como la intensidad, de la presencia de habitantes 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 se utilizan otras como la de ondas superficiales (Ms) o de momento sísmico (Mw) (CENAPRED, 2001b:34).

Es conveniente hacer una distinción entre magnitud e intensidad, pues la magnitud es una medida del tamaño del fenómeno, de la energía que libera, mientras la intensidad es una medida de la fuerza con que se manifiesta el fenómeno en un lugar específico, fuerza que esta vinculada a las condiciones de los asentamientos humanos que afecta.

La distancia entre el epicentro de un temblor y el punto de observación se denomina como la *distancia epicentral*. Para sismos cercanos a la estación de registro la distancia se mide en kilómetros. Para epicentros muy lejanos la distancia se mide en grados. De acuerdo a la distancia, los temblores se clasifican como temblores locales (hasta 100 km), temblores regionales (hasta 1000 km), o telesismos (más de 1000 km).

En términos de riesgo urbano la medición de un sismo está más asociada a la intensidad del fenómeno que a su magnitud, o sea, a los efectos que el fenómeno puede producir en ciertas circunstancias más que a las características básicas del mismo y por ello el estado que guarda la ciudad es sumamente importante las condiciones que guarda la ciudad para resistir o no eventos de magnitud intermedia (CENAPRED, 2004a).

En la siguiente tabla se presenta una comparación entre los valores de magnitud, intensidad y aceleración.

---

<sup>8</sup> 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 ( $981 \text{ cm/s}^2$ ) (CENAPRED, 2004).

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

Tabla 4. Comparación de Magnitud, Intensidad y Aceleración

Magnitud Richter	Intensidad Mercalli	Aceleración	
		cm/seg <sup>2</sup>	(% g)
2 y menos	I-II No sentido o sentido sólo por muy pocas personas en posición de descanso, especialmente en los pisos altos de los edificios. Objetos suspendidos pueden oscilar delicadamente.	Menor que 0.98 -1.86	Menor que 0.1- 0.19
3	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. Duración apreciable.	1.96 - 4.81	0.2- 0.49
4	IV-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.	4.91 - 18.64	0.5- 1.9
5	VI-VII 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.	19.62 - 97.12	2- 9.9
6	VII-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.	98.10 - 195.22	10- 19.9
7	IX-X 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. Algunos edificios bien construidos 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.	196.20 - 980.02	20- 99.9
8 y más	XI-XII 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. Destrucción total. Se ven ondas sobre la superficie del suelo. Líneas de mira (visuales) y de nivel, deformadas. Objetos lanzados al aire.	Más de 981	Más de 100= más de 1 g

Elaboración propia a partir de Abbott (1999:75) y CENAPRED (2004a)

### 3.3. PELIGRO POR FALLAS GEOLÓGICAS

Como se mencionó en la sección anterior, el movimiento de placas tectónicas puede generar fuerzas de fricción que impiden el desplazamiento de una respecto a la otra, provocando esfuerzos en el material o roca que la constituye hasta romperla. Cuando la roca se rompe, se dice que *falla*; esta ruptura (*fallamiento*) es súbita y ocurre a lo largo de planos llamados *planos de falla* o, simplemente, *fallas*.

Generalmente, la ruptura comienza en un punto y de allí se *propaga*, esto es, se extiende a puntos cercanos y de allí a otros hasta romper todo el plano de falla; este proceso se lleva a cabo en cuestión de fracciones de segundo en el caso de sismos pequeños y puede durar minutos enteros cuando se trata de sismos grandes.

De esta manera, se define como falla a un plano de discontinuidad de una masa rocosa o material poco consolidado en donde se observa, un movimiento relativo entre los bloques resultantes. Dependiendo de su movimiento, las fallas son pasivas o activas; las primeras prácticamente no constituyen un peligro debido a que ya no presentan desplazamiento (SEDESOL-COREMI, 2004a). Las fallas activas pueden tener un movimiento imperceptible en términos históricos, es decir, de varios siglos, o bien pueden generarse súbitamente.

Las fallas activas pueden romper aceras, tuberías, viviendas, surcos de cultivo, etc., o bien desencadenar sismos, deslaves o derrumbes en las áreas inmediatas a la falla (SEDESOL-COREMI, 2004a), por lo que el peligro potencial aparece cuando se presenta un asentamiento humano sobre una falla activa o en las inmediaciones de ésta.

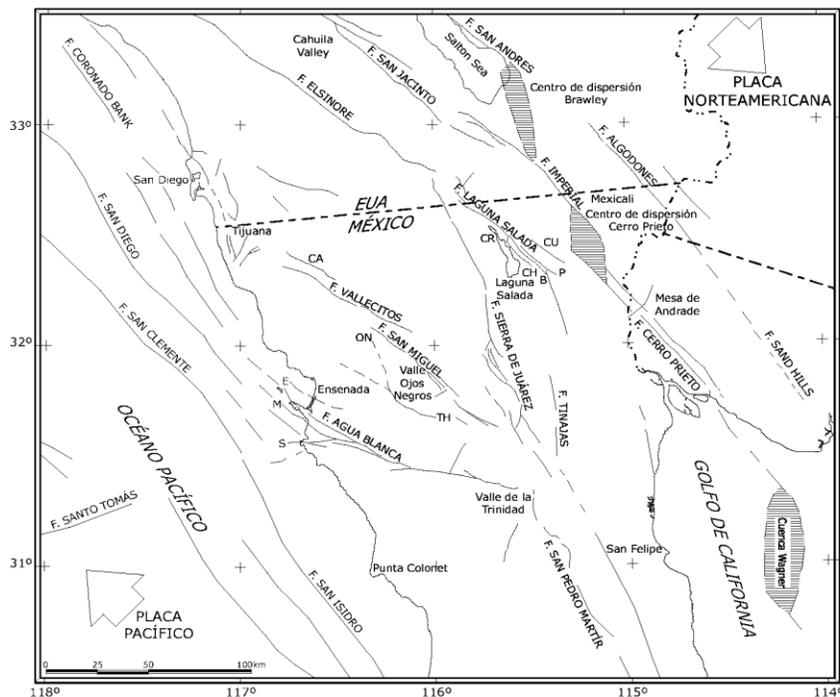
La presencia de fallas, flujos de calor y la formación centros de dispersión en la región del valle de Mexicali es ocasionada por el movimiento de las placas Norteamérica y Pacífico de 4.9 cm/año (Sarychikhina, 2003; Glowacka *et al.*, 2005). Las fallas que afectan esta región pertenecen al Sistema de Falla de San Andrés que abarca desde San Francisco en Estados Unidos hasta el Golfo de California en México.

Las fallas más importantes que afectan el valle de Mexicali y que son parte del sistema de falla de San Andrés son la falla Imperial, la falla Cerro Prieto, la falla Cucapá y la falla Michoacán<sup>9</sup> (Lira, 2005) (ver figura 10).

---

<sup>9</sup> La falla Michoacán es inferida en Lira (2005)

Figura 10 Fallas regionales del norte de Baja California



Las fallas que se presentan en línea continua son las que están bien localizadas y en línea discontinua las interpretadas. B=Falla Borrego, CA=Falla Calabazas, CH=Falla Chupamirtos, CP=centro de dispersión Cerro Prieto, CR=Falla Cañón Rojo, CU=Falla Cucapá, CW=Cuenca Wagner, E=Falla El Descanso-Estero, M=Falla Maximinos, ON=Falla Ojos Negros, P=Falla Pescaderos, S=Falla Bahía Soledad, SS=Salton Sea y TH=Falla Tres Hermanas. Tomado de Cruz-Castillo, 2002.

Enseguida, se describen las características de las principales fallas que afectan el valle y la ciudad de Mexicali.

#### Sistema Imperial-Cerro Prieto

#### Falla Cerro Prieto

La falla Cerro Prieto es de tipo dextral<sup>10</sup>; se extiende a lo largo de 80 km desde el centro de dispersión Cerro Prieto hasta la Cuenca de Wagner. El trazo de la falla es visible únicamente en su sector sur, es posible que la Falla Cerro Prieto atraviese la ciudad de Mexicali en diagonal (NW-SE). Es la estructura que marca

<sup>10</sup> Dextral o lateral derecho, se refiere al movimiento horizontal hacia la derecha de los bloques a los lados de la falla geológica. Esto quiere decir que una persona parada en cualquiera de los dos bloques al mirar hacia el otro bloque verá que éste se mueve hacia la derecha.

la frontera entre las placas Norteamérica y Pacífico, en la región del Valle de Mexicali. Se le asocian los temblores de 1852, 1875 y 1891 con una magnitud  $M=6-7$ , el de 1934 de  $M=7.1$ , el de El Golfo de 1966 ( $M_s = 6.3$ ) y el temblor de Victoria de 1980 de  $M_L = 6.1$  (Lesage y Frez, 1990; Frez y González, 1991; Suárez, 1999 en Cruz-Castillo, 2002:39).

Es posible que la falla Cerro Prieto atraviese la ciudad en diagonal, por lo que conforme pasa el tiempo el riesgo urbano se incrementa (Lesage y Frez, 1990; Frez y González, 1991; Suárez, 1999 en Cruz-Castillo, 2002:39).

#### Falla Imperial

La falla Imperial delimita el lado oriental del centro de dispersión Cerro Prieto y forma parte de un límite entre placas. Es la principal conexión entre el sistema San Andrés y las estructuras del Golfo de California. Sin tener una buena expresión geomorfológica, se extiende a lo largo de 75 Km. desde 3 Km. al sur de la ciudad de Brawley, California, hasta el centro de dispersión Cerro Prieto con una orientación de  $N42^\circ W$  (Cruz-Castillo, 2002:39). La falla Imperial ha producido dos sismos fuertes: El Centro (1940, Mayo 18,  $M_L = 7.1$ ) y el Valle Imperial (1979, Oct. 15,  $M_L = 6.6$ ) (Rodríguez, 2002).

La falla Imperial, colinda con los límites de la actual expansión de la mancha urbana de la ciudad de Mexicali.

#### Sistema Laguna Salada

En realidad se trata de dos fallas juntas: una compleja en su parte sur y otra simple en su parte norte. En el SE esta compuesta por la falla Cañón Rojo y Chupamirtos, al oriente por las fallas Cucapá, Pescaderos y Borrego. En su parte NW existe una única falla, que es la falla Laguna Salada. Este sistema de fallas se encuentra dentro de la provincia *Basin and Range* y es el límite entre la Laguna Salada y la Sierra Cucapá. La Laguna Salada es el resultado de la subsidencia provocada por la falla durante el Plioceno y Holoceno en la margen occidental de la Sierra Cucapá. El desplazamiento lateral a lo largo de la zona de falla no está muy bien definido, pero en promedio se desplaza menos de 1 mm/año; en la actualidad, la parte NW de la falla Laguna Salada tiene una velocidad de desplazamiento vertical de 1 mm/año y de 0.7 mm/año en sentido horizontal. Durante el Holoceno el movimiento horizontal en la parte NW fue de 18 m y el vertical de 2 m; en su porción SE la falla ha sido inactiva, mientras que en la parte SW se ha desplazado diversos metros. A esta falla se le asocia un temblor de  $M=6.7$  en 1892 y otro de  $M=6.5$  en 1934 ((Muller y Rockwell, 1991 en Cruz-Castillo, 2002:40).

La falla cañon rojo es de tipo normal de rumbo  $N30^\circ-35^\circ E$  con echado de 55 a 60 grados al NW; forma escarpes y abanicos aluviales. Su razón de movimiento es menor a 1 mm/año, y su conexión con la falla Laguna Salada está muy bien

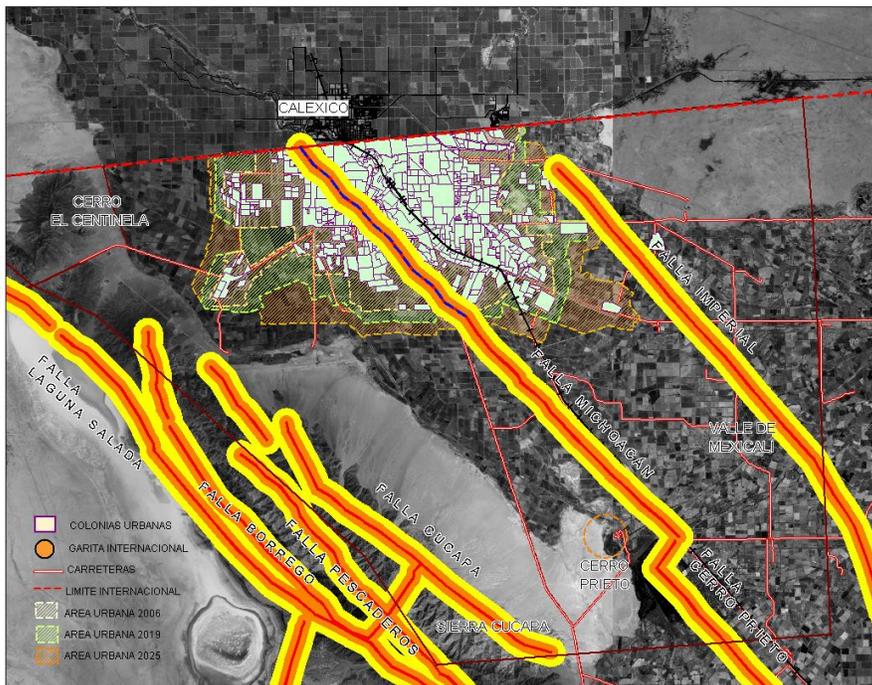
definida. El sismo de 1892, en la sección anterior, pudo haber ocurrido en esta falla (Cruz-Castillo, 2002:40).

### ZONIFICACION POR FALLAS

Para la zonificación por falla se aplicaron distancias de 100, 500 y 1000 metros como señala la metodología de SEDESOL (SEDESOL- COREMI, 2004a).

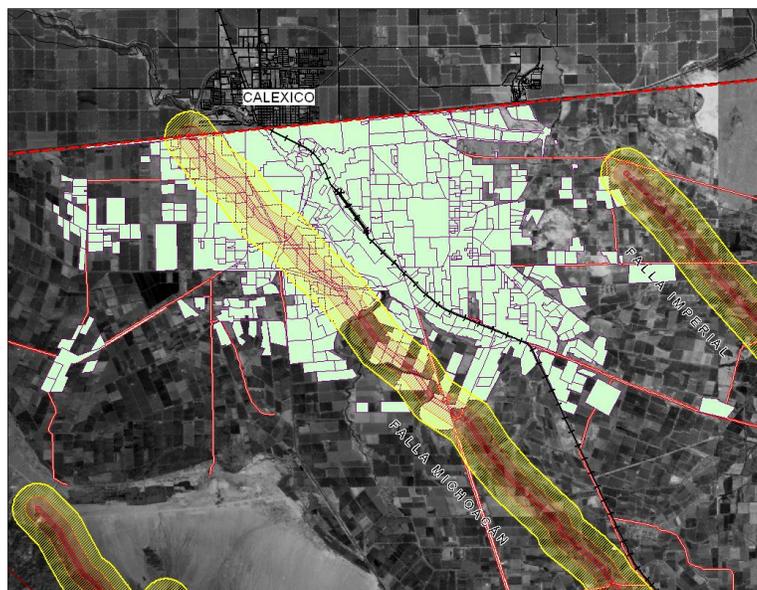
Como podemos observar en la figura 11, la ciudad de Mexicali se asienta en una región con alto peligro por la presencia de diversas fallas. Conforme la ciudad crece hacia el oriente se aproxima a la falla Imperial y conforme lo hace hacia el sur se aproxima a la falla Michoacán. Además de acuerdo a Lira (2005:39) la ciudad puede ser atravesada en diagonal por la falla Michoacán.

Figura 11 Zonificación por fallas



Elaboración propia

Figura 12 Microzonificación por fallas



Elaboración propia

La falla Michoacán podría estar afectando a los siguientes AGEBs:

Tabla 5 AGEBs con posibilidad de estar expuestos a falla (falla Michoacán inferida)

AGEB	AFECTACION	VULNERABILIDAD	AGEB	AFECTACION	VULNERABILIDAD
016-5	B	A	065-9	B	M
029-2	M, B	A	279-7	A, M, B	M
382-7	A, M, B	A	284-8	M, B	M
417-2	A, M, B	A	288-6	B	M
531-0	A, M, B	A	299-4	A, M	M
549-0	M, B	A	300-9	A, M, B	M
551-8	A, M	A	322-5	A, M, B	M
552-2	A, M, B	A	384-6	B	M
576-8	B	A	393-5	B	M
578-7	A, M	A	395-4	A, M, B	M
579-1	A, M, B	A	418-7	A, M, B	M
040-9	A, M, B	B	445-4	B	M
278-2	A, M, B	B	446-9	B	M
280-A	A, M, B	B	447-3	B	M
281-4	A, M, B	B	448-8	B	M
282-9	M, B	B	455-8	B	M
283-3	B	B	457-7	M, B	M
285-2	M, B	B	458-1	B	M

AGEB	AFECTACION	VULNERABILIDAD	AGEB	AFECTACION	VULNERABILIDAD
286-7	A, M, B	B	459-6	A, M, B	M
287-1	A, M, B	B	462-8	B	M
408-3	M, B	B	469-A	B	M
460-9	A, M, B	B	470-2	B	M
473-6	B	B	475-5	B	M
474-0	B	B	484-4	A, M	M
554-1	M,B	B	485-9	A, M, B	M
565-A	M,B	B	553-7	M,B	M
566-4	B	B	574-9	B	M
583-8	B	B	575-3	B	M
017-A	M, B	M	577-2	B	M
018-4	A, M, B	M	580-4	A, M, B	M
028-8	A, M	M	318-9	B	MA
041-3	A, M, B	M	559-4	B	MA

Elaboración propia. MA= Muy Alta A= Alta M=Mediana B=Baja MB= Muy Baja

El riesgo por fallas se incrementa conforme la ciudad crece hacia el este y sur, pues se aproxima a la falla Imperial, Michoacán y Cerro Prieto, como también por la proliferación de construcciones no resistentes a las dinámicas del fallamiento y el desconocimiento de la población expuesta sobre su situación de posible afectado.

La presencia de fallas con desplazamientos constantes intensos o moderados, puede traducirse en deslizamientos, derrumbes y movimientos, fenómenos que son analizados en otras secciones del presente documento. Por lo pronto, en lo que respecta al riesgo por fallas, se sugieren las siguientes medidas de prevención.

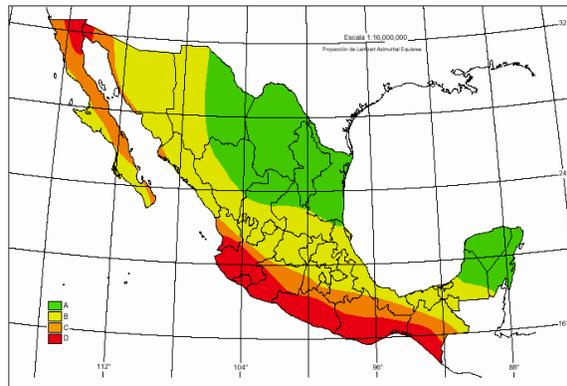
### 3.4. PELIGRO POR SISMOS

De acuerdo a la regionalización sísmica de México<sup>11</sup> elaborada por CENAPRED (2001a), el valle de Mexicali se sitúa en una región con categoría D considerada de muy alto peligro (ver figura 13). En las zonas con esta categoría han ocurrido con frecuencia grandes temblores y las aceleraciones del terreno que se esperan pueden ser superiores al 70% de g (CENAPRED, 2001a).

Como hemos visto, la alta actividad sísmica del valle de Mexicali, se debe principalmente a las fallas activas localizadas en la región, derivadas del desplazamiento de la placa tectónica del Pacífico con respecto a la de Norteamérica.

<sup>11</sup> Esta regionalización fue basada en los registros históricos de grandes sismos en México, los catálogos de sismicidad y datos de aceleración del terreno como consecuencia de sismos de gran magnitud.

**Figura 13** Regionalización sísmica de México



Tomado de CENAPRED, 2001:46

Glowacka, *et al.* (1999), señalan que en la Zona Sísmica de Mexicali (ZSM), localizada entre las dos principales fallas transformes Cerro Prieto e Imperial, se producen enjambres de sismos de baja intensidad, mientras los sismos de gran intensidad, mayores de  $M \geq 6$ , se producen a lo largo de las trazas de estas dos fallas (ver figura 10 y 11).

El valle de Mexicali, desde el punto de vista sísmico es una región mayormente microsísmica, aunque también se manifiestan secuencias de sismos precursores, evento principal y réplicas o bien, en forma de enjambre (González-García, 1986; Frez y Frías Camacho, 1998 en Suárez . 2001).

Los estudios que se tienen sobre la profundidad y generación de los sismos en la región, indican que la gran mayoría de éstos son superficiales con hipocentros a profundidades que van de 1 a 15 km. El máximo número de eventos son superficiales, ocurren entre los 4 y 6 km de profundidad (Glowacka *et al.*, 1999). Hay que recordar, que los sismos de foco superficial actúan sobre áreas reducidas, pero sus efectos son considerables, pues las ondas sísmicas apenas se atenúan antes de llegar a la superficie.

Los suelos de la región, formados por sedimentos deltaicos no consolidados pueden experimentar cambios en su estado físico mediante procesos de *licuefacción* y pasar de un estado sólido, poroso y saturado con agua a un estado licuado, cuando se presentan sismos de magnitud  $>5$ . La ciudad de Mexicali se encuentra asentada sobre este tipo de sedimentos, por lo tanto está sujeta a experimentar el colapso de las edificaciones por la pérdida pasajera de resistencia y estabilidad del suelo (Suárez-Vidal, 1999).

Aunado a lo anterior, es importante tomar en cuenta la influencia que puede tener sobre la actividad sísmica la explotación del Campo Geotérmico de Cerro

Prieto (CGCP)<sup>12</sup>, dado que estudios recientes han planteado la hipótesis de que la explotación del yacimiento geotérmico podría estar provocando un aumento en la actividad sísmica de la región (Glowacka, *et al.* 2000 y Suárez-Vidal, 2001).

### SISMOS HISTÓRICOS

Como se mencionó anteriormente, el valle de Mexicali es una región con alta actividad sísmica, donde se han presentado sismos de magnitud  $M > 7$ . Sin embargo, debido a que los asentamientos humanos en esta región son recientes (poco más de un siglo), no existe un registro de los sismos y los efectos que se han presentado tiempo atrás.

En 1932 fue instalada la Red Sismológica del Sur de California (SCEC<sup>13</sup>), esta red ha registrado entre 1950 y el 2000 aproximadamente 1301 sismos de magnitud mayor de 3 en la escala de Richter, próximos a Mexicali. Dentro de las fallas responsables de la mayoría de estos sismos se encuentran la de Cerro Prieto e Imperial (Rodríguez, 2002).

La Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM) se diseñó para registrar la actividad sísmica de la región norte de Baja California y la porción occidental del estado de Sonora, en México.

Tabla 6 Sismos históricos en Mexicali 1932-2006

Sismos históricos de magnitud $\geq 4.5$ (escala Richter) Mexicali 1932-2006						
FECHA			HORA (GMT <sup>14</sup> )			MAGNITUD
DIA	MES	AÑO	HORA	MIN	SEG	(ESCALA RITCHER)
09	10	1932	22	50	41.63	4.5
30	12	1934	13	52	15.21	6.0
30	12	1934	15	5	22.87	4.5
31	12	1934	18	45	49.80	6.3
08	09	1935	14	40	2.96	4.5
08	09	1935	17	3	42.90	4.6
20	12	1935	7	45	31.31	5.3
07	04	1936	22	53	30.10	4.7
12	04	1938	16	24	33.16	4.8
13	04	1938	19	29	44.15	4.9
06	06	1938	2	42	41.99	4.9
19	05	1940	4	36	42.51	6.9
19	05	1940	4	48	49.30	4.7
19	05	1940	4	54	56.18	5.2
19	05	1940	5	44	37.23	4.9

<sup>12</sup> El cual es considerado el segundo campo más importante del mundo en la generación de electricidad, utilizando la energía calorífica localizada en el subsuelo (Lira, 2005).

<sup>13</sup> por sus siglas en inglés

<sup>14</sup> GMT: Greenwich Mean Time, Tiempo del meridiano de Greenwich

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

<b>Sismos históricos de magnitud <math>\geq 4.5</math> (escala Richter) Mexicali 1932-2006</b>						
<b>FECHA</b>			<b>HORA (GMT<sup>14</sup>)</b>			<b>MAGNITUD</b>
<b>DIA</b>	<b>MES</b>	<b>AÑO</b>	<b>HORA</b>	<b>MIN</b>	<b>SEG</b>	<b>(ESCALA RITCHER)</b>
19	05	1940	5	51	38.13	5.4
19	05	1940	5	57	19.36	4.7
19	05	1940	6	17	45.85	4.7
19	05	1940	6	33	21.40	5.2
19	05	1940	6	35	33.45	5.2
01	06	1940	23	59	32.47	4.5
21	10	1942	16	22	11.56	6.6
21	10	1942	16	25	15.98	4.6
21	10	1942	16	26	53.42	4.6
17	03	1943	0	40	41.43	4.6
28	07	1950	17	58	6.77	4.7
24	01	1951	7	16	52.88	5.9
14	06	1953	4	17	25.94	5.5
14	06	1953	4	29	59.91	4.9
01	02	1954	4	23	54.50	5.0
01	02	1954	4	31	59.92	5.5
01	02	1954	5	10	5.33	4.5
01	02	1954	13	5	28.20	4.9
25	04	1955	10	43	6.66	4.9
17	12	1955	6	7	28.18	5.3
17	12	1955	6	52	2.38	4.6
15	12	1957	21	16	41.31	4.5
12	09	1961	19	18	47.56	4.8
17	03	1972	0	29	0.86	4.5
23	01	1975	17	2	30.02	4.8
11	03	1978	23	57	48.84	4.8
12	03	1978	0	30	17.67	4.5
12	03	1978	18	42	24.85	4.8
15	10	1979	23	16	53.44	6.4
15	10	1979	23	19	29.98	5.2
16	10	1979	1	0	13.86	4.6
16	10	1979	3	10	47.09	4.5
16	10	1979	3	39	34.28	4.5
16	10	1979	5	49	10.18	5.1
16	10	1979	6	19	48.68	5.1
16	10	1979	11	46	55.32	4.8
21	12	1979	20	40	25.33	4.6
09	06	1980	10	0	43.24	4.5
07	02	1987	3	45	14.85	5.4
24	11	1987	13	34	39.92	4.7
27	11	1987	1	10	10.53	4.5
02	12	1987	4	3	6.19	4.6
28	01	1988	2	54	2.34	4.7
11	08	1994	2	22	53.52	4.6
01	06	1999	15	18	2.67	4.9
10	09	1999	13	40	2.18	4.8
22	02	2002	19	32	41.75	5.7

Sismos históricos de magnitud $\geq 4.5$ (escala Richter) Mexicali 1932-2006						
FECHA			HORA (GMT <sup>14</sup> )			MAGNITUD
DIA	MES	AÑO	HORA	MIN	SEG	(ESCALA RITCHER)
24	05	2006	20	26	0.00	5.4

Fuente: Red Sismológica del Sur de California (SCEC)

A continuación se describen algunos sismos que han afectado a la ciudad de Mexicali de manera considerable. La información fue obtenida de los proyectos de investigación: *"Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali"* (UABC,2005) *"Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali"* (UABC, 2006). Es importante tomar en cuenta que tales impactos están relacionados con el contexto de la ciudad en cada período histórico que se presentan, esto es, el número de habitantes, la traza urbana, actividades económicas, entre otros.

**El 22 de junio de 1915** ocurrieron una serie de sismos subsecuentes. Su epicentro estuvo localizado en el Río Colorado con una magnitud estimada de 7.1. La Sociedad Sismológica de América reportó el epicentro entre El Centro y Caléxico (Basich, 1983). Fueron afectados Caléxico, Mexicali, y el Centro, se presentaron serios daños en construcciones, seis muertos en Mexicali, algunos heridos, En el Centro, California se estimaron daños por aproximadamente 1,000,000 de dólares, Caléxico entre 100, 000 y 250,000 dólares, de Mexicali no se tienen datos específicos. En Caléxico se presentaron numerosos incendios. Los daños mayores se presentaron en la sección de negocios de los tres pueblos (Caléxico, Chronicle, 24 de junio 1915).

**El 20 de noviembre de 1915**, se registró un temblor con epicentro no reportado, ocasionó agrietamientos en el fondo de la Laguna Volcanes y una erupción de vapor de corta duración (Basich, 1983).

En las primeras horas del día **primero de enero de 1927** (12:18 a.m.) se presentó un temblor que paralizó la celebración de año nuevo, provocando que la gente saliera de sus hogares. Cuando la gente regresó a sus casas, éstas ya presentaban algunos daños, sin embargo, dos horas después se sintió un sismo de mayor magnitud que el anterior (estimada en 5.75 escala Richter) provocando que las paredes dañadas en el primer temblor se derrumbarán. Los daños reportados en Mexicali fueron más graves que en Caléxico. La Cervecería Azteca fue destruida por el fuego después del primer sismo, con una pérdida de 200,000 dólares. En Mexicali se colapsaron casas de adobe y las plantas de agua y luz fueron puestas fuera de operación parcialmente (Imperial Valley, 1° de enero de 1927). Los daños estimados en Caléxico y Mexicali fueron de 2,000,000 de dólares (Basich, 1983).

**En diciembre 30 de 1934** se presentaron una serie de temblores antes de las seis de la mañana, el epicentro se localizó en la Sierra del Mayor con magnitud de 6. Casi simultáneamente hubo otro sismo al sur de San Francisco, Estados Unidos. En este temblor se volvió a ver la columna de vapor y agua en la Laguna

de los Volcanes, la cual alcanzó una altura de 45 metros el , rompió el bordo izquierdo del Canal Solfatara y causo daños en el canal Alamo. Hubo una sucesión de grietas superficiales, algunas hasta de 15 cm. de profundidad. Estas grietas fueron observadas desde Cerro Prieto hasta el actual Ejido Independencia, en la margen izquierdo del Río Colorado en la que hubo afloraciones de agua termal (Basich, 1983). Las estructuras de adobe en el poblado y al sur de Mexicali fueron sacudidas. En Cocopah, una estación de ferrocarril de la línea *Southern Pacific* sufrió daños, tres personas sufrieron heridas cuando sus viviendas de adobe se derrumbaron (Imperial Valley , 31 de diciembre 1934).

**El 18 de mayo de 1940**, se registró un temblor con epicentro al Sur-Poniente de Caléxico, en el Río Nuevo, a unos 200 metros al Norte de la Línea Internacional. La magnitud del sismo fue de 6.9. En la zona de falla de San Andrés hubo un desplazamiento horizontal de 2.92 metros en el monumento internacional 218 y de 2.87 metros en el cruce de la falla con la Línea Internacional, a 10 km. al este de Mexicali (Basich, 1983). La vía del ferrocarril Intercalifornia presentó desplazamientos en varios lugares. También hubo desplazamiento en los caminos y canales del Valle de Mexicali e Imperial. El canal Solfatara sufrió rupturas en sus bordes en una longitud de 11 km y el canal del Álamo sufrió ocho rupturas causando inundaciones. El puente-canal por donde pasaba el agua del canal principal del oeste, que se encontraba sobre el río Nuevo, desapareció al ser cubierto por el agua. Este puente posteriormente fue remplazado por un sifón. Los mayores daños sobre construcciones se observaron en Brawley e Imperial, principalmente en edificios de ladrillo de dos pisos, hubo ocho muertos. En Mexicali, se incendió el Hotel Internacional, muriendo dos personas, las casas de adobe fueron dañadas a lo largo de la ciudad de Mexicali, sin embargo, otros tipos de construcciones no sufrieron graves daños.

**En octubre 15 de 1979**, se presentó un fuerte y prolongado sismo seguido de una serie de temblores cuyo epicentro fue localizado a 23 km. del este de la ciudad de Mexicali rumbo al aeropuerto de esta ciudad, con una magnitud mayor de 6 escala Richter a una profundidad de 10 kilómetros. Se sintió en todo Baja California, Sonora y Sur de California. Una persona falleció en El Centro, Ca., en Mexicali y Caléxico hubo varios lesionados, los daños materiales fueron cuantiosos, cristales de oficinas, comercios y escuelas fueron destruidos. Sesenta por ciento de la ciudad quedó sin energía eléctrica (La Voz de la frontera, 16 de octubre de 1979). Las colonias urbanas más afectadas por el sismo fueron el centro de la ciudad, Villafontana, San Marcos, Pro-Hogar, Baja California, Cuauhtémoc, Las Fuentes, Compuertas, Alamitos, el Conjunto habitacional Cucapá y Carvajal. Algunos daños en tuberías de gas en casa localizadas en avenida Galeana. El aeropuerto de la ciudad al estar muy cerca del epicentro sufrió cuantiosos daños. El edificio del Centro de gobierno sufrió grietas impresionantes. El edificio de la Asociación de periodistas también sufrió daños graves. El canal Todo Americano sufrió graves daños en dos secciones, una a 5 millas de Caléxico en el curso de la falla Imperial y la otra a seis millas en la falla de Brawley, la parte más dañada fue esta última ya que el bordo azolvó el lecho del canal (La Voz de la frontera, 16 de octubre de 1979). El gobernador de California declaró zona de desastre al Valle Imperial y en especial a las ciudades de El Centro, Caléxico, Brawley y Holtville.

**Los sismos de 1979** fueron catalogados como enjambre de sismos, el cual inició con un sismo principal a las 16:17 horas, que provocó el mayor pánico en la

población, el segundo sucedió dos segundos después y el siguiente al minuto. Hubo un intervalo hasta las 18:01 horas y luego a las 18:05, para que se siguieran registrando temblores perceptibles (La Voz de la frontera, 16 de octubre de 1979).

**El 9 de junio de 1980** sacudió un nuevo sismo al valle de Mexicali, desde el primer sismo a las 20:30 horas y hasta las 19:00 horas del día siguiente se sintieron 50 temblores con distinta intensidad. El epicentro del temblor fue localizado en las inmediaciones de la estación pescaderos. Los temblores destruyeron 14 kilómetros de canales principales, 63 canales laterales y sublaterales, así como parte de sus estructuras, lo que dejó sin servicio de agua a 57,000 hectáreas de cultivo. Los daños principales fueron en la zona rural donde 18 poblados quedaron sin agua, 200 familias sin hogar y pérdidas por más de 150 millones de pesos en la red hidráulica del Distrito de Riego y en las obras de defensas del Río Colorado. En la ciudad de Mexicali se interrumpió el servicio de agua potable por los daños sufridos en el canal Independencia el cual es el abastecedor de la planta potabilizadora de la ciudad. Este canal presentó una fuga en el kilómetro 38 como consecuencias de los sismos (La Voz de la Frontera, 10,11 de junio 1980). Este temblor causó serios daños a la Estación Victoria y a la vía del ferrocarril Sonora-Baja California, asimismo, afectó a la Estación Delta y a la vía y puente de este ferrocarril que se encontraba sobre el río Colorado, el cual se movió hundiéndose con el terraplén de la margen derecha (La Voz de la Frontera, 10,11 de junio 1980).

Los temblores de 1940 y 1980 produjeron daños mayores en estructuras civiles en la ciudad y campo, mientras que el evento de 1979, sólo generó rupturas superficiales y daños menores. Esta diferencia está relacionada con la distribución y la naturaleza de los sedimentos en la región, especialmente con su grado de saturación y con los valores de aceleración y velocidades de cada sismo. Suárez-Vidal (1999), concluye que el proceso de licuefacción en el Valle Mexicali-Imperial se puede manifestar por la generación de sismos de magnitud y aceleraciones por lo menos equivalentes a las registradas durante el temblor de Imperial de octubre de 1979 de  $M=6.6$ .

## SISMOS RECIENTES

En el año de 1987 Mexicali fue sacudido por varios sismos con magnitudes superiores a 4.5, el **7 de febrero de 1987** ocurrió un sismo con una magnitud de 5.4 el cual causó pánico en la población y algunos daños, el 24 de noviembre con una magnitud de 4.7, el 27 de noviembre con una magnitud de 4.5 y el 2 de diciembre con una magnitud de 4.6. Dentro de los daños más evidentes de este conjunto de sismos que afectaron a la ciudad se encuentran los sufridos por las instalaciones de edificios como el Congreso de la Unión en el Centro Cívico.

**El 1 de junio de 1999** ocurrió un sismo a las 15:18 (GMT) con una magnitud momento de 4.8 y fue percibido por la población de los valles Mexicali e Imperial. El epicentro se localizó a 6.5 km al SE del volcán Cerro Prieto. El hipocentro se localizó 8.4 km de profundidad, ubicado en la margen occidental de la zona geotérmica de Cerro Prieto, bajo la laguna de evaporación (Suárez *et al.*, 2001).

El **10 de septiembre de 1999** se localizó otro sismo en la misma región que en el anterior, ocurriendo a las 13:40 (GTM); su hipocentro se localizó a 3 km. de profundidad y su magnitud momento fue  $M_w = 4.8$  (Suárez *et al.*, 2001). Los valores máximos de aceleración registrados fueron para el sismo del primero de junio de 1999, 0.274 g., mientras que el evento del 10 de septiembre, en el, tuvo una aceleración de 0.452 g. Estos valores de aceleración son bajos al compararlos con los del sismo de 1987 ( $M_L = 5.4$ ) que generó aceleraciones de hasta 1.4 g (Suárez *et al.* 2001).

Los daños ocasionados por el sismo del **primero de junio de 1999** fueron a estructuras civiles y se observaron en el Ejido Nuevo León e Hidalgo, para la ciudad de Mexicali ocasionó principalmente pánico en las personas. Para el sismo del 10 de septiembre no se reportaron daños (Suárez *et al.*, 2001).

Los datos sobre los sismos más recientes en la ciudad y en el estado en general (2002- 2006) demuestran que la mayoría de los epicentros de los mismos se ubicaron en la zona de falla de Cerro Prieto-Imperial.

El **2002** se destacó como de gran actividad sísmica tipo enjambre, en un radio de 61 km. abarcando la ciudad de Mexicali se tienen registros de aproximadamente 1180 sismos, los cuales se concentraron en los meses de enero, febrero y marzo. Estos sismos en su mayoría correspondieron a microsismos, es decir, a sismos menores de tres grados escala Richter, destacando uno de magnitud 5.7, registrado en el día 22 de febrero cuyo epicentro se localizó al sur de la ciudad de Mexicali.

En el **2003**, en el mismo radio se registraron 578 sismos de los cuales poco más del 90% fueron microsismos la mayor actividad sísmica se dio en los meses de enero, marzo, abril y octubre. El sismo de mayor intensidad fue de 4.2 grados escala Richter y se registro en mayo.

En el **2004**, se registraron 476 sismos, la mayoría microsismos, la mayor actividad se dio en los meses de marzo, julio y septiembre. El sismo de mayor intensidad fue de 4.2 grados escala Richter y se registro en el mes de agosto.

En el **2005** se registraron 623 sismos principalmente microsismos. El sismo de mayor magnitud fue de 4 grados Richter, registrado en el mes de enero.

A partir de la revisión histórica del impacto que los sismos han tenido en Mexicali, podemos observar que además de la destrucción de edificaciones y obra civil, los sismos detonan otros eventos destructivos como inundaciones, incendios y afloraciones termales, multiplicando las consecuencias.

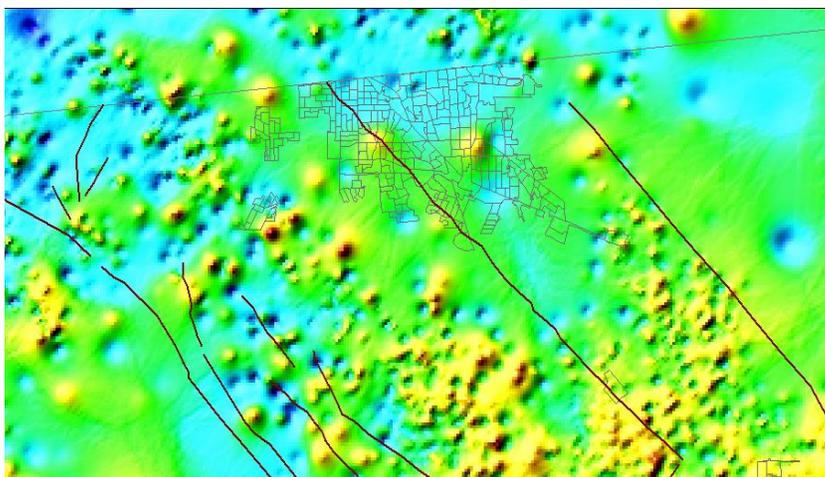
## ZONIFICACIÓN POR SISMOS

La figura 14 muestra la interpolación de la magnitud de los epicentros de los sismos recientes, podemos observar que estos rodean el área urbana de la ciudad de Mexicali concentrándose hacia el sur principalmente, pero también se

presentan significativamente al este y oeste de la ciudad, distribución relacionada con la localización de las fallas existentes en la zona.

En general, la ciudad de Mexicali presenta un nivel alto de peligro por sismos, debido a una serie de factores, destacando la alta actividad sísmica de la región con sismos históricos con magnitud mayor a 6 grados escala Richter que han provocado graves daños a la infraestructura y construcciones urbanas, la existencia de fallas activas muy cercanas a la ciudad y posiblemente dentro de la ciudad, el tipo de suelo que puede presentar procesos de licuefacción provocando el colapso de las construcciones, entre otros.

**Figura 14** Interpolación de magnitud de sismos 1990-2006



Elaboración propia

## **VULNERABILIDAD A SISMOS**

La vulnerabilidad a sismos, de acuerdo a la metodología CENAPRED consta de dos elementos principales: el índice de vulnerabilidad física (IVF) que considera las características de la vivienda que permiten resistir los sismos; y el índice de vulnerabilidad social (IM) que expresa las condiciones socioeconómicas de la población, la capacidad de prevención y respuesta de las unidades de protección civil y la percepción local del riesgo.

### **Índice de vulnerabilidad física por sismo**

#### *Escala urbana*

El índice de vulnerabilidad física pretende medir la capacidad de resistencia de las construcciones con base en el material constructivo de las mismas. La metodología CENAPRED considera cinco principales tipos de vivienda (ver tabla

7) las cuales presentan niveles distintos de resistencia a los sismos. Por ejemplo, las viviendas con muros de adobe y techos flexibles son más susceptibles a colapsarse por un sismo, en cambio, las viviendas con muros y techos rígidos son menos susceptibles de derrumbarse por efecto de un sismo. Aproximadamente el 22% de las viviendas de la ciudad de Mexicali presentan una vulnerabilidad física muy alta a sismos (viviendas Tipo 2,3 y 4), un 40% de las viviendas presentan vulnerabilidad media (Tipo 2) y sólo el 38% de las viviendas presentan una vulnerabilidad baja (Tipo 1). Esto significa que por el material constructivo utilizado en la producción de la vivienda el 62% de las viviendas es susceptible a colapsarse por efecto de un sismo de cierta magnitud.

**Tabla 7** Tipología de vivienda

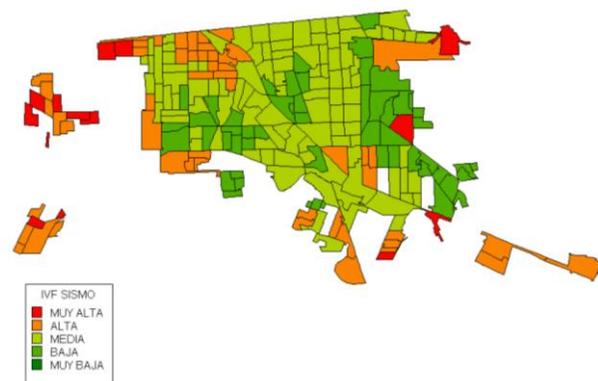
TIPO	CARACTERÍSTICAS	% DE VIVIENDAS	NIVEL DE VF
1	Muros de mampostería con techo rígido. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.	38.23%	B
2	Muros de mampostería con techo flexible. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.	39.98%	M
3	Muros de adobe con techo rígido. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.	0.20%	MA
4	Muros de adobe con techo flexible. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.	8.29%	MA
5	Muros de materiales débiles con techo flexible. Generalmente no cuenta con cimentación.	13.30%	MA

#### *Escala intra-urbana*

Con base en el ajuste metodológico por AGEB propuesto (ver Anexo III) y considerando como área urbana las siguientes localidades: Mexicali, Santa Isabel, Progreso y Puebla, se calculó la vulnerabilidad física para cada AGEB de los 224 que integran la ciudad de Mexicali, resultando lo siguiente:

Los AGEB periféricos y la zona antigua de la ciudad presentan una vulnerabilidad física por sismo que va de alta a muy alta, esto representa el 29% de la superficie urbana. Gran parte de la ciudad presenta una vulnerabilidad media (48% de la superficie) y sólo el 23% de la superficie presenta vulnerabilidad baja.

Figura 15 Vulnerabilidad física a sismos por AGEB



Elaboración propia

### Índice de Riesgo Físico (IRF) para Mexicali

Con base en la metodología propuesta por CENAPRED (ver Anexo IV), se utilizó la muestra censal para obtener el IRF de la ciudad de Mexicali, considerando como área urbana las siguientes localidades: Mexicali, Santa Isabel, Progreso y Puebla.

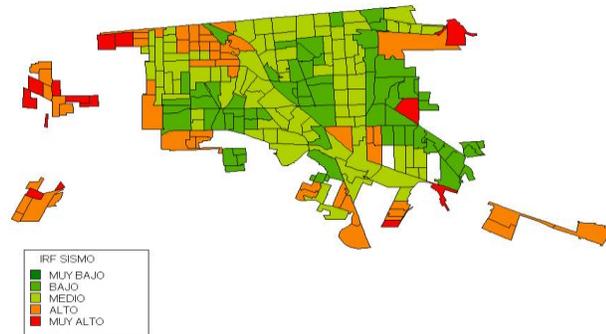
La metodología considera el cálculo del IRF a partir de dos elementos: la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social. Para la primera se obtiene el índice de vulnerabilidad física (IVF) considerando principalmente las características de la vivienda que permiten resistir los sismos y vientos; para la segunda se obtiene el índice de vulnerabilidad social (IM) a partir de las condiciones socioeconómicas de la población, la capacidad de prevención y respuesta de las unidades de protección civil y la percepción local del riesgo (ver sección de vulnerabilidad pág.15).

Cabe aclarar que el cálculo del IRF no es un requisito del estudio, pues no se especifica en la guía metodológica de SEDESOL, pero se consideró importante su cálculo a medida que se disponía de información suficiente para hacerlo.

#### *IRF por sismo*

La ciudad de Mexicali posee un IRF por sismos de 0.44, el cual es considerado un riesgo medio. Este valor se explica por la existencia de un nivel muy alto de vulnerabilidad física, asociada a las características de las viviendas, y muy baja vulnerabilidad social

**Figura 16** Índice de riesgo físico por sismo por AGEB



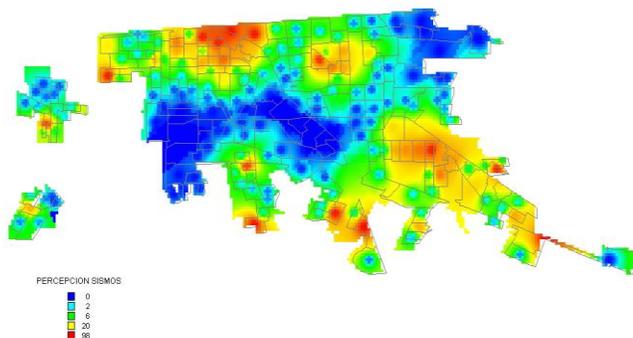
Elaboración propia

Por AGEB el IRF muestra la expresión espacial en la figura 16, un riesgo muy alto por sismo se manifiesta en algunas colonias de la periferia urbana (5% de la superficie), un riesgo alto se presenta en la periferia y en la zona antigua de la ciudad (23% de la superficie). El 41% de la superficie urbana presenta un riesgo medio y el 31% un riesgo bajo por sismo.

### Percepción social del riesgo por sismo

A pesar de que la ciudad de Mexicali se encuentra asentada en una zona de alta peligrosidad sísmica, existe una baja percepción local de este riesgo por la población (16%), lo que puede traducirse en que la vulnerabilidad social es alta en este tema a medida que la población no identifica el peligro y no toma las medidas necesarias para enfrentarlo. Por lo que será conveniente incrementar y mejorar la comunicación social del riesgo.

**Figura 17** Distribución de la percepción social de sismos



Elaboración propia a partir de los proyectos: "Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali" (UABC-2006) y "Pobreza y niveles de Bienestar en Mexicali" (UABC-SEDESOE, 2006).

### **3.5. Peligro por Vulcanismo**

El vulcanismo es una manifestación de la energía interna de la Tierra. Las erupciones volcánicas son emisiones de mezclas de roca fundida rica en materiales volátiles (magma), gases volcánicos que se separan de éste (vapor de agua, bióxido de carbono, bióxido de azufre y otros) y fragmentos de rocas de la corteza arrastrados por los anteriores. Estos materiales pueden ser arrojados con distintos grados de violencia, dependiendo de la presión de los gases provenientes del magma o de agua subterránea sobrecalentada por el mismo. Cuando la presión dentro del magma se libera a una tasa similar a la que se acumula, el magma puede salir a la superficie sin explotar. En este caso se tiene una erupción efusiva. La roca fundida emitida por un volcán en estas condiciones sale a la superficie con un contenido menor de gases (lava). Si el magma acumula más presión de la que puede liberar, las burbujas crecen hasta tocarse y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción explosiva (CENAPRED,2001a).

Existe otro tipo de volcanes que nacen, desarrollan una erupción que puede durar algunos años y se extinguen sin volver a tener actividad. En lugar de ocurrir otra erupción en ese volcán, puede nacer otro volcán similar en la misma región. A este tipo de volcán se le denomina monogenético y es muy abundante en México. Generalmente, los volcanes de este tipo son significativamente más pequeños que los volcanes centrales y en su proceso de nacimiento y formación producen erupciones menos intensas (CENAPRED, 2001a).

Los materiales emitidos durante una erupción pueden causar diferentes efectos sobre el entorno, dependiendo de la forma en que se manifiestan. Las principales manifestaciones volcánicas son:

#### **Flujos de lava**

La roca fundida emitida por una erupción efusiva puede avanzar con velocidades que dependen de la topografía del terreno, y de su composición y temperatura, pero que por lo general son bajas. Esto permite a la gente ponerse a salvo y contar con tiempo suficiente para desalojar sus bienes. Sin embargo, los terrenos y las construcciones invadidas por la lava son destruidos y no pueden volver a ser utilizados (CENAPRED, 2001a).

#### **Flujos piroclásticos**

Durante las erupciones explosivas, pueden generarse avalanchas formadas por mezclas de fragmentos o bloques grandes de lava, ceniza volcánica (magma finamente fragmentado) y gases muy calientes que se deslizan cuesta abajo por los flancos del volcán a grandes velocidades y pueden llegar a ser muy destructivas y peligrosas. Estas avalanchas reciben varios nombres: flujos piroclásticos, nubes ardientes, flujos de ceniza caliente (CENAPRED, 2001a)

### **Flujos de lodo (lahares)**

La mezcla de bloques, ceniza y cualquier otro escombros con agua puede producir avenidas muy potentes, lodo y escombros, que tienen un poder destructivo similar a los flujos piroclásticos y por lo general, mayor alcance. El agua que forma la mezcla puede tener varios orígenes, tales como lluvia intensa, fusión de nieve o glaciares, o laguna. Estas avenidas se mueven con rapidez, siguiendo las barrancas que forman el drenaje del volcán y pueden ocurrir durante o después de las erupciones (CENAPRED, 2001a).

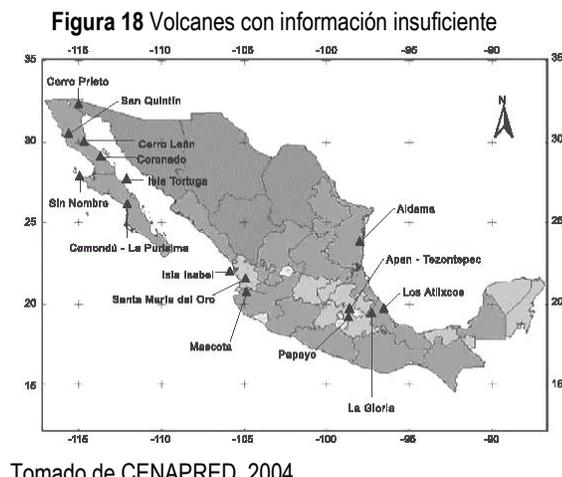
En México gran parte del vulcanismo está relacionado con la zona de subducción formada por las placas de Rivera y Cocos con la gran placa Norteamericana, y tiene su expresión volcánica en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Sin embargo, existen otros centros eruptivos en el país que no pertenecen a la FVTM, como son los volcanes del estado de Chiapas y el volcán Tres Vírgenes en Baja California, cuyo mecanismo de formación es de otro origen. En nuestro país existen más de 2,000 volcanes, de los cuales alrededor de 15 se consideran activos o peligrosos (CENAPRED, 2001a).

CENAPRED (2004a) clasifica los volcanes y campos volcánicos Cuaternarios de México 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) 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.
- 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.

- 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).
- Categoría 6: Volcanes con información insuficiente

En el valle, aproximadamente a 20 kilómetros al sur de la ciudad de Mexicali, se localiza el volcán Cerro Prieto. Este volcán tiene una altura de 260 metros snm. Sólo se tiene información acerca de registro de un fuerte evento sísmico pero no existe ningún registro de erupción, debido a ello se encuentra clasificado en la categoría 6 de CENAPRED denominada “volcanes con información insuficiente” (ver figura 18).

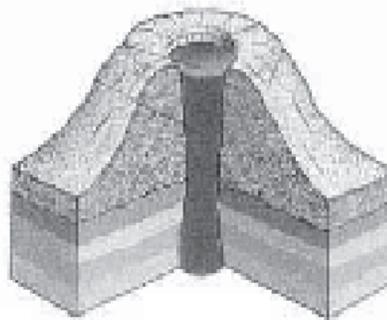


El volcán Cerro Prieto es considerado de tipo monogenético, es decir, que sólo erupciona una sola vez, a través de una fisura o boca construyendo un pequeño edificio en forma de “domo” (ver figura 19). Los volcanes tipo domo están formados por masas de lava relativamente pequeñas. Esta lava es demasiado viscosa para fluir a grandes distancias, por lo que se apila sobre y alrededor de su centro emisor.

Es importante subrayar lo que se dijo en párrafos anteriores, los volcanes monogenéticos, como Cerro Prieto, aunque presentan una sola erupción, pueden dar origen a otro volcán, en este caso, en algún lugar del valle de Mexicali, lo cual resulta factible porque la región esta localizada en la frontera entre las placa del Pacífico y de Norteamérica (CENAPRED, 2004a)

Es muy improbable que este tipo de volcanes representen un nivel significativo de peligro, pero, deben ser estudiados para contar con los elementos mínimos para su evaluación definitiva, la que sólo podrá realizarse cuando se cuente evidencia geológica que defina las probabilidades de erupción de este (CENAPRED,2004a:104).

Figura 19 Volcán tipo domo



Tomado de CENAPRED,2004:103

Como información adicional, es importante señalar que el volcán Cerro Prieto forma parte de un yacimiento geotérmico<sup>15</sup> que actualmente es utilizado para generar energía eléctrica. Existe una hipótesis que afirma que los procesos para la explotación de este yacimiento (inyección de salmuera en el subsuelo) pueden estar ocasionando un cambio en la intensidad de la actividad sísmica de la región (Suárez, *e. al* 2001)

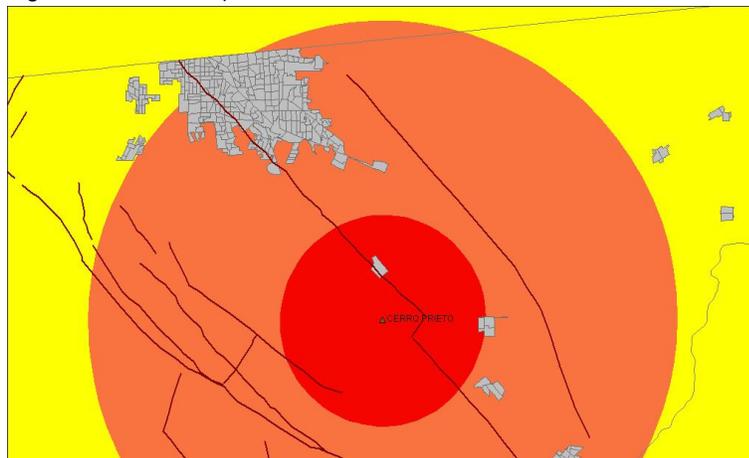
Suárez *et al.* (2001) infieren que los sismos de 1 de junio de 1999 y 10 de septiembre de 1999 pudieron haberse producido por la continua extracción de fluido geotérmico e inyección de salmuera al subsuelo, sin descartar la posibilidad de la influencia de origen tectónico.

### ZONIFICACION POR VULCANISMO

Con base en la metodología propuesta por SEDESOL, se obtuvo la zonificación de peligro para el volcán Cerro Prieto, obteniéndose que casi la totalidad del área urbana de Mexicali se encuentra localizada en una zona mediana peligrosidad. La zona de mayor peligrosidad afecta principalmente a una serie de localidades suburbanas cercanas al volcán.

<sup>15</sup> A partir de 1972-73 se inicia la explotación del Campo Geotérmico de Cerro Prieto, actualmente es el segundo campo más importante del mundo en la generación de electricidad con 720 MWe, utilizando la energía localizada en el subsuelo (Lira, 2005; Suárez, *et. al.*, 2001). En 1989, se inició el proceso de inyección en el subsuelo de la salmuera residual producto de la separación del vapor geotérmico y almacenada en la laguna de evaporación, contigua a la zona conocida como Cerro Prieto I. Lo anterior, con el objeto de mantener la presión e incrementar la extracción energética del yacimiento. Se sabe que la inyección puede producir efectos térmicos negativos, tales como la disminución de la temperatura del fluido geotérmico o la cementación acelerada en las formaciones productoras, reduciendo su porosidad y permeabilidad (Gutiérrez Puente y Ribó Muñoz, 1994 en Suárez *et al.*, 2001).

**Figura 20** Zonificación por vulcanismo



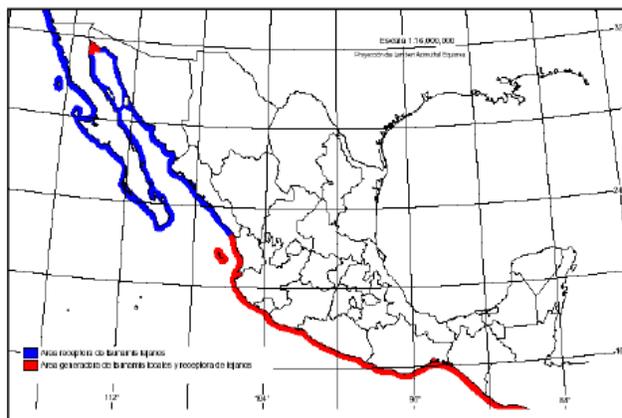
Elaboración propia

### 3.6. PELIGRO POR TSUNAMIS

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 (CENAPRED, 2004a). La gran mayoría de los tsunamis tiene su origen en el contorno costero del Pacífico, es decir, en zonas de subducción. Se generan cuando se presenta un movimiento vertical del fondo marino ocasionado por un sismo de gran magnitud cuya profundidad sea menor que 60 km. causas menos frecuentes de tsunamis, son las erupciones de volcanes submarinos, impacto de meteoritos o deslizamientos de tierra bajo el mar (CENAPRED, 2001a).

Los tsunamis se clasifican en locales, cuando el sitio de arribo se encuentra dentro o muy cercano a la zona de generación, regionales, cuando el litoral invadido está a no más de 1000 km, y lejanos, cuando se originan a más de 1000 km. CENAPRED (2001a) identifica las zonas que, con periodos de retorno muy variables, pueden estar sujetas a la influencia de olas de gran tamaño, ya sea como zonas generadoras de tsunamis locales y/o como receptora de tsunamis lejanos (ver figura 21).

**Figura 21** Áreas costeras susceptibles de afectación por tsunamis generados localmente o a distancias hasta de miles de Km.



Tomado de SEDESOL-COREMI, 2004a:52

La penetración de las olas sobre el continente, depende 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 (CENAPRED, 2004a:75).

La mayor parte de las costas de Baja California, se ubican en una zona receptora de tsunamis lejanos, además CENAPRED (2001a) considera que la altura de olas máxima esperable en esta costa es de 3 m, menor al resto de la costa occidental que es hasta de 10 m.

En el Golfo de California el movimiento entre placas es lateral y el componente vertical en el movimiento del fondo marino es mínimo, por lo cual se esperaría que no se produjeran tsunamis locales, no obstante, la zona señalada en la figura 21 como generadora de tsunamis locales y lejanos en la desembocadura del río Colorado, se debe a la altura de olas de 3 m reportada en 1852, por un sismo cuyo epicentro se ubicó en la zona de Cerro Prieto (Balderman *et al.*, 1978 en CENAPRED, 2001a). Posiblemente este tsunami haya sido ocasionado por un deslizamiento de grandes dimensiones de los sedimentos que constituyen el delta del Río Colorado (CENAPRED, 2001a).

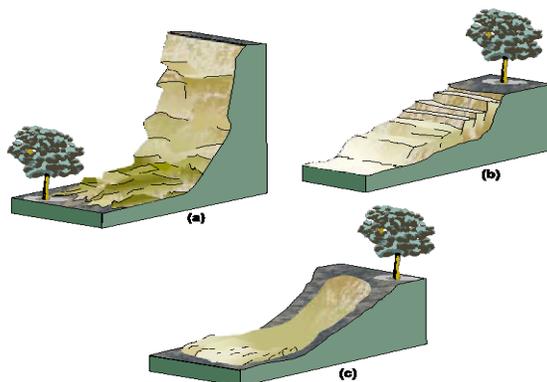
La ciudad de Mexicali, al estar localizada en un área lejana a la costa donde se presentan olas de poca altitud no presenta peligro por tsunami.

### 3.7. PELIGRO POR PROCESOS DE INESTABILIDAD DE LADERAS

El deslizamiento de una ladera es un término general que se utiliza 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. 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.

Las inestabilidades de laderas se caracterizan porque los materiales que componen la masa fallada se pueden mover por derrumbe o caída, deslizamiento, flujo y desplazamiento lateral (CENAPRED, 2004a).

**Figura 22** Diagramas de bloque que muestran tres de los tipos de falla más comunes de deslizamiento de laderas: (a) caído; (b) deslizamiento; (c) flujo.



Tomado de SEDESOL-COREMI (2004a:54)

Los caídos o derrumbes son movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes muy fuertes y acantilados, por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre, rodando y rebotando.

Los deslizamientos son 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.

Los flujos son 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. Los flujos pueden ser de muy lentos a muy rápido.

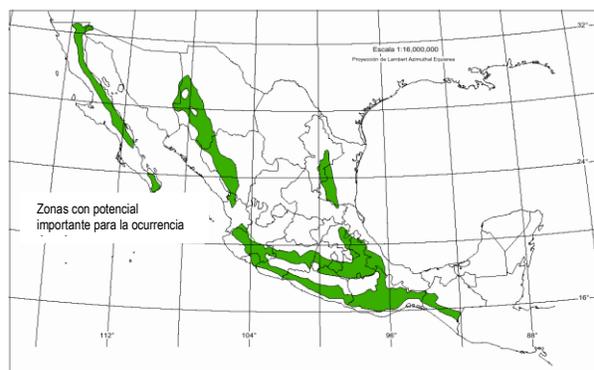
Las características intrínsecas y las debilidades inherentes en las rocas y en los suelos frecuentemente se combinan con uno o más eventos desestabilizadores, tales como lluvias intensas, actividad sísmica, actividad volcánica y, en menor

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 (CENAPRED, 2004a).

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, por lo que será importante incorporarlos en estudios futuros (CENAPRED, 2004a):

- 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.
- La licuación de depósitos arenosos, ante la ocurrencia de sismos intensos. La licuación produce agrietamientos muy severos y grandes desplazamientos laterales provocando la destrucción de caminos, edificaciones, muelles, conducciones, etc.;
- 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
- 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 cársticas (cavernas por disolución de las rocas); tales huecos determinan verdaderos colapsos del terreno, afectando a personas y propiedades.

**Figura 23** Zonificación por inestabilidad de laderas

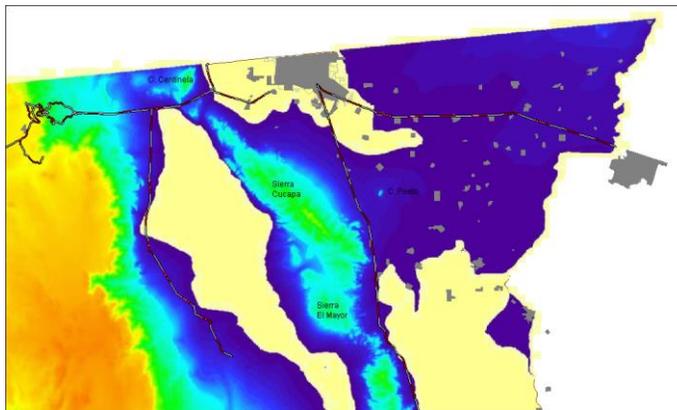


Tomado de CENAPRED, 2001:89

CENAPRED (2001a) elaboró un mapa de zonificación de peligro por inestabilidad de laderas identificando las zonas susceptibles de presentar colapso, o con alto peligro, tomando en cuenta las características de las diferentes provincias fisiográficas, la geomorfología, los estudios sobre los diferentes climas en todo el país, así como las condiciones ambientales que propician en distintos grados, el intemperismo de las formaciones geológicas involucradas, la edafología y la distribución de vertientes, ríos y cuencas hidrológicas, dando especial atención a las condiciones geológicas y a la precipitación pluvial.

Con base en lo anterior, la ciudad de Mexicali se encuentra localizada en una zona inestable con potencial para la ocurrencia de colapsos (ver figura 23). Sin embargo, es importante aclarar que la ciudad está asentada en una zona prácticamente plana, por lo que la ocurrencia de deslizamientos por la presencia de grandes pendientes es casi nula, con excepción de las terrazas aluviales del río Nuevo, el cual atraviesa la ciudad. Las elevaciones más próximas donde pueden presentarse procesos de inestabilidad de laderas son al oeste de la ciudad, el cerro Centinela con una altitud de 60 m y al suroeste la sierra Cucapá con una altitud de 1100 metros (ver figura 24).

**Figura 24** Principales elevaciones próximas a la ciudad de Mexicali



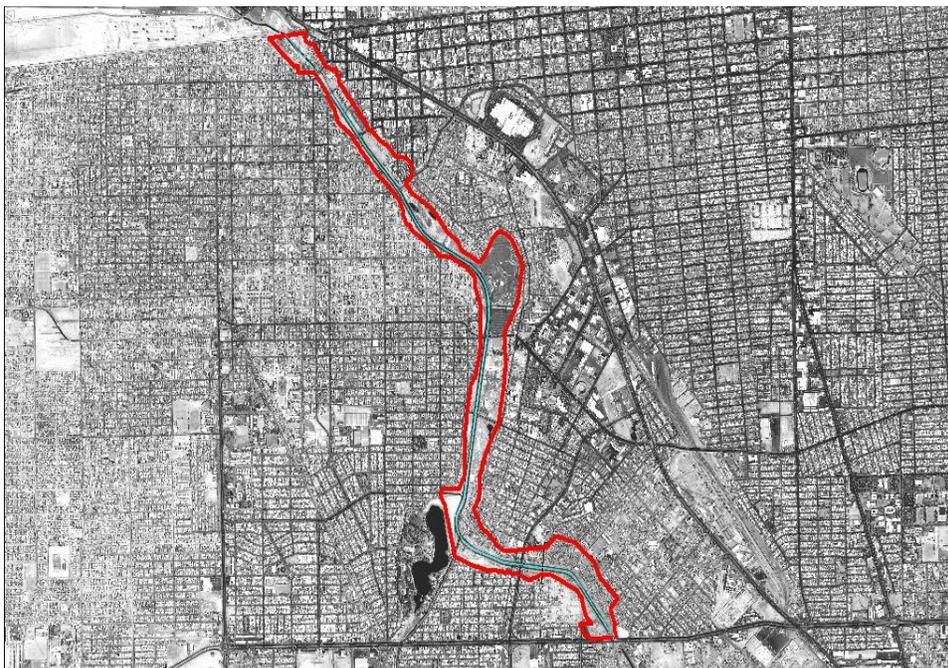
Elaboración propia

Históricamente, el cauce del río Nuevo ha constituido un elemento de ruptura en la continuidad topográfica de la ciudad. Esta discontinuidad se intensificó con la inundación ocurrida en 1906, a causa de grandes avenidas del río Colorado, que provocaron el estancamiento de agua frente al entonces poblado de Mexicali, por lo que hubo necesidad de dinamitar algunas zonas para ampliar su cauce y profundidad y darle salida al agua estancada hacia el Mar de Salton (Aguirre, 1983:79).

En la actualidad, el río Nuevo conduce aguas de desecho agrícola, industrial y urbano hacia el Mar de Salton en el estado de California. Con el proyecto "Río Nuevo" en una sección de la ciudad de Mexicali el cauce del río fue embovedado y se utilizó para construir un bulevar y para recuperar superficie de suelo en las franjas más próximas. Esto permitió la construcción en la zona de una serie de edificios públicos como la Plaza del Centenario, el Centro Estatal de las Artes, el centro de ferias y espectáculos, entre otras.

A lo largo del proyecto Río Nuevo (aproximadamente 6 km) se manifiesta un corte pronunciado de terreno (terrazas aluviales) que separa las colonias próximas al río de la zona del proyecto (ver figura 25). Con la verificación en campo se obtuvo que existen diferencias de nivel que van de 4 a 8 metros aproximadamente con pendientes que van de moderadas a pronunciadas.

**Figura 25** Localización del proyecto "Río Nuevo" y el límite del cambio de altitud (línea roja)



Elaboración propia

En las siguientes fotografías se muestran algunas de las características de la zona, entre ellas cabe destacar las siguientes:

Acerca de la peligrosidad de los taludes:

- El perfil y material de los taludes (fragilidad)
- La ausencia de vegetación en los mismos (erosión)

- La presencia de agrietamientos y derrumbes

Acerca de la exposición de la población:

- La presencia de viviendas ubicadas en el límite del corte del terreno tanto en la parte alta como al pie del talud.
- La ausencia de muros de contención en gran parte de la longitud del talud
- La presencia de pocos muros de contención, predominando los elaborados con material de desecho (llantas) y muy pocos de concreto y tabique reforzado.
- La existencia de muros de contención y viviendas en malas condiciones

En conjunto, estas características confirman un nivel de peligrosidad alta en la zona.

Figuras 26 a 37 Fotografías de taludes en el Bulevar río Nuevo

Figura 26



Figura 27



Figura 28



Figura 29



Figura 30



Figura 31



Figura 32



Figura 33



Figura 34



Figura 35



Figura 36



Figura 37



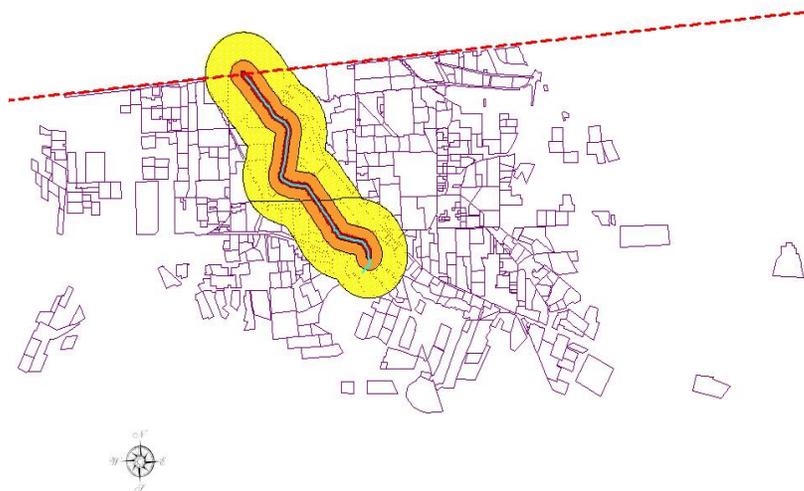
## ZONIFICACIÓN POR DESLIZAMIENTO

Las zonas próximas al bulevar río Nuevo (antiguo río Nuevo) pueden ser consideradas altamente peligrosas por deslizamiento, sobre todo en los períodos de lluvia, donde el suelo debido a sus características tiende a saturarse y expandirse y puede llegar a colapsarse. De igual manera, la ocurrencia de sismos de cierta magnitud y frecuencia pueden originar desprendimientos o deslizamientos del talud arrastrando con ello a las construcciones próximas al corte de terreno y venciendo los muros de contención.

Entre los procesos del suelo a más largo plazo, se identifica que el entubamiento del río Nuevo trajo consigo la disminución de la cantidad de agua que era absorbida por el subsuelo, cambiando la dinámica del mismo. Ante la pérdida de agua o del nivel de saturación, el suelo se encuentra en proceso de compactación, por lo que puede llegar a colapsarse con el paso del tiempo o con la presencia de algún agente desestabilizador (sismo, agua, movimientos emanados de la construcción de edificios, entre otros).

Debido a que no se encontraron evidencias visuales en el recorrido de campo que permitieran la zonificación de la peligrosidad por deslizamiento, se tomó como referencia la metodología de SEDESOL que asigna distancias de 100, 500 y 1000 metros (SEDESOL- COREMI, 2004a).

Figura 38 Zonificación por deslizamiento



Elaboración propia

**Figura 39** Microzonificación de deslizamientos en el Blvd. Río Nuevo



Elaboración propia

Los AGEBs próximos a la zona del río nuevo y que pueden verse afectados por procesos de inestabilidad de laderas son los siguientes:

**Tabla 8** AGEBs expuestos a inestabilidad de laderas y vulnerabilidad de la vivienda

AGEB	GRADO PELIGRO	VULNERABILIDAD	AGEB	GRADO PELIGRO	VULNERABILIDAD
272-5	A, M	A	286-7	B	B
274-4	A, M	A	287-1	B	B
419-1	A, M	A	408-3	B	B
447-3	A, M	M	423-8	B	M
462-8	A, M	M	438-4	B	M
030-5	A, M, B	A	445-4	B	M
031-A	A, M, B	M	459-6	B	M
051-7	A, M, B	M	460-9	B	B
065-9	A, M, B	M	463-2	B	B
246-2	A, M, B	M	484-4	B	M
279-7	A, M, B	M	501-A	B	M
280-A	A, M, B	B	574-9	B	M
283-3	A, M, B	B	575-3	B	M
288-6	A, M, B	M	576-8	B	A
291-8	A, M, B	B	577-2	B	M
298-A	A, M, B	M	601-8	B	N.D.
395-4	A, M, B	M	603-7	B	N.D.

AGEB	GRADO PELIGRO	VULNERABILIDAD	AGEB	GRADO PELIGRO	VULNERABILIDAD
420-4	A, M, B	A	278-2	BAJA	B
421-9	A, M, B	M	043-2	M	A
439-9	A, M, B	A	005-7	M, B	A
477-4	A, M, B	M	273-A	M, B	A
487-8	A, M, B	M	282-9	M, B	B
004-2	B	A	416-8	M, B	M
016-5	B	A	422-3	M, B	A
029-2	B	A	437-A	M, B	A
032-4	B	M	440-1	M, B	A
041-3	B	M	446-9	M, B	M
045-1	B	B	448-8	M, B	M
061-0	B	M	461-3	M, B	M
239-2	B	A	478-9	M, B	M
281-4	B	B	485-9	M, B	M
284-8	B	M	486-3	M, B	M
285-2	B	B	651-6	M, B	N.D.

Elaboración propia. MA= Muy Alta A= Alta M=Mediana B=Baja MB= Muy Baja

### 3.8. MEDIDAS DE MITIGACION

- Realizar estudios más profundos sobre la percepción social de los peligros que amenazan a la ciudad y con base en ellos, aplicar programas de difusión y concientización pública. La aplicación periódica de este tipo de estudios permitirá evaluar el impacto de dichos programas y sugerir mejoras a los mismos.
- Mejorar la capacidad de atención de la Unidad Municipal de Protección Civil y el H. Cuerpo de Bomberos por medio de la capacitación de su personal y la dotación de equipo especializado.
- Establecer un sistema de alerta sobre la presencia de los fenómenos Geológicos, Hidrometeorológicos y Químicos que amenazan a la ciudad, sobre todo para alertar a la población ubicada en zonas altamente peligrosas.
- Elaborar y actualizar un plan de emergencia para cada uno de los peligros que amenaza a la ciudad.
- Establecer albergues y refugios en lugares estratégicos para cada tipo de peligro.

## FALLAS Y SISMOS

Mejorar el conocimiento sobre fallas, sismos y el impacto de los mismos

- Realizar estudios geológicos para caracterizar de manera más precisa las fallas próximas a la ciudad, especialmente la falla Michoacán
- Realizar estudios que evalúen la presencia de agrietamientos y deformaciones del terreno en todo el municipio
- Realizar estudios más específicos sobre el impacto de la actividad geotérmica (la reinyección de salmuera) en la sismicidad local
- Incrementar y mejorar el monitoreo de fallas y sismos
- Realizar estudios y evaluaciones multi-peligro para detectar posibles efectos detonados por fallas y sismos

Disminuir la exposición de la población al peligro

- Realizar estudios para determinar las distancias de seguridad con respecto a las fallas
- Por medio de la planeación y gestión del suelo urbano, limitar el crecimiento de la ciudad hacia las zonas próximas a las fallas geológicas, respetando una franja mínima de seguridad
- En el caso de que la falla Michoacán efectivamente cruce en diagonal a la ciudad, será conveniente, si un estudio más preciso lo determina, reubicar a la población asentada en las zonas de alta peligrosidad

Disminuir la vulnerabilidad

- Mejorar la supervisión del cumplimiento con el reglamento de construcción. De ser necesario, evaluar la congruencia del reglamento con la seguridad local y los avances en los sistemas constructivos
- Mejorar la capacidad de resistencia de los sistemas expuestos, es decir, de las construcciones, las redes urbanas y la población en general, sobre todo en zonas próximas a las fallas
- Evaluar la seguridad de las construcciones públicas concentradoras de población (edificios públicos, escuelas, teatros, estadios) y de ser necesario realizar obras de reforzamiento estructural
- Por medio del inventario y caracterización de las estructuras de obras civiles definir las necesidades de reforzamiento, renovación o demolición de las mismas
- Evaluar las condiciones de inseguridad de las viviendas en las colonias más antiguas de la ciudad y en los asentamientos precarios, para sugerir programas de reemplazo o mejoramiento de vivienda
- Informar a la población acerca de la dinámica de las fallas que les permita identificar a través de los rasgos superficiales del terreno cualquier síntoma de falla

- Informar a la comunidad sobre qué hacer al momento de la emergencia, (identificación de albergues temporales y autoridades de protección civil) y capacitarla acerca de las medidas de autoprotección y primeros auxilios
- Comunicar el riesgo a la población que habita en zonas susceptibles de fallas

Mejorar la capacidad de respuesta

- Incrementar la capacidad técnica de la unidad de protección civil, a través de la capacitación en manejo de tecnologías de información y comunicación, en los programas de para el monitoreo y simulación de eventos sísmicos
- Establecer un sistema de alerta sísmica mediante la cual se envíe una señal de alarma previa a la manifestación de un sismo mayor a 5 grados
- Realizar simulacros frecuentes a nivel multiescala (hogar, edificio público, ciudad y binacionales)

### **VULCANISMO**

- Realizar estudios a mayor profundidad sobre vulcanismo y afloramientos termales en la región del valle de Mexicali
- Realizar monitoreo constante sobre las condiciones del volcán Cerro Prieto

### **INESTABILIDAD DE LADERAS**

La inestabilidad de laderas se presenta en la zona del antiguo río Nuevo, donde se han realizado cortes del terreno para rescatar la mayor superficie posible de suelo urbanizable. En este afán, se han creado taludes pronunciados carentes de vegetación y protección. Por otro lado, el suelo urbanizado es destinado para la construcción de edificios de varios niveles y de uso intensivo, esta situación ha propiciado un incremento en la vibración del suelo y de cargas adicionales a un suelo en pleno proceso de pérdida de saturación, por lo que es posible que se acelere e intensifique la inestabilidad de la ladera. Ante ello, resulta necesario:

Mejorar el conocimiento sobre los procesos locales de inestabilidad de laderas

- Realizar estudios específicos sobre la mecánica del suelo para determinar con precisión el riesgo de la zona y con base en ellos definir si es necesaria la reubicación de edificaciones
- Realizar estudios sobre el impacto que el entubamiento del río Nuevo puede tener en el abatimiento de la presión en el agua del subsuelo, para caracterizar el posible agrietamiento o hundimiento de la zona

Disminuir la exposición de la población al peligro

- Respetar una franja mínima de seguridad en la parte alta y baja de la ladera y, si es necesario reubicar las viviendas más próximas a la ladera
- Evitar el asentamiento humano en zonas próximas al río y a las faldas del Cerro Centinela y Sierra Cucapá

Mejorar las estructuras de protección existentes y disminuir la vulnerabilidad

- Evitar la erosión y mejorar la resistencia del suelo con la presencia de vegetación
- Construir muros de contención o presas de gavión para evitar el derrumbe de material térreo y, de ser necesario reforzar o reemplaza los existentes
- Realizar un inventario sobre el estado de seguridad de las edificaciones expuestas al deslizamiento
- Comunicar el riesgo a la población expuesta al peligro de deslizamiento

**Tabla 9** Matriz de Medidas de Prevención y Mitigación de Riesgos Geológicos en la ciudad de Mexicali

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
<b>Fallas y Sismos</b>			
General área urbana Mexicali (Ver Figura 11)	Existe la posibilidad de que la falla Michoacán atraviese la ciudad en diagonal, sin embargo, se desconocen muchos aspectos de la misma	Incrementa el número de familias afectadas, así como la intensidad y el número de daños, por no estar preparados para enfrentar los eventos que se puedan originar de estos peligros	Realizar estudios geológicos para caracterizar de manera más precisa las fallas próximas a la ciudad, especialmente la falla Michoacán
			Realizar estudios que evalúen la presencia de agrietamientos y deformaciones del terreno en todo el municipio
	Realizar estudios para determinar las distancias de seguridad con respecto a las fallas		
Escaso monitoreo sobre la evolución de las fallas, fracturas y su relación con la sismicidad local	Incrementar y mejorar el monitoreo de fallas y sismos		
General área urbana y valle de Mexicali (Ver Figura 1)	Nivel bajo de conocimiento sobre los efectos de la explotación geotérmica en la sismicidad local		Realizar estudios más específicos sobre el impacto de la actividad geotérmica (la reinyección de salmuera) en la sismicidad local, para determinar posibles condicionamientos de la actividad.

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
General área urbana Mexicali (Ver figura 11)	Se desconocen los efectos dominó que pueden derivarse de un evento geológico en las distintas zonas de la ciudad (explosiones, incendios, inundaciones por desborde de canales, drenes, presas, epidemias, derrame y fuga de sustancias peligrosas en las industrias, etc.)	Incrementa el número de familias afectadas, la intensidad y el número de daños por no estar preparados para enfrentar los efectos dominó. En la zona de alto peligro de la falla inferida Michoacán existen predios industriales, estaciones de servicio, y cruzan líneas de gas natural y canales.	Realizar estudios y evaluaciones multi-peligro para detectar posibles encadenamientos de eventos detonados por fallas y sismos
General área urbana en Mexicali	Bajo nivel de conocimiento sobre el estado actual de la vulnerabilidad física a sismos de todo tipo de construcciones en la ciudad	Posibilidad de daños y pérdidas materiales y humanas en aproximadamente el 8% de las viviendas localizadas en el área urbana por pérdida de resistencia (edad de más de 50 años).	Mejorar la supervisión del cumplimiento con el reglamento de construcción. De ser necesario, evaluar la congruencia del reglamento con la seguridad local y los avances en los sistemas constructivos
			Mejorar la capacidad de resistencia de los sistemas expuestos, es decir, de las construcciones, las redes urbanas y la población en general, sobre todo en zonas próximas a las fallas
			Evaluar la seguridad de las construcciones públicas concentradoras de población (edificios públicos, escuelas, teatros, estadios) y de ser necesario realizar obras de reforzamiento estructural

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
General área urbana en Mexicali	Bajo nivel de conocimiento sobre el estado actual de la vulnerabilidad física a sismos de todo tipo de construcciones en la ciudad	Posibilidad de daños y pérdidas materiales y humanas en aproximadamente el 8% de las viviendas localizadas en el área urbana por pérdida de resistencia (edad de más de 50 años).	Por medio del inventario y caracterización de las estructuras de obras civiles definir las necesidades de reforzamiento, renovación o demolición de las mismas
			Evaluar las condiciones de inseguridad de las viviendas en las colonias más antiguas de la ciudad y en los asentamientos precarios, para sugerir programas de reemplazo o mejoramiento de vivienda (Ver Figura 2)
Zona de fallas (Ver figura 12)	Bajo control del crecimiento urbano de las autoridades locales ocasiona que la ciudad se expanda rápidamente hacia la falla Imperial	Incremento en la posibilidad de daños o pérdidas materiales y humanas	Por medio de la planeación y gestión del suelo urbano, limitar el crecimiento de la ciudad hacia las zonas próximas a las fallas geológicas, respetando una franja mínima de seguridad
	De verificarse la existencia de la falla Michoacán, el 2% de la superficie urbana estaría expuesta a ella.	La falla Michoacán afectaría aproximadamente 4747 familias localizadas en la zona de alto peligro.	En el caso de que la falla Michoacán efectivamente cruce en diagonal a la ciudad, será conveniente, si un estudio más preciso lo determina, reubicar a la población asentada en las zonas de alta peligrosidad
	Bajo conocimiento de la población sobre el peligro de fallas al que puede estar expuesta	Incrementa el número de familias afectadas, así como la intensidad y el número de daños, por no estar preparados para enfrentar los eventos que se puedan originar	Comunicar el riesgo a la población que habita en zonas susceptibles de fallas

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
Zona de fallas (Ver figura 12)	Bajo conocimiento de la población sobre el peligro de fallas al que puede estar expuesta	Incrementa el número de familias afectadas, así como la intensidad y el número de daños, por no estar preparados para enfrentar los eventos que se puedan originar	Establecer programas para informar a la población acerca de la dinámica de las fallas que les permita identificar a través de los rasgos superficiales del terreno cualquier síntoma de falla
General área urbana en Mexicali (Ver Figura 17)	Baja percepción social del peligro por sismo	El 72% de las familias localizadas en viviendas con alta o muy alta vulnerabilidad a sismos no perciben el riesgo y difícilmente pueden estar preparadas o actuar preventivamente.	Comunicar el riesgo sísmico a la población más vulnerable
General área urbana en Mexicali	Bajo conocimiento de medidas de seguridad y protección por parte de la población ante sismos	Incrementa las posibilidades de sufrir daños o pérdidas ante el peligro	Establecer programas para informar a la comunidad sobre qué hacer al momento de la emergencia, (identificación de albergues temporales y autoridades de protección civil) y capacitarla acerca de las medidas de autoprotección y primeros auxilios
			Mejorar la práctica de simulacros, haciéndolos más frecuentes y multiescala (hogar, edificio público, ciudad y binacionales)
			Establecer un sistema de alerta sísmica mediante la cual se envíe una señal de alarma previa a la manifestación de un sismo mayor a 5 grado

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
General área urbana en Mexicali y Valle de Mexicali (Ver Figura 20)	Bajo conocimiento sobre el peligro que representa el volcán Cerro Prieto	Incrementa las posibilidades de sufrir daños o pérdidas ante el peligro	Realizar estudios a mayor profundidad sobre vulcanismo y afloramientos termales en la región del valle de Mexicali (Solicitar la realización de estos estudios a expertos)
			Realizar monitoreo constante sobre las condiciones del volcán Cerro Prieto
<b>Inestabilidad de laderas</b>			
Zona del río Nuevo (Ver Fig. 25-37)	Se desconocen las características del proceso de inestabilidad de laderas en la zona de río Nuevo	Incrementa las posibilidades de sufrir daños o pérdidas, por no estar preparados para este peligro	<p>Realizar estudios sobre la mecánica de suelo para determinar con mayor precisión el riesgo por deslizamiento en la zona (Solicitar la realización de estos estudios a expertos)</p> <p>Realizar estudios sobre el impacto que el entubamiento del río nuevo puede tener en el abatimiento de la presión en el agua del subsuelo, para caracterizar el posible agrietamiento o hundimiento de la zona (Solicitar la realización de estos estudios a expertos)</p>

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
Zona de río Nuevo (Ver Fig. 38 y 39)	Casi el 1% de la superficie urbana es una zona de alto peligro por inestabilidad de laderas, en ellas se encuentran asentadas diversas familias	Posibles daños y pérdidas materiales y humanas de aproximadamente 1200 viviendas por localizarse en la zona de alto peligro	Por medio de la planeación y administración del suelo evitar el asentamiento humano en zonas próximas al río y a las faldas del cerro centinela y sierra Cucapá
Zona de río Nuevo (Ver Fig. 38 y 39)	Casi el 1% de la superficie urbana es una zona de alto peligro por inestabilidad de laderas, en ellas se encuentran asentadas diversas familias	Posibles daños y pérdidas materiales y humanas de aproximadamente 1200 viviendas por localizarse en la zona de alto peligro	Respetar una franja mínima de seguridad en la parte alta y baja de la ladera y, si es necesario reubicar las viviendas más próximas a la ladera Construir muros de contención con un diseño y material adecuado para evitar el derrumbe de material térreo y de ser necesario reforzar o reemplazar los existentes a lo largo de la zona de alto peligro. Realizar un inventario sobre el estado de seguridad de las edificaciones expuestas a deslizamiento
Zona de río Nuevo (Ver Fig. 26-37)	Débil infraestructura de protección contra deslizamiento. Muros de contención fabricados con materiales de desecho como llantas usadas o muros de concreto en mal estado	Incrementa la posibilidad de deslizamiento con daños y pérdidas materiales y humanas a las familias asentadas en el talud	Construir muros de contención con diseño y material adecuado para evitar el derrumbe de material térreo y, de ser necesario, reforzar o reemplazar los existentes a lo largo de la zona de peligro.

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
Zona de río Nuevo (Ver Fig. 26-37)	Procesos de erosión de suelo por inexistencia de vegetación	Incrementan la posibilidad de deslizamientos	Evitar la erosión y mejorar la resistencia del suelo con la presencia de vegetación
Zona de río Nuevo	Bajo nivel de percepción del peligro de la población expuesta	Aproximadamente el 80% de las familias expuestas no identifica el peligro y con ello se incrementan las posibilidades de que sufran daños o pérdidas	Comunicar el riesgo a la población expuesta al peligro de deslizamiento

## **4. PELIGROS HIDROMETEOROLÓGICOS**

Los fenómenos hidrometeorológicos, por su frecuencia, magnitud e intensidad física, así como su impacto en la población y la infraestructura, están relacionados con el mayor número de desastres naturales en México. Dentro de los fenómenos hidrometeorológicos que más afectan el país se encuentran:

- Ondas y tormentas tropicales
- Heladas
- Ciclones tropicales
- Tormentas eléctricas
- Granizo
- Sequías
- Nevadas
- Temperaturas extremas
- Vientos

#### **4.1. CLIMA E HIDROGRAFÍA**

Los fenómenos meteorológicos son producto del imbalance energético entre la Tierra y la baja atmósfera; los sistemas de tiempo atmosférico, diferenciados en variadas escalas temporales y espaciales, son los factores asociados al patrón climático de un espacio geográfico determinado, y que dan origen a la presencia de variados eventos meteorológicos: vientos, lluvia, etc. El factor principal que determina el clima de un lugar es la cantidad de radiación solar que recibe y retiene en la superficie de la tierra, lo cual depende de su ubicación geográfica (Abbott, 1999), y por tanto de su latitud. Otros factores importantes en la definición del clima de un lugar son la altitud, la continentalidad y la topografía.

La atmósfera es un sistema de gran complejidad que interactúa con los océanos, el suelo, y todo tipo de vida distribuyendo la energía que recibe del sol a través de numerosos procesos. Cerca de la cuarta parte de la energía del sol que llega a la tierra se encarga de evaporar agua que luego asciende hacia la atmósfera. Al mismo tiempo, la constante atracción de la gravedad provoca un descenso de la humedad atmosférica en forma de nieve o lluvia. La circulación a gran escala de los vientos también juega un papel determinante al mover el calor y transportar la humedad sobre la superficie de la tierra (Abbott, 1999). Así, la dinámica atmosférica del planeta permite que se lleven a cabo fenómenos como el ciclo del agua, la periodicidad de los vientos, las variaciones de presión barométrica, que combinados a fenómenos como la rotación y traslación de la tierra, o a características como la altitud o el tipo de suelo, determinan los fenómenos hidrometeorológicos de un sitio en particular.

Por ello, a pesar de que la cantidad de agua en el planeta es constante y de que sus procesos (ciclo del agua) permiten transportarla de un lugar a otro, su distribución varía en las diferentes regiones del mundo. Por ejemplo, las regiones selváticas presentan lluvias casi todo el año, cuentan con abundante vegetación y suelos con poca infiltración (impermeables) lo que permite la presencia de pantanos, grandes lagunas y ríos de gran caudal; sin embargo,

existen regiones desérticas donde la presencia de lluvias es esporádica, hay poca vegetación y los suelos son altamente permeables y por tanto, existe poca presencia de cuerpos de agua.

México por su localización geográfica y su extensión territorial presenta una diversidad de climas desde selváticos hasta desérticos, además cuenta con una gran cantidad de recursos hídricos, con escurrimientos de hasta 81, 393 16 hm<sup>3</sup> como es el caso del río Usumacinta (CENAPRED, 2001a).

Baja California es un estado que presenta un clima desértico, debido al sistema de alta presión del pacífico noroeste, ya que los movimientos de subsidencia de este sistema inhiben la formación de nubes y precipitación. Sin embargo, toda la región, pero particularmente la ciudad de Mexicali y su valle, por su ubicación geográfica, están expuestos a sistemas de circulación atmosférica, tanto tropicales (monzón de verano, perturbaciones tropicales) como de latitudes medias (sistemas frontales, vagüadas en niveles altos y medios); se puede decir que la variabilidad climática experimentada en la región se explica por la posición relativa que tienen esos sistemas en el transcurso del año; los controles climáticos como la sierra de San Pedro Mártir y la forma de la península de Baja California, aunados a su relativa cercanía con el Océano Pacífico y el Golfo de California, con contrastes térmicos acentuados, contribuyen a la alta variabilidad climática regional.

Además, el fenómeno de El Niño, que se refiere a un incremento en la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial Este, tiene una teleconexión bien marcada en los inviernos de la región, al incrementar de manera sustancial la cantidad de lluvia, sucediendo lo contrario cuando se presenta el caso de La Niña. Otro rasgo que impacta en las condiciones atmosféricas regionales es la Oscilación Decadal del Pacífico, la que al presentarse de manera conjunta con El Niño amplifica de manera importante los efectos de la variabilidad anual de precipitación.

Respecto a las características hidrográficas de la región, Baja California está conformada por cinco regiones hidrológicas: 1, 2, 4, 5 y 7. Mexicali y su valle corresponden a la Región 7, específicamente en la cuenca Río Colorado (INEGI, 1995).

La cuenca Río Colorado al igual que el resto del estado presenta poca precipitación aunada a una escasa vegetación, lo cual impide la existencia de grandes volúmenes de escurrimientos que formen arroyos y ríos importantes. De hecho la principal corriente superficial de esta cuenca y del estado de Baja California, es el río Colorado (INEGI, 1981).

---

<sup>16</sup> Escurrimiento vertiente sección medio anual

El Delta del Colorado tiene su punto más alto en la actual presa Morelos con 35 m.s.n.m. y el punto más bajo se encuentra en el fondo del mar de Salton en Estados Unidos con 70 m bajo el nivel del mar. Esta diferencia en el nivel de terreno explica por qué aunque el cauce del río Colorado finaliza en el Golfo de California, también haya llevado sus aguas al mar de Salton por los actuales Río Nuevo y canal del Álamo (Sánchez, 1990).

Debido a las inundaciones que ocasionó el río Colorado en el valle Imperial en los años de 1905 y 1906 y a otros factores relacionados con el control y administración de sus aguas se construyeron en Estados Unidos la presa Hoover en 1935 y la presa G. Canyon en 1953 (Sánchez, 1990).

Como resultado del Tratado de Límites y Aguas de 1944 entre México y Estados Unidos, cuyo objetivo era garantizar un volumen fijo de agua para el territorio mexicano así como la regulación de avenidas del río, se construyó la presa derivadora Morelos (1950). Mediante esta presa México capta el agua del río Colorado que le corresponde según el mencionado tratado, lo cual asciende a 1, 850.234 Mm<sup>3</sup>, de los cuales 1667.50 Mm<sup>3</sup> son destinados a Baja California y el resto a Sonora (Sánchez, 1990; CNA, 1995:96).

Las aguas del río Colorado captadas por la presa Morelos son dirigidas tanto al valle como a la ciudad de Mexicali para su uso respectivo, a través de una extensa red de canales. Las descargas residuales resultado del aprovechamiento agrícola de las aguas del río Colorado son conducidas a través de drenes a la ciudad hasta ser depositadas en el río Nuevo, el cual recorre la ciudad de sueste a noroeste recibiendo los aportes de aguas agrícolas, industriales y descargas domésticas finalizando su recorrido en el mar de Salton en Estados Unidos. Actualmente se encuentra embovedado desde el boulevard Lázaro Cárdenas hasta la línea internacional (PDUCP, 2025).

Aunque esta red de canales y drenes no sean elementos hidrológicos naturales, merece enorme importancia en el análisis de riesgos naturales de la ciudad, pues son susceptibles de ser causa de inundaciones al presentarse lluvias extraordinarias, sismos o un mal funcionamiento en las presas que controlan el río Colorado.

Los cuerpos de agua que se identifican en la ciudad están localizados al sur y son: las lagunas Campestre, México y Xochimilco, y forman parte del río Nuevo; también se cuenta con el Lago del Bosque de la ciudad (PDUCP 2025). Este conjunto de elementos climáticos e hidrográficos le dan a la ciudad de Mexicali condiciones específicas para la presencia de ciertos peligros hidrometeorológicos.

#### **4.2. PELIGRO POR TORMENTAS Y ONDAS TROPICALES**

Una tormenta tropical es un sistema organizado de fuertes tormentas con una circulación definida en superficie y vientos máximos sostenidos entre los 62 y 117 km/h, y es el punto en el que se le asigna un nombre. Se forman con aire cálido que asciende por ser más ligero que el aire frío que existe a su alrededor, generando nubes de crecimiento convectivo del tipo cúmulus. Las condiciones favorables para su desarrollo son la preexistencia de una perturbación atmosférica, océanos tropicales cálidos y vientos relativamente débiles en altura. Si persisten estas condiciones adecuadas el peligro hidrometeorológico por inundaciones y vientos fuertes se maximiza. (SEDESOL-COREMI, 2004a).

Por su orografía y su exposición a dos océanos tropicales, Pacífico y Atlántico, derivada de su posición latitudinal, el país tiene una alta susceptibilidad de sufrir la ocurrencia de tormentas tropicales, cuyos efectos son notorios no únicamente en las ciudades costeras, sino en las ciudades del interior (SEDESOL-COREMI, 2004).

Este tipo de sistemas, que potencialmente pueden afectar al estado de Baja California, se forman en la cuenca del Pacífico Este, oficialmente desde la primera quincena del mes de mayo hasta el día último del mes de noviembre. En un análisis realizado de los años de 1949 al 2005 se contabilizó un total de 377 tormentas tropicales, por lo que se tiene un promedio anual de 6.6 de este tipo de sistemas. De ese total de sistemas tropicales, y que nunca pasaron a la categoría de ciclón tropical ninguno afectó a la región.

Las Ondas Tropicales son perturbaciones originadas en la zona de los vientos alisios conocida como Zona de Convergencia Intertropical, caracterizadas por la presencia de precipitaciones con fuertes rachas de viento, cuyo movimiento es hacia el oeste a una velocidad promedio de 15 km/hr, produciendo un fuerte proceso convectivo sobre la superficie que cruza. Su duración puede variar de una a dos semanas y su longitud va de los 1,500 km. hasta los 4,000 km. generando una zona de convergencia en la parte trasera de la onda y una zona de divergencia en el frente. Generalmente, las ondas tropicales se forman en el Océano Atlántico y debido a los cambios de temperatura existentes, su presencia se incrementó durante 1999 asociándose a la presencia del fenómeno de "La Niña", que desplazó la Zona Intertropical de Convergencia hacia el norte, originando lluvias extraordinarias y severas afectaciones como inundaciones, desbordamiento de ríos y deslaves en zonas montañosas (SEDESOL-COREMI, 2004a). Este tipo de perturbaciones no tienen presencia en el estado de Baja California.

### 4.3. PELIGRO POR CICLONES TROPICALES

Un ciclón tropical ó huracán es un fenómeno atmosférico-oceánico rotatorio que se origina en las regiones tropicales, asociado con un centro de baja presión, fuertes vientos y poderosas tormentas, que en general recibe el nombre de ciclón, debido a su movimiento de rotación, circular y ascendente, con giro en sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte, y en sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio sur. La energía de los ciclones tropicales proviene esencialmente del calor y la humedad que transfiere el océano al aire en los niveles bajos de la atmósfera. A la etapa de formación de un ciclón se le denomina *ciclogénesis*, y las condiciones favorables para su desarrollo son la preexistencia de una perturbación tropical, océanos tropicales cálidos y vientos relativamente débiles en altura; en particular la temperatura de la superficie marina por arriba de la cual se forman tiene como umbral los 26.5°C. Para llegar a la madurez como ciclón presenta dos subetapas: depresión tropical y tormenta tropical; la primera de ellas se presenta con una notable caída de la presión atmosférica y la presencia en el océano de un sistema organizado de nubes y tormentas con una circulación ciclónica definida, cuyos vientos máximos sostenidos alcanzan los 62 km/h. En el caso de la tormenta tropical sus vientos máximos sostenidos están entre los 63 y 118 km/h, y es el punto en el que se le asigna un nombre, preestablecido por la Organización Meteorológica Mundial; sus tormentas son más severas y su circulación ciclónica más definida. Si los vientos máximos sostenidos alcanzan o superan los 119 km/h se llega a la etapa de madurez del sistema tropical, conocido como ciclón tropical, que viene a ser la más peligrosa para este fenómeno, resumida en surgencia o marejada de tormenta, vientos huracanados y lluvias intensas.

Los ciclones tropicales se clasifican de acuerdo a la intensidad de los vientos, el valor de la presión central, la altura de la marea de tormenta y el daño potencial que pueden ocasionar en relación con los tres primeros parámetros. De acuerdo a esas variables se dividen en: a) depresión tropical, b) tormenta tropical y c) huracán. En la tabla 10 se muestra la clasificación de ciclones de acuerdo a la escala de Saffir-Simpson y algunos de sus efectos (CENAPRED, 2001a).

México, debido a su ubicación entre los paralelos 16° y 32° latitud norte y por la gran extensión de litorales con que cuenta, es afectada por ciclones tanto en las costas del océano Pacífico como en las del Golfo de México y el Caribe. Por lo mismo, los asentamientos humanos cercanos a las costas, están expuestos a la influencia de las perturbaciones ciclónicas. Las áreas afectadas regularmente abarcan más del 60 % del territorio nacional (CENAPRED, 2001a).

En el país, entre mayo y noviembre, se presentan 25 ciclones en promedio con vientos mayores de 63 km/h, de los cuales aproximadamente 15 ocurren en el océano Pacífico y 10 en el Atlántico (CENAPRED, 2001a). De éstos, anualmente 4 ciclones (dos del Pacífico y dos del Atlántico) inciden a menos de 100 km del territorio nacional.

**Tabla 10** Clasificación de ciclones tropicales de Saffir-Simpson

Categoría	Presión central (mb)	Vientos (km/h)	Marea de tormenta (m)	Características de los posibles daños materiales e inundaciones	
Perturbación tropical	1008.1 a 1010			Ligera circulación de vientos.	
Depresión tropical	1004.1 a 1008	< 62		Localmente destructivo.	
Tormenta tropical	985.1 a 1004	62.1 a 118	1.1	Tiene efectos destructivos.	
<b>H u r a c á n</b>	1	980.1 a 985	118.1 a 154	1.5	Ningún daño efectivo a los edificios. Daños principalmente a casas rodantes, arbustos y árboles. También algunas inundaciones de carreteras costeras y daños leves en los muelles.
	2	965.1 a 980	154.1 a 178	2.0 a 2.5	Provoca algunos daños en los techos, puertas y ventanas de los edificios. Daños considerables a la vegetación, casas rodantes y muelles. Las carreteras costeras se inundan de dos a cuatro horas antes de la entrada del centro del huracán. Las pequeñas embarcaciones en fondeadores sin protección rompen amarras.
	3	945.1 a 965	178.1 a 210	2.5 a 4.0	Provoca algunos daños estructurales a pequeñas residencias y construcciones auxiliares, con pequeñas fisuras en los muros de revestimiento. Destrucción de casas rodantes. Las inundaciones cerca de la costa destruyen las estructuras más pequeñas y los escombros flotantes dañan a las mayores. Los terrenos planos abajo de 1.5 m puede resultar inundados hasta 13 km de la costa o más.
	4	920.1 a 945	210.1 a 250	4.0 a 5.5	Provoca fisuras más generalizadas en los muros de revestimiento con derrumbe completo de toda la estructura del techo en las residencias pequeñas. Erosión importante de las playas, daños graves en los pisos bajos de las estructuras cercanas a la costa. Inundaciones de los terrenos planos bajos, abajo de 3 m situados hasta 10 km de la costa.
	5	< 920	> 250	> 5.5	Derrumbe total de los techos en muchas residencias y edificios industriales. Algunos edificios se desmoronan por completo y el viento se lleva las construcciones auxiliares pequeñas, incluyendo techos. Daños graves en los pisos bajos de todas las estructuras situadas a menos de 4.6 m por encima del nivel del mar y a una distancia de hasta 460 m de la costa.

Tomado de CENAPRED, 2001:126

En un análisis realizado para la cuenca del Pacífico Este, región donde se forman los ciclones tropicales que potencialmente pueden afectar al estado de Baja California, de los años de 1949 al 2005, se presentaron un total de 412 sistemas, para tener un promedio anual de 7.2 de estos meteoros. En la figura 40 se muestra el mapa del número de huracanes y vulnerabilidad climática para el período 1980 a 2000, elaborado por la CNA (2003).

**Figura 40** Número de huracanes y vulnerabilidad climática por región hidrológica Administrativa 1980-2000



Tomado de Cueto, 2006 a partir de Estadísticas del agua (CNA, 2003).

A pesar de que el estado de Baja California se encuentra en una zona considerada de alto peligro por el número de huracanes que se forman en la región, en la entidad y en particular la ciudad de Mexicali, del total de ciclones tropicales (412) que se han generado de 1949 a 2005, solamente 25 (6%) de ellos han tocado tierra o han pasado tan cerca que sus efectos peligrosos son dignos de tomarse en cuenta ( figura 41).

**Figura 41** Ciclones tropicales que han impactado al estado de Baja California de 1949 al 2005 y año de ocurrencia



Modificado por García Cueto, a partir de un análisis realizado por National Hurricane Center, 2005.

De 1949 al 2005 los siguientes sistemas ciclónicos han afectado de manera importante al estado de Baja California: el huracán Katrina, que a fines del mes de agosto y principios de septiembre de 1967 se introdujo por el Mar de Cortés y tocó tierra en el Golfo de Santa Clara, Son., con vientos de fuerza de huracán; este sistema ocasionó en la ciudad de Mexicali una lluvia de 36.5 mm el primero de septiembre.

El huracán Joanne, ingresó por Punta Prieta, B.C. como tormenta tropical en el mes de octubre de 1972; los vientos máximos registrados a su ingreso a tierra fueron de 75 km/hora y causó una precipitación en la ciudad de Mexicali de 76.5 mm en dos días (5 y 6 de octubre).

El huracán Kathleen que tocó tierra en Punta Santa Catarina, B.C. en septiembre de 1976 con vientos máximos de 85 km/hora, causando una lluvia de 67.3 mm en dos días (9 y 10 de septiembre) en la ciudad mexicalense.

En el mes de agosto de 1977 el huracán Doreen, convertido en tormenta tropical, sin ingresar al estado de Baja California, ocasionó en la ciudad de Mexicali en un par de días (15 y 16 de agosto), una lluvia de 98 mm.

En 1997 el huracán Nora con vientos de 120 km/hora entró a tierra por Punta Canoas, Baja California ocasionando en dos días una precipitación de 53.4 mm en la ciudad de Mexicali (SMN-CNA, UABC, 2006).

**Tabla 11** Registro histórico de Sistemas tropicales que han afectado Mexicali.

Precipitación (mm)	Fecha	Sistema tropical	Daños
21	05-10-1972	Tormenta Tropical Joane	30 colonias inundadas en la ciudad 22 casas derrumbadas
55.5	06-10-1972		500 familias aisladas de la ciudad  Suspensión de servicio de luz, agua y teléfono por varias horas.  Daños por 1,200, 000 pesos en drenes
30.0	09-09-1976	Tormenta Tropical Kathleen	80 familias evacuadas 3 muertos y dos niños con graves lesiones al derrumbarse barda de adobe
37.3	10-09-1976	(vientos de 92 km/hora en el aeropuerto de Mexicali)	Más de 2 millones de pesos en pérdidas por volcaduras de aviones provocada por fuertes vientos
62	15-08-1977	Tormenta Tropical Doreen	El gobernador declara zona de desastre la ciudad de Mexicali
36	16-08-1977		Varias colonias inundadas (80% según atlas estatal de 1992) 90% del comercio en el centro de la ciudad cerrado Daños a líneas telefónicas 15 transformadores fuera de servicio Apagones de energía eléctrica
17.1	01-10-1990	Tormenta Tropical Rachel	Apagones, árboles caídos, falta de comunicación de algunas colonias por falta de pavimentación. Sin mayores daños.
16.0	24-09-1997	Tormenta Tropical Nora (vientos de 40 km/h en la UABC)	Accidentes vehiculares, apagones, suspensión del servicio de agua, caída de árboles, techos y cableados, avenidas y calles inundadas, crecimiento y desborde del Río Nuevo, apagones, daños en construcciones fugas de gas, conatos de incendio y colectores de agua afectados.
37.4	25-09-1997		

Fuente: *Proyectos "Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali"* (UABC, 2005) y *"Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali"* (UABC, 2006).

A pesar de la baja incidencia de sistemas tropicales en la ciudad de Mexicali, algunos han provocado graves consecuencias y no precisamente son aquellos que tocan tierra. Veamos el impacto de algunos de ellos.

La tormenta tropical Joane afectó la ciudad en **octubre de 1972** con lluvias intensas que inundaron a 30 colonias, las aguas subieron a más de medio metro en términos generales. Quinientas familias quedaron aisladas de la ciudad por que el sifón que las unía se lo llevó el agua. Se interrumpieron los servicios de luz, agua, teléfono por varias horas. Los drenes sufrieron daños estimados en 1, 200, 000 pesos. La Colonia Francisco Villa estuvo a punto de desaparecer por la cantidad de agua que llevaba el río Nuevo. Además, el río Colorado sufrió un cambio en el índice de salinidad pasando de 900 hasta 1,308 partes por millón. El mercado Braulio Maldonado quedo totalmente inundado. Hay que mencionar, que en este periodo, una de las características principales de la ciudad era que la mayor parte de las colonias carecían de drenaje pluvial y pavimentación, en este contexto el gobierno propuso la construcción del drenaje pluvial en la ciudad con un costo de 70 millones de dólares.

La tormenta tropical Kathleen en **septiembre de 1976** ocasionó la evacuación de ochenta familias en la ciudad de Mexicali. Murieron tres personas al desmoronarse una barda de adobe y caer desde una altura de 10 metros sobre una vivienda. En el aeropuerto de la ciudad de Mexicali debido a los fuertes vientos ocasionados por la tormenta que alcanzaron los 92 km/hora, algunos aviones se volcaron estrepitosamente, calculándose perdidas por más de dos millones de pesos. El nivel de agua del río Nuevo subió en ambas márgenes debido a la obstrucción de las alcantarillas por basura y llantas viejas. En el callejón Oaxaca y Campeche las casas se inundaron completamente, el agua alcanzó una altura de 1.70 m., asimismo, el mercado Braulio Maldonado se inundo completamente.

El huracán Doreen, aun cuando toco tierra en Baja California Sur (Punta Abreojos) ha sido el fenómeno que ha provocado la mayor cantidad de precipitación en la ciudad (98 mm), por lo menos de 1948 a la fecha. Afectando la ciudad de Mexicali en **agosto de 1977** a tal punto que el entonces gobernador del estado decidió declarar a la ciudad: zona de desastre. Según el *Atlas Estatal de Riesgos de Baja California* (1992), el 80% de las casas de la ciudad se inundaron. El primer cuadro de la ciudad se convirtió en una enorme laguna con una corriente natural de 50 metros/hora. La carretera Tijuana a la altura de los kilómetros 36, 43 y 49 quedó hecha pedazos e intransitable. Al oeste de la ciudad se formo un río de 30 metros de ancho que bajaba del cerro Centinela y se perdía en la colonia Zaragoza, esta corriente hizo desaparecer un cementerio a la altura del cerro del centinela. La CILA (Comisión Internacional de Limites y Aguas) informó que antes de las lluvias provocadas por este ciclón, el río Colorado conducía 350 m<sup>3</sup>/seg horas más tarde el gasto del río era de 500 m<sup>3</sup>/seg. Era la primera vez que el río Colorado conducía agua desde que se puso en funcionamiento el canal de desvío Mohawk que descargaba 8 m<sup>3</sup>/ seg en el referido cauce. Se abrieron las compuertas de la presa Morelos para que el agua continuara su cauce hasta el Golfo de California. El río Nuevo por su parte recibió el drenaje pluvial de la ciudad, dos zonas se convirtieron en serio peligro, la primera el terraplén de la Av. Quintana Roo que llevaba al gran colector, y la otra en los puentes cuates a la altura de la Av. Tabasco, el terraplén amenazaba con derrumbarse y hubo necesidad de enviar una pala mecánica. Entre una serie de daños la Comisión Federal de Electricidad (CFE) reportó 15 transformadores fuera de servicio, lo que provocaron apagones en la ciudad, también se registraron daños a las líneas telefónicas quedando sin servicio telefónico en algunas colonias. Se derrumbó una

casa de adobe entre las avenidas Oaxaca y Progreso, también se suscitaron incendios como el de la Nevería Blanca Nieves. En una gasolinera el acumulamiento de agua provocó que salieran de su base los tanques de depósito de gasolina derramándose la misma, con el grave riesgo de convertirse en un desastre.

En **septiembre de 1997**, Baja California se vio afectado por el huracán Nora, (SMN-CNA, 2006). En Mexicali, "Nora" llegó como tormenta tropical, sin embargo causó serios estragos incluyendo tres víctimas en el valle y cientos de damnificados, siendo San Felipe la zona más perjudicada. Provocó derrumbes en la Rumorosa, daños y cortes carreteros en la vía Mexicali-Tijuana y Mexicali-San Felipe, accidentes vehiculares, apagones, suspensión del servicio de agua, caída de árboles, techos y cableados, avenidas y calles inundadas, se suman al impacto del fenómeno en la ciudad, el valle, y San Felipe. El colector ubicado en el Fraccionamiento Villafontana sobre el bordo Wisteria sufrió un hundimiento. Otros colectores también fueron dañados colaborando más con las inundaciones, mientras que al puente en el boulevard Castellón se le cayó un pedazo y el puente Quintana Roo se mantuvo cerrado. Asimismo el crecimiento y desborde del Río Nuevo, apagones, daños en construcciones fugas de gas, conatos de incendio y colectores de agua afectados.

Por su fuerza, estos eventos meteorológicos impactan grandes superficies y provocan graves daños no sólo en las edificaciones, sino en la obra civil en general, en ductos y redes de comunicación, transporte y electrificación. Sea lo anterior, por la acción del viento o por las inundaciones derivadas del desbordamiento de ríos y la acumulación de agua. Aunque es importante señalar que las inundaciones urbanas, de acuerdo a lo registrado, tienen un segundo componente: la carencia de drenaje pluvial y pavimentación,

De igual forma, como se observa en los registros anteriores, los ciclones frecuentemente detonan otros eventos de tipo geológico como los hundimientos y derrumbes, y químico como el derrame de sustancias peligrosas e incendios, multiplicando los impactos a las comunidades expuestas.

#### 4.4. PELIGRO POR LLUVIAS

Cuando el sol calienta el agua superficial de los océanos, lagos y lagunas, evapora parte del agua contenida en ellos, y este vapor se eleva hacia la atmósfera. El vapor de agua al condensarse en las capas altas y frías de la atmósfera, se transforma en nubes que se presentan en diversas formas: cúmulos, cirros, estratos y nimbos. En las nubes las pequeñas gotas formadas se juntan y crecen hasta que se vuelven demasiado pesadas y regresan a la tierra como precipitación (CENAPRED, 2004b).

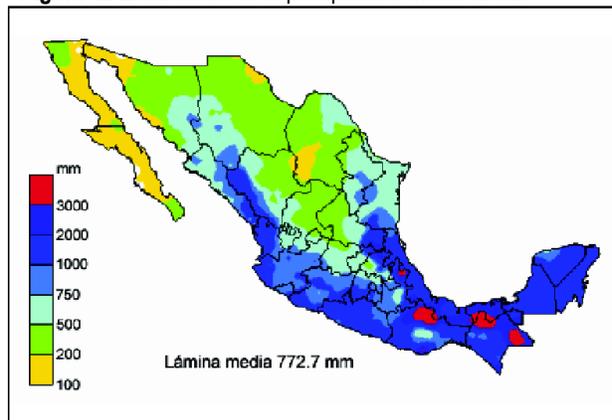
La precipitación puede manifestarse como lluvia, llovizna, nieve, granizo o cellisca. La lluvia consiste de gotas de agua líquida con diámetro mayor a 0.5 mm. La llovizna está formada con gotas más pequeñas, de 0.25 mm o menos, que caen lentamente, por lo que rara vez la precipitación de este tipo supera 1 mm/h. La nieve está compuesta de cristales de hielo que comúnmente se unen para formar copos. El granizo está constituido por cuerpos esféricos, cónicos o irregulares de hielo con un tamaño que varía de 5 a más de 125 mm; la cellisca está formada por granos sólidos de agua cuando se congela al atravesar una capa el aire con temperatura cercana a los 0° C (CENAPRED, 2001a).

Los principales mecanismos a través de los cuales se genera la precipitación son los siguientes(CENAPRED, 2004b):

- Lluvias ciclónicas, son las provocadas por los ciclones tropicales que pueden ocasionar tormentas de larga duración, del orden de varios días y abarcar grandes extensiones.
- Lluvias orográficas, se originan con las corrientes de aire húmedo que chocan con las barreras montañosas, provocando su ascenso y consecuente enfriamiento lo que da lugar a su condensación y, como resultado, la ocurrencia de precipitación en el lado por donde sopla el viento (barlovento) hacia las montañas.
- Lluvias invernales (frentes fríos), consisten en el desplazamiento de frentes de aire frío procedentes de la zona del polo norte y que forman las llamadas tormentas de invierno o equipatas. En el país la zona norte es la más afectada por este tipo de fenómenos.
- Lluvias convectivas, tienen su origen en el calentamiento de la superficie terrestre; el aire en contacto con zonas cálidas llega a calentarse más que en los alrededores, lo que da lugar a corrientes verticales en las que asciende el aire caliente húmedo. Estas corrientes al llegar a la capa de la troposfera, se enfrían rápidamente, produciéndose la condensación de vapor de agua y formándose nubes densas, por lo general del tipo de cúmulos. Se presentan en áreas reducidas ya que el ascenso y descenso de las corrientes sólo muestran un espacio local (Ahrens, 2000 en CENAPRED, 2004b)

En México, la mayor cantidad de precipitación se concentra en los estados del sur y sureste, con cantidades superiores a los 1,000 mm de precipitación media anual, lo cual muestra las áreas de mayor susceptibilidad para la ocurrencia de inundaciones y otros peligros asociados a este tipo de fenómenos hidrometeorológicos (ver figura 42). La influencia de las sierras es tan marcada que los patrones de las precipitaciones tienden a parecerse a la conformación orográfica de la República Mexicana (SEDESOL-COREMI, 2004a).

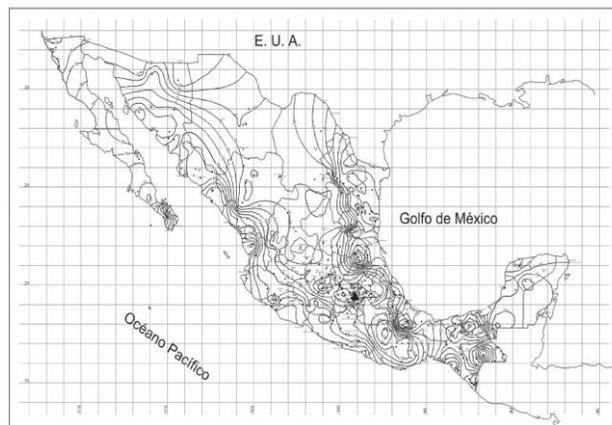
**Figura 42** Zonificación de la precipitación media anual.



Tomado de CENAPRED, 2001:106

En cuanto a la intensidad de las lluvias, la figura 43 muestra las isoyetas con lluvias con duración de una hora en un periodo de retorno de cinco años, hay valores que van desde 20 mm en regiones como la península de Baja California hasta 85 mm/hora en regiones del sureste.

**Figura 43** Mapa de Isoyetas con duración de una hora y un periodo de retorno de 5 años



Tomado de CENAPRED, 2004

Como podemos observar en las figuras 42 y 43, el valle y la ciudad de Mexicali se encuentran en una zona con las menores precipitaciones, con respecto tanto a la media anual del país, como a las isoyetas que expresan las lluvias en una hora, por lo tanto, con estos indicadores de lluvias en el país, la ciudad de Mexicali, es considerada una zona de bajo peligro por lluvias.

El promedio anual de lluvias es de solamente 75 mm, pero debido a su alta variabilidad interanual y espacial, se pueden presentar lluvias inusualmente altas, que en períodos de 24 horas pueden igualar o rebasar lo que “normalmente” se presenta en un año. Un ejemplo de tales características fue el desarrollo de una tormenta local el 22 de octubre de 1992, que en la estación meteorológica de la Comisión Nacional del Agua se registraron 73.8 mm, mientras que en la de la UABC se midieron 19 mm, y la distancia entre ellas es solamente de un par de kilómetros. El valor máximo registrado para un año (1992) ha sido de 237 mm, y el más bajo se presentó en el año 2002, con solamente 6.2 mm. Un fuerte indicador relacionado con las máximas intensidades de lluvia en un año en el estado de Baja California en general, y de la ciudad de Mexicali en particular, es el fenómeno del ENSO (El Niño/Oscilación del Sur).

La lluvia se presenta en dos épocas del año: en verano (de los meses de julio a septiembre) y en invierno (de los meses de noviembre a abril). Influida por los sistemas frontales de invierno, el régimen anual promedio de la precipitación presenta su máximo en los meses de diciembre y enero, con 11.1 mm y 9.8 mm, respectivamente; junio es el mes más seco con un valor tan bajo como 0.2 mm, siguiéndole el mes de mayo con 0.6 mm; en los meses de julio y agosto se presenta una segunda temporada de lluvias, ocasionadas por el monzón de verano, perturbaciones tropicales y tormentas locales.

De hecho, las cantidades más altas de lluvia que se han registrado han sido producto de fenómenos tropicales debilitados sucediendo en los meses de octubre de 1972 (Tormenta Tropical Joanne) con 76.5 mm, en agosto de 1977 (Huracán Doreen) con 98 mm, en septiembre de 1976 (Huracán Kathleen) con 67.3 mm, y en septiembre de 1997 con 77 mm (por el huracán Nora). Hay otro evento de lluvia inusualmente alta en el mes de octubre de 1992, con 73.8 mm, no relacionada con un sistema tropical.

En lo que respecta a las lluvias fuertes ocurridas en períodos de 24 horas, parecen estar sucediendo más a menudo de lo que ocurrían en el pasado. La presencia de estos fenómenos naturales aunado a una población creciente, con mayores superficies de concreto que impiden una rápida infiltración hacia el subsuelo, y con una deficiente red de alcantarillado pluvial en algunas zonas de la ciudad hacen que la población urbana sea susceptible de sufrir inundaciones. Tal es el caso de las lluvias ocurridas en el invierno de 1992-1993, que con un poco más de 200 mm y relacionadas con el ENSO, dejaron aisladas a un

sinnúmero de colonias periféricas y en lugares situados abajo del nivel del mar, como el caso de las colonias aledañas al río Nuevo.

#### 4.5. PELIGRO POR LLUVIAS EXTRAORDINARIAS

Las lluvias extraordinarias, también conocidas como lluvias atípicas e impredecibles, según el Servicio Meteorológico Nacional de la CNA, son aquellas precipitaciones abundantes que superan la media histórica mas una desviación estándar de precipitación en un punto determinado, cuya ocurrencia puede darse dentro o fuera del periodo correspondiente a la estación climática de lluvias. Su ocurrencia e impacto en los últimos años se ha asociado al Cambio Climático Global (SEDESOL-COREMI, 2004a). Estas lluvias, para el caso de la ciudad de Mexicali, parecen estar asociadas al fenómeno del ENSO, tormentas tropicales y tormentas locales de verano; el mismo mecanismo que las produce las hacen ser aperiódicas, tanto temporal como espacialmente. Lluvias iguales o superiores a los 30 mm, en períodos de 24 horas han ocurrido en las siguientes fechas (tabla 12).

**Tabla 12** Lluvias  $\geq 30$  mm en períodos de 24 horas

Fecha	Cantidad (mm)
17 de septiembre de 1948	34.3
18 de agosto de 1957	37.0
15 de agosto de 1961	34.5
17 de diciembre de 1962	31.0
1 de septiembre de 1967	36.5
26 de noviembre de 1967	31.1
6 de octubre de 1972	55.5
9 de septiembre de 1976	30.0
10 de septiembre de 1976	37.3
15 de agosto de 1977	62.0
16 de agosto de 1977	36.0
25 de agosto de 1982	47.3
8 de diciembre de 1982	50.2
2 de febrero de 1983	32.9
2 de marzo de 1983	31.4
9 de octubre de 1986	48.0
23 de agosto de 1988	30.8
22 de octubre de 1992	73.8
25 de septiembre de 1995	45.0
25 de septiembre de 1997	37.4

Fuente: Estaciones meteorológicas CNA y UABC

Un estudio realizado (Rodríguez, 2002) y los reportes periodísticos indican que en Mexicali no es necesario que se presente una lluvia intensa (p.e. > 50 mm), para ocasionar problemas, sino que basta que sea de 10 mm en un período de 24 horas, para provocar daños a la ciudad, así que el triple de esta cantidad, indicado en la tabla 12 puede ser un indicador del caos originado cuando se han presentado.

#### **4.6. INUNDACIONES**

A escala mundial las inundaciones están aumentando más rápidamente que cualquier otro desastre. De acuerdo con la Cruz Roja Internacional, durante el periodo 1919-2004, su intervención ha sido mayor en eventos de inundaciones que de cualquier otro tipo (CENAPRED, 2004b).

En el pasado, la gente vivía cerca de los ríos para aprovecharlos como medio de transporte y fuente de abastecimiento de agua para consumo directo y riego de cultivos. Los hogares eran construidos en terrenos altos, para evitar inundaciones. Actualmente la ocupación de las zonas cercanas a los ríos es uno de los principales factores que acrecienta el riesgo de inundaciones. Adicionalmente, la degradación del medio ambiente, tal como la deforestación, la erosión, etc., ha modificado la respuesta hidrológica de las cuencas, incrementando la ocurrencia y magnitud de inundaciones (CENAPRED, 2004b). En otras palabras, la falta de planeación de las actividades humanas ha alterado el entorno y, con ello, se han establecido las condiciones para que se presenten inundaciones severas (CENAPRED, 2004b).

En muchos casos las poblaciones han perdido el contacto con su entorno y aun dentro de la región en que viven no reconocen los sitios por donde escurren las aguas en forma natural; el más claro ejemplo de esta situación se observa en algunas ciudades donde las corrientes de los ríos han sido canalizados, cubiertos, obstruidos e incluso convertidos en amplias vialidades (CENAPRED, 2004b). Esto último conlleva a que en la comunidad prevalezca una apreciación equivocada sobre el peligro de inundación, por lo que, en muchos casos no se incluye en los planes de emergencia (CENAPRED, 2004b).

De acuerdo con el glosario internacional de hidrología (OMM/UNESCO, 1974 en CENAPRED, 2004b), la definición oficial de inundación es: "aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce". Entendiendo como "nivel normal" a aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor de lo habitual en el cauce.

Entre los factores físicos que influyen en las inundaciones están la distribución espacial de la lluvia, la topografía, las características físicas de los arroyos y ríos, las formas y longitudes de los cauces, el tipo de suelo, la pendiente del terreno, la cobertura vegetal, el uso del suelo, ubicación de presas y las elevaciones de los bordos de los ríos (SEDESOL-COREMI, 2004a).

De acuerdo a su origen, las inundaciones pueden clasificarse en:

- *Inundaciones pluviales*, son consecuencia de la precipitación, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días. Su principal característica es que el agua precipitada sobre esa zona y no la que viene de alguna otra parte (por ejemplo de la parte alta de la cuenca), incluye aquellas provocadas por intensas lluvias (CENAPRED, 2004b).
- *Inundaciones fluviales*, se generan cuando el agua que se desborda de los ríos queda sobre la superficie cercana a ellos. A diferencia de las pluviales, en este tipo de inundaciones el agua que se desborda sobre los terrenos adyacentes corresponde a precipitaciones registradas en cualquier parte de la cuenca tributaria y no necesariamente a lluvia sobre la zona afectada (CENAPRED, 2004b).
- *Inundaciones por falla de infraestructura hidráulica*, ocurre cuando la capacidad de las obras destinadas para la protección es insuficiente, la inundación provocada por la falla de dicha infraestructura será mayor que si no existieran obras (CENAPRED, 2004b).

Comentario [UABC1]:

## INUNDACIONES HISTÓRICAS

El valle y la actual ciudad de Mexicali han sufrido históricamente inundaciones de tipo pluvial, fluvial y por fallas en la infraestructura hidráulica que se asienta en esta región. Se han presentado lluvias intensas que propician las inundaciones de algunas zonas, en ocasiones la capacidad de almacenamiento de las presas ha sido rebasado, se rompen los bordos de defensa del río Colorado, o existe una operación deficiente de drenes y canales por azolves, basura, ocasionando inundaciones de algunas zonas. Veamos algunos datos históricos relevantes.

**En 1905**, cuando apenas nacía el poblado de Mexicali se presentó una gran avenida del río Colorado. En ese entonces ya fluían las aguas del río Colorado por el canal Álamo para el riego agrícola. Con esta avenida una gran parte del caudal del río se vertió al canal Álamo ocasionando varias rupturas en sus bordos, inundando la parte sur del valle de Mexicali. La corriente siguió su curso hasta el Mar de Salton por el cauce del río Nuevo. Los daños en el valle de Mexicali fueron mínimos, ya que todavía no se iniciaba la explotación agrícola pero en el naciente poblado de Mexicali se observaron daños en las casas aledañas al cauce del río Nuevo. En el valle Imperial los daños fueron mayores, las inundaciones afectaron superficies sembradas, las vías del ferrocarril y los canales (Sánchez, 1990). Un año más tarde, una nueva avenida del río Gila se presentó originando una ruptura y nuevamente casi todo el gasto del río desembocó al canal Álamo en su camino hasta el mar de Salton (Sánchez, 1990).

**En diciembre de 1926** se registraron fuertes lluvias que paralizaron la pizca de algodón y la actividad económica en general. Se rompieron varios canales de poco caudal y la comunidad se inundó por completo al grado de cerrarse el tránsito de vehículos. Se dañó el palacio municipal, la cárcel, la estación de bomberos y algunas escuelas del valle se vinieron abajo (Samaniego, 1991:21)

**En mayo de 1940**, como consecuencia de un sismo de aproximadamente 7 grados en la escala de Richter, algunos canales sufrieron serios daños provocando inundaciones en diversos puntos del valle de Mexicali. El canal Solfataras sufrió rupturas en sus bordes en una longitud de 11 km y el canal del Álamo sufrió ocho rupturas causando serias inundaciones. El flujo del agua arrastró al puente que pasaba sobre el río Nuevo, mismo que fue reemplazado por un sifón años más tarde.

En el invierno de 1955 se presentaron fuertes lluvias por diez días que incrementaron el caudal del río Nuevo hasta inundar las viviendas de los habitantes asentados en los márgenes. Los gobiernos municipal y estatal tuvieron que desalojar a más de dos mil familias de los bajos del río Nuevo y obtener una autorización especial para utilizar terrenos ejidales en la sección de Pueblo Nuevo para trasladar a esas personas a un lugar más seguro (Aguirre, 1983:375).

**En mayo de 1979**, el desfogue de las presas estadounidenses Hoover y Painted Rock sobre el río Colorado por hasta 800 metros cúbicos/seg, rebasó la capacidad del río tenía la capacidad (200 m<sup>3</sup>/seg), produciendo la inundación de una extensa zona del valle de Mexicali. En octubre de ese mismo año, un sismo dañó al canal All American en dos partes, una a 5 millas de Caléxico en el curso de la falla de Imperial y la parte más afectada, a 13 millas de la falla de Brawley, en donde se azolvó el borde del lecho del canal. En el borde de contención del canal All American se abrió una grieta que en una parte alcanzó dos metros de profundidad y causó el desfogue descontrolado de agua hacia el poblado Compuertas, afortunadamente la Comisión Internacional de Límites y Aguas evitó que el problema subiera de tono.

El **invierno de 1992-1993**, se caracterizó por la presencia de lluvias extraordinarias. Tan sólo en el día 22 de octubre de 1992 se tuvo una precipitación de casi 74 mm, además se presentaron avenidas extraordinarias del río Colorado durante los meses de marzo a mayo del 93, con un gasto máximo de 710 m<sup>3</sup> /seg durante el mes de marzo, provocando inundaciones en 90 hectáreas de cultivo en pie y amenazando con desbordarse e inundar poblados ribereños (CNA, 1995). Estas avenidas fueron producto de los desequilibrios sobre la cuenca del río Gila, afluente del Colorado que trayendo consigo grandes volúmenes de sólidos en suspensión, azolvaban el vaso de la presa derivadora Morelos y disminuyeron la capacidad de conducción del río Colorado aguas abajo (CNA, 1995).

En 1997, el paso del huracán Nora con fuertes lluvias en la región provocó el desbordamiento del río Nuevo.

En el 2005, el antiguo cauce del río Nuevo ahora convertido en una vialidad, sufrió inundaciones importantes, al grado de que algunos autos quedaron atrapados por el agua.

En el 2006, al sur de la ciudad en una zona habitacional de reciente creación se presentaron inundaciones a causa de la obstrucción un canal cercano a la zona, que provocó que el agua se desbordara afectando a algunos habitantes de la zona.

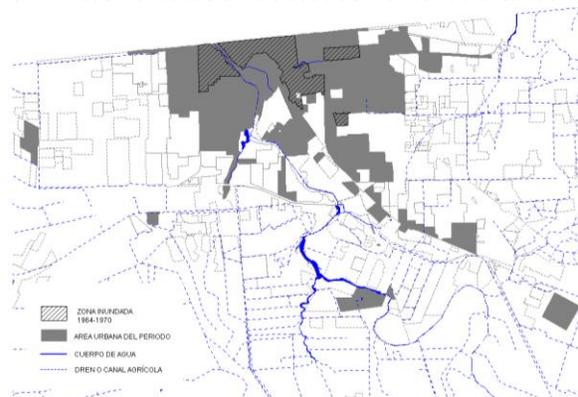
De manera general, los registros históricos muestran que la ciudad de Mexicali, a pesar de la escasa precipitación que se presenta en la región, ha sufrido todo tipo de inundaciones. Cuando llueve, la ciudad se convierte en un caos: se inundan algunas zonas de la ciudad, se presentan apagones y cortos circuitos, las vialidades no pavimentadas son intransitables por el lodo, las aguas negras brotan de las alcantarillas, algunos canales y drenes se desbordan, e incluso se destruyen tramos carreteros interrumpiendo la conexión terrestre con el resto del estado y del país por la destrucción de tramos.

Estas inundaciones, detonadas por la lluvia, tienen explicación, como el mismo registro nos indica, por una amplia gama de situaciones y decisiones sobre la ciudad y la infraestructura. Por ejemplo, la carencia de pavimentación y drenaje pluvial, la interrupción del sistema natural de drenado con el entubamiento del río, la pérdida de capacidad de conducción de los sistemas hidrológicos por azolve y basura, la proliferación de asentamientos irregulares en zonas inundables, entre otros.

Para tener una idea más clara acerca del impacto intraurbano de las inundaciones, se cruzó información de los proyectos: *Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali* (UABC, 2005) y *Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali* (UABC,2006) con información el crecimiento urbano, obteniéndose lo siguiente:

De 1964 a 1970, el 15 % del área urbana de ese entonces sufrió inundaciones. Algunas de las colonias más afectadas fueron la Primera y Segunda Sección, Industrial, Libertad, Insurgentes, Pueblo Nuevo, zonas cercanas al río Nuevo y localizadas en el centro de la ciudad (ver figura 44). Registros sobre la precipitación pluvial de algunos días en este periodo indican que a excepción de 1967 cuando se registraron dos días con precipitación mayor a 30 mm, el resto de los años presentó precipitaciones entre 10 y 20 mm.

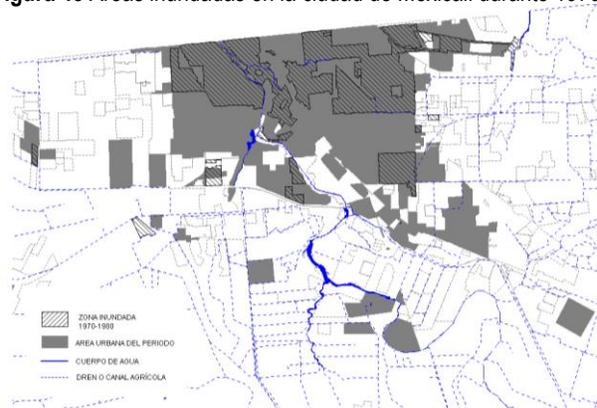
**Figura 44** Áreas inundadas en la ciudad de Mexicali durante 1964-1970



Elaboración propia a partir de los proyectos: *“Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali”* (UABC, 2005) y *“Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali”* (UABC,2006).

De 1970 a 1980, las inundaciones se presentaron principalmente en la zona norte y algunas cercanas al río Nuevo, afectando aproximadamente el 32% del área urbana (Ver figura 45). En este periodo Mexicali fue afectado por la tormenta tropical Joanne en octubre de 1972 y por la tormenta tropical Doreen en agosto de 1977.

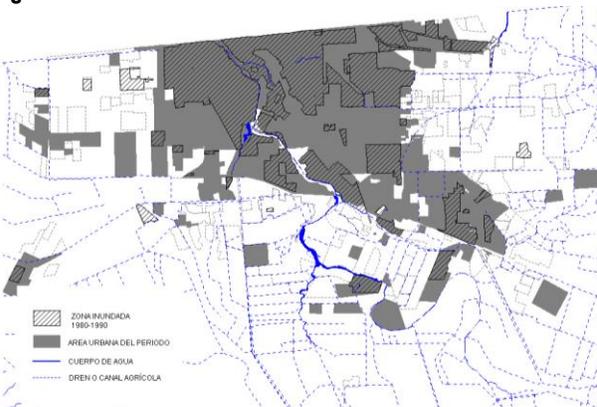
**Figura 45** Áreas inundadas en la ciudad de Mexicali durante 1970-1980



Elaboración propia a partir de los proyectos: *Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali* (UABC, 2005) y *Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali* (UABC,2006)

De 1980 a 1990, casi la mitad de la superficie urbana de ese periodo (42%) presentó inundaciones. La distribución de las colonias inundadas en este caso incluyó colonias cercanas al río Nuevo, la parte noreste y algunas colonias del sureste de la ciudad (ver figura 46). Situación provocada por fenómenos tropicales debilitados, surgencias de humedad, tormentas locales de verano y sistemas frontales de invierno exacerbados por el fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur. En la tabla 13 se presentan eventos de lluvia mayores a 10 mm, correspondientes a este periodo.

**Figura 46** Áreas inundadas en la ciudad de Mexicali durante 1980-1990



Elaboración propia a partir de los proyectos: *Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali* (UABC, 2005) y *Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali* (UABC,2006)

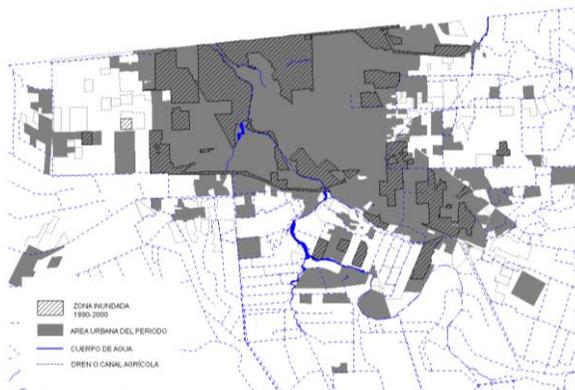
**Tabla 13** Lluvias mayores a 10 mm en Mexicali, B. C. Periodo 1980 -1990

Fecha	Lluvia (mm)	Fecha	Lluvia (mm)
29-ene-1980	11.7	20-jul-1984	14.7
13-feb-1980	16.7	26-dic-1984	14.8
19-feb-1980	10.3	26-sep-1985	18.4
25-mar-1980	11.0	27-sep-1985	12.5
01-jul-1980	12.4	11-dic-1985	13.1
11-ene-1981	16.2	09-oct-1986	48.0
12-mar-1982	29.7	31-oct-1987	11.1
25-ago-1982	47.3	02-feb-1988	13.7
08-dic-1982	50.2	23-ago-1988	30.8
09-dic-1982	29.2	03-ene-1989	14.0
02-feb-1983	32.9	12-ago-1990	12.1
02-mar-1983	31.4	01-oct-1990	17.1
16-ago-1983	14.2	TOTAL	25

Fuente: Estaciones meteorológicas CNA

De 1990-2000 el 27 % de la superficie del área urbana del periodo sufrió inundaciones, las zonas que destacan son: la zona sureste y la cercana al río Nuevo(ver figura 47).

**Figura 47** Áreas inundadas en la ciudad de Mexicali durante 1990-2000



Elaboración propia a partir de los proyectos: *Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali* (UABC, 2005) y *Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali* (UABC,2006)

En la tabla 14 se muestran las lluvias mayores que 10 mm que se presentaron en el período de 1991 al 2000, y que al igual que en el decenio anterior fueron ocasionadas por el El Niño/Oscilación del Sur, fenómenos tropicales y tormentas locales.

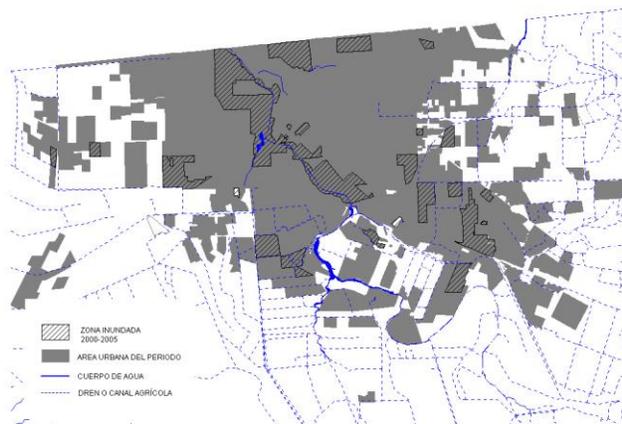
**Tabla 14** Lluvias mayores a 10 mm en Mexicali, B. C. Periodo 1991-2000

Fecha	Lluvia (mm)	Fecha	Lluvia (mm)
7-feb-1992	11.3	25-ene-1995	22.0
2-mar-1992	16.1	24-sep-1995	24.3
27-mar-1992	20.6	25-sep-1995	45.6
27-mar-1992	20.6	22-jul-1997	10.1
22-oct-92	73.8	24-sep-1997	16.0
15-nov-1993	19.0	25-sep-1997	37.4
21-sep-1994	15.0	21-dic-1997	13.7
25-dic-1994	17.3	16-ago-1998	11.4
4-ene-1995	12.2	9-jul-1999	27.2
5-ene-1995	11.0	28-jul-1999	10.3
21-ene-1995	17.3		

Fuente: Estaciones meteorológicas CNA y UABC

Del 2000 al 2005, los registros indican que sólo el 13% de la superficie urbana presentó inundaciones, principalmente en la zona aledaña al río Nuevo y el sureste de la ciudad.

**Figura 48** Áreas inundadas en la ciudad de Mexicali durante 2000-2005



Elaboración propia a partir de los proyectos: *Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali* (UABC, 2005) y *Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali* (UABC, 2006)

En la tabla 15 se muestran las lluvias mayores que 10 mm que se presentaron en el período de 2001 al 2005, el cual se ha caracterizado por años particularmente secos para toda la región, lo cual puede deberse a la ausencia de El Niño/Oscilación del Sur.

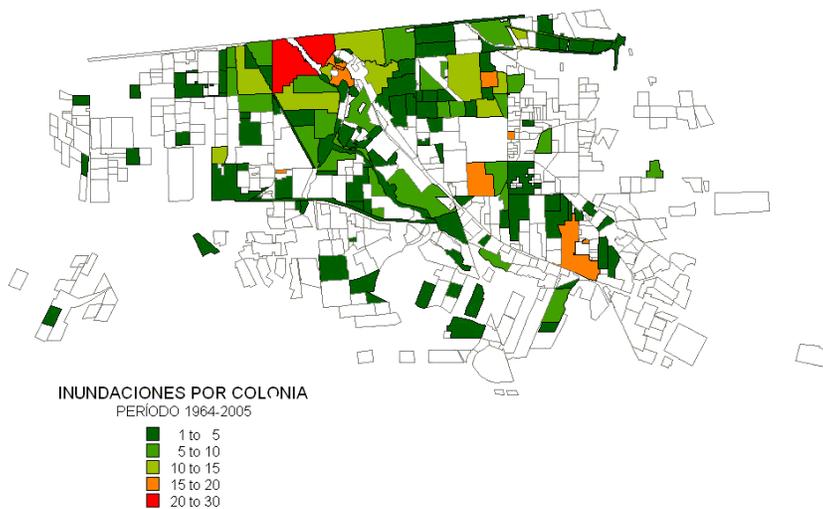
**Tabla 15** Lluvias mayores a 10 mm en Mexicali, B.C.  
Período 2001-2005

Fecha	Lluvia (mm)
25 al 28-feb-2001	20.0 (acumulado en 4 días)
25-Feb-2003	14.25
22-feb-2004	25.25
3-ene-2005	10.75
26-ene-2005	12.0
11-feb-2005	10.5

Fuente: Estaciones meteorológicas UABC

Agregando los datos sobre las inundaciones que han afectado la ciudad, se obtuvo un mapa con la frecuencia de éstas por colonia. El resultado muestra (ver figura 49) que existen colonias como Pueblo Nuevo y la Primera Sección con el mayor número de inundaciones en el periodo de 1964-2005, siendo estas colonias de las más antiguas de la ciudad y se ubican al este y oeste del cauce del río Nuevo.

**Figura 49** Inundaciones por colonia en la ciudad de Mexicali, B. C. Período 1964-2005



Elaboración propia a partir de los proyectos: "Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali" (UABC, 2005) y "Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali" (UABC,2006).

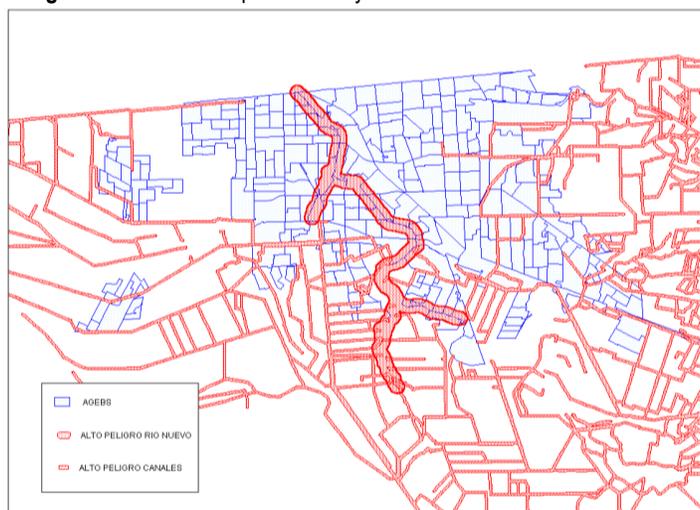
De esta manera hemos visto que aunque la ciudad de Mexicali, es considerada como una ciudad con bajo peligro por inundación con respecto a otras ciudades del país, sí presenta una serie de características que la hacen susceptible de sufrir cualquier tipo de inundación.

### RÍO NUEVO, CANALES Y DRENES

La presencia del río Nuevo y la extensa red de canales y drenes que la ciudad ha incorporado a su crecimiento determinan un nivel de peligro importante para la población asentada en zonas próximas a ellos.

Con el fin de obtener una zonificación del peligro de inundación por estos elementos hidrográficos, se tomaron datos de los registros históricos de inundaciones y se definieron zonas de peligro de 50 metros para los canales y 300 metros para el Río Nuevo. Obteniéndose la zonificación que se presenta en la siguiente figura 50:

Figura 50 Zonificación por canales y río Nuevo



Elaboración propia

Dentro de las características que aumentan la posibilidad de inundaciones por este tipo de elementos se encuentran principalmente la acumulación de basura en los canales, sobre todo llantas y escombros (ver figuras 51-56).

En el caso del río Nuevo, la parte que fue embovedada y transformada en vialidad recientemente ha presentado problemas de inundación cuando se presentan lluvias, pues el agua fluye hacia su antiguo cauce y se acumula inundando la zona. La presencia de basura en el drenaje pluvial provoca que precipitaciones pequeñas en la zona urbana se conviertan en graves problemas de inundación.

**Tabla 16** AGEBs expuestos a inundación por el río Nuevo y vulnerabilidad de la vivienda

AGEB	SUPERFICIE DEL AGEB	VULNERABILIDAD	AGEB	SUPERFICIE DEL AGEB	VULNERABILIDAD
051-7	25%	MB	416-8	15%	B
065-9	50%	MB	462-8	100%	B
280-A	50%	MB	477-4	100%	B
283-3	100%	MB	487-8	50%	B
285-2	50%	MB	030-5	25%	M
421-9	50%	MB	043-2	100%	M
447-3	100%	MB	272-5	100%	M
031-A	20%	B	274-4	100%	M
246-2	15%	B	419-1	100%	M
279-7	50%	B	420-4	50%	M
288-6	20%	B	439-9	50%	M
395-4	20%	B	TOTAL		23

Elaboración propia. MA= Muy Alta A= Alta M=Mediana B=Baja MB= Muy Baja

**Tabla 17** AGEBs expuestos a inundación por canales y vulnerabilidad de la vivienda

AGEB	VULNERABILIDAD	AGEB	VULNERABILIDAD
054-0	MB	322-5	B
055-5	MB	393-5	B
232-0	MB	486-3	B
281-4	MB	494-8	B
284-8	MB	496-7	B
291-8	MB	580-4	B
389-9	MB	388-4	M
408-3	MB	332-9	A
448-8	MB	481-0	A
467-0	MB	531-0	A
529-3	MB	549-0	A
555-6	MB	551-8	A
560-7	MB	579-1	A
567-9	MB	381-2	MA
583-8	MB	387-A	MA
584-2	MB	513-2	MA
585-7	MB	528-9	MA
586-1	MB	559-4	MA
298-A	B	582-3	MA
299-4	B	TOTAL	39

Elaboración propia. MA= Muy Alta A= Alta M=Mediana B=Baja MB= Muy Baja

Figuras 51 a 56 Estado actual de algunos canales en la ciudad de Mexicali (fotos. 2006)

Figura 51



Figura 52



Figura 53



Figura 54



Figura 55



Figura 56



## Índice de vulnerabilidad física por inundación (pluvial, fluvial, infraestructura)

### Escala urbana

De acuerdo a los materiales constructivos de la vivienda, la metodología CENAPRED (2004a:208) considera 24 combinaciones de vivienda con niveles distintos de resistencia a inundaciones. Esta metodología puede ser agrupada en los cinco tipos de vivienda que señala CENAPRED (2004a:317-318) en los temas de vientos y sismos, con el fin de utilizar la información censal de INEGI para el análisis de la vulnerabilidad por inundación (ver Anexo II). Por ejemplo, las viviendas con muros de lámina de cartón y techos del mismo material son poco resistentes al agua (fluvial o pluvial), en cambio, las viviendas con muros y techos rígidos son las menos susceptibles a derrumbarse por acción del agua.

Aproximadamente el 14% de las viviendas de la ciudad de Mexicali presentan una vulnerabilidad física alta o muy alta a inundaciones (viviendas Tipo 3 y 5), el 8% presenta vulnerabilidad media (tipo 4), y un 78% de las viviendas presentan vulnerabilidad baja o muy baja (Tipo 1 y 2). Esto significa que por el material constructivo utilizado en la producción de la vivienda una quinta parte de las viviendas en Mexicali son susceptibles de colapsarse por la exposición al agua de origen pluvial o fluvial.

**Tabla 18** Niveles de vulnerabilidad física por tipología de vivienda

TIPO	CARACTERÍSTICAS	% DE VIVIENDAS	NIVEL DE VF
1	Muros de mampostería con techo rígido. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.	38.23%	MB
2	Muros de mampostería con techo flexible. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.	39.98%	B
3	Muros de adobe con techo rígido. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.	0.20%	A
4	Muros de adobe con techo flexible. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.	8.29%	M
5	Muros de materiales débiles con techo flexible. Generalmente no cuenta con cimentación.	13.30%	MA

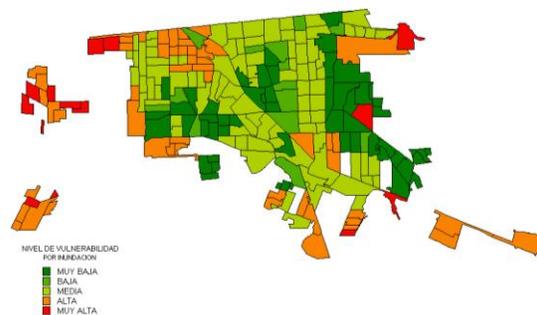
### Escala intraurbana

Con base en el ajuste metodológico por AGEB propuesto (ver Anexo III) y considerando como área urbana las siguientes localidades: Mexicali, Santa Isabel, Progreso y Puebla, se calculó la vulnerabilidad física para cada AGEB de los 224 que integran la ciudad de Mexicali, resultando lo siguiente:

Los AGEB periféricos y la zona antigua de la ciudad presentan una vulnerabilidad física por inundación que va de alta a muy alta, esto representa el

29% de la superficie urbana. Gran parte de la ciudad presenta una vulnerabilidad media (41% de la superficie) y el 30% de la superficie presenta vulnerabilidad baja.

Figura 57 Niveles de vulnerabilidad por tipología de vivienda por AGEB



Elaboración propia

Debido a que la presencia de precipitación pluvial es escasa, la ciudad de Mexicali tiene como resultado de la relación tipo de vivienda – nivel de peligro, un Índice de Vulnerabilidad Física muy bajo (0.08).

### Vulnerabilidad relacionada a coberturas de pavimentación y drenaje pluvial

La vulnerabilidad física relacionada con la precipitación pluvial se refiere a las condiciones construidas que permiten resistir y recuperarse de ciertos niveles de precipitación. Estas condiciones se asocian a la vivienda y al espacio urbano.

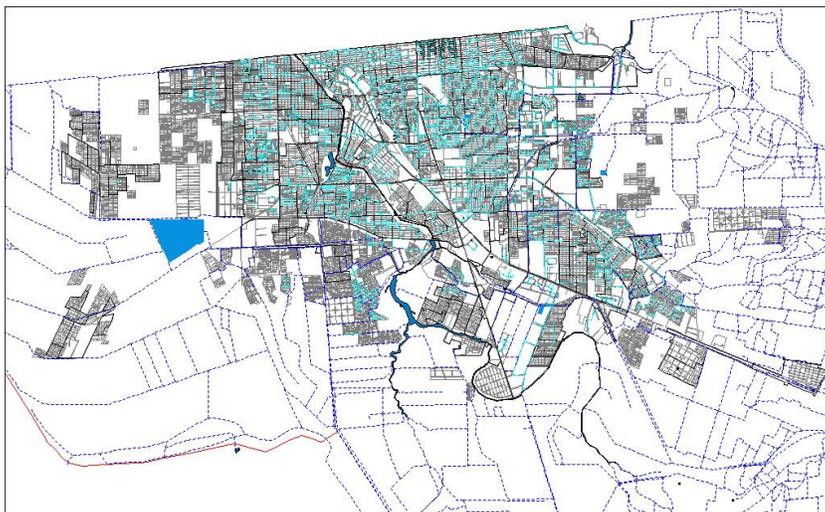
Como se ha visto, Mexicali posee uno de los niveles más bajos de precipitación pluvial en el país, por esta razón se considera que el riesgo de inundación es muy bajo. Sin embargo, esta circunstancia no ha impedido que en diversas ocasiones, las colonias urbanas se hayan inundado. Por lo que más que la peligrosidad de la zona, el aspecto urbano retoma gran importancia en el análisis del riesgo.

Mexicali se asienta en una zona eminentemente plana con una leve inclinación hacia el noroeste y hacia el antiguo cauce del Río Nuevo, por ello, de manera natural, el agua de lluvia tiende a escurrir hacia dichas zonas. El suelo de Mexicali es arcilloso expansivo predominantemente impermeable, esto significa que la presencia de una cantidad generosa de agua en combinación con lo plano del terreno, provocan el estancamiento de agua en diversas zonas de la ciudad.

Las inundaciones en colonias urbanas están asociadas principalmente a la carencia de drenaje pluvial y pavimentación, que entre otras cosas, favorecen el estancamiento del agua y la producción de lodos. Por ello, el análisis de la

vulnerabilidad física urbana considera: la cobertura de pavimentación y la cobertura de drenaje pluvial.

**Figura 58** Distribución de drenaje pluvial y canales agrícolas



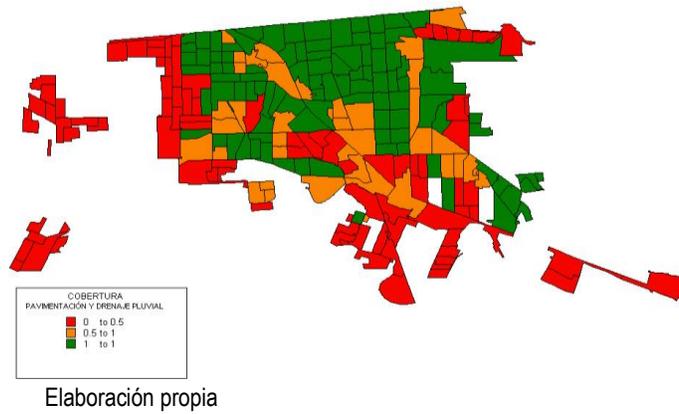
Elaboración propia

La presencia de calles no pavimentadas y de predios baldíos (suelo desnudo) de gran superficie, facilitan el estancamiento del agua y la producción de lodos, además afectan la red de drenaje pluvial próxima a ellos con el acarreo de dichos materiales, cubriendo alcantarillas y saturando tuberías.

El drenaje pluvial está constituido por una red de tuberías que desfogon principalmente hacia el Río Nuevo y hacia algunos drenes agrícolas que atraviesan la ciudad (ver figura 58), las alcantarillas permiten la captación del agua de lluvia y la transportan hacia la red pluvial o a la red sanitaria. La saturación de la red pluvial puede ocasionar la acumulación de agua en las colonias urbanas mientras que la saturación de la red sanitaria puede ocasionar que el agua ingrese a las viviendas vía drenaje sanitario.

En la siguiente figura 59 se muestran los distintos niveles de cobertura de drenaje pluvial y pavimentación por AGEB. En color rojo se muestran los AGEB que carecen de ambos servicios y por ello son las zonas más vulnerables a inundación por precipitación pluvial. En color naranja se representan los AGEB que cuentan con pavimentación pero carecen de drenaje pluvial o existe una cobertura parcial del mismo y por lo tanto, son medianamente susceptibles al a inundación. En color verde se muestran los AGEB que cuentan con ambos servicios y por lo tanto, son los de menor vulnerabilidad a inundación por lluvias.

**Figura 59** Cobertura pluvial y pavimentación



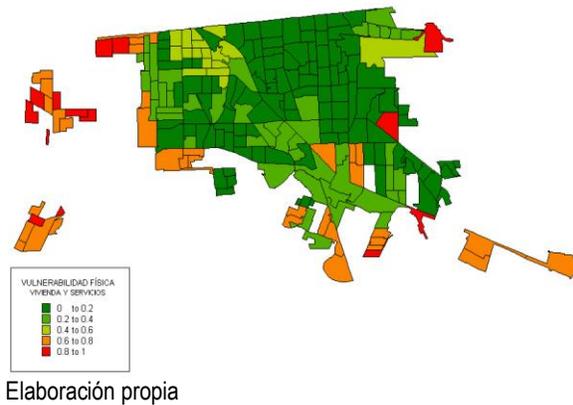
La relación entre la cobertura de pavimentación y drenaje con la tipología de vivienda permite definir distintos niveles de vulnerabilidad a inundación, relacionado con el estancamiento de agua y la capacidad de resistencia de la vivienda. Estos niveles se muestran en la tabla 19:

**Tabla 19** Niveles de vulnerabilidad por tipología de vivienda y cobertura de servicios

TIPOLOGIA DE VIVIENDA	SIN DRENAJE, NI PAVIMENTO	SIN DRENAJE, CON PAVIMENTO	CON DRENAJE Y PAVIMENTO
5	Muy alta	Alta	Media
25	Alta	Media	Media
2	Media	Baja	Baja
12	Baja	Baja	Muy baja
1	Muy baja	Muy baja	Muy baja

Para la ciudad de Mexicali se obtuvo que el 80% de las viviendas presentan vulnerabilidad física baja o muy baja, mientras que un 14% presenta vulnerabilidad alta a muy alta distribuidas principalmente en la periferia urbana (ver figura 60).

**Figura 60** Vulnerabilidad urbana a inundación

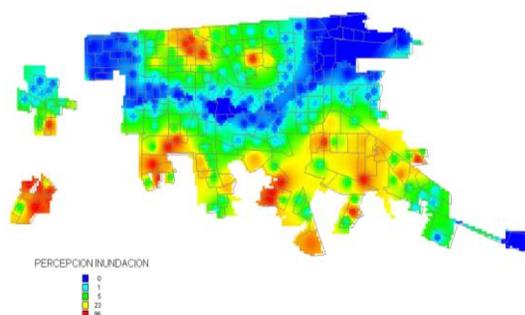


## Percepción del riesgo

Alrededor del 14% de la población de Mexicali identifica el peligro de inundación como un problema en su colonia, mientras que el 5% de ellos reporta que ha sufrido pérdida de bienes o problemas de salud (o a las personas de su hogar) por inundaciones.

La percepción del peligro de inundación se da principalmente en las zona sur de la ciudad y en las inmediaciones al boulevard Río Nuevo (primer tramo del Río Nuevo), coincidiendo con la expresión espacial de la vulnerabilidad y de las zonas de afectación históricas.

**Figura 61** Percepción social de inundación



Elaboración propia a partir de los proyectos: “*Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali*” (UABC-2006) y “*Pobreza y niveles de Bienestar en Mexicali*” (UABC-SEDESOL, 2006)

## 4.7. MASAS DE AIRE Y SISTEMAS FRONTALES

Una masa de aire se define como un cuerpo de aire cuyas propiedades físicas, sobre todo de temperatura y contenido de vapor de agua, son uniformes en sentido horizontal y cuyas dimensiones pueden ser de más de 1,000 km. de cubrimiento. Las masas de aire se producen en los continentes o sobre los océanos, en regiones donde el aire adquiere las características físicas de la zona latitudinal de ubicación (SEDESOL-COREMI, 2004a).

Las regiones de contraste de temperatura, humedad, presión, viento y energía potencial que se ubican entre dos masas de aire se llaman frentes o zonas frontales. Normalmente la densidad del aire es diferente de una capa a otra, de esta manera cuando dos masas de aire de distinto régimen térmico (polares o tropicales) convergen, existe una superficie de separación (SEDESOL-COREMI, 2004a).

En México, durante la temporada de invierno, los vientos polares descienden hasta los límites del Trópico de Cáncer, generando descensos en la temperatura y la formación de varios meteoros.

Los principales hidrometeoros ocasionados por los sistemas frontales en el estado de Baja California son las lluvias de invierno, y en las zonas montañosas la precipitación en forma de nieve; en las estaciones de transición, cuando se tiene la invasión de los primeros frentes fríos (en otoño), o bien los últimos de la temporada (en primavera), se pueden presentar tormentas eléctricas y granizadas, por el hecho de que se forman nubes cumuliformes en el seno, o bien de un frente cálido, ó de una superficie continental caliente, respecto de la masa de aire que domina a la región.

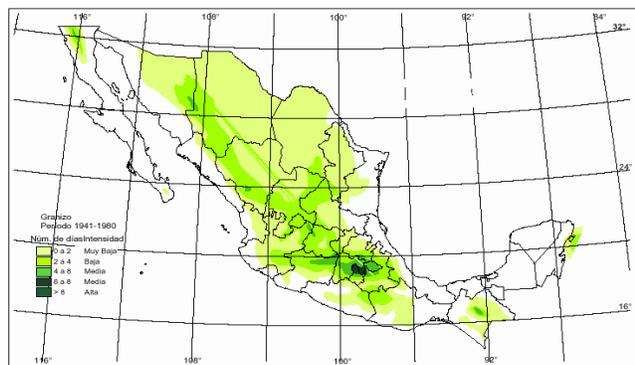
Otro fenómeno atmosférico que se presenta en la región durante la temporada de invierno son las heladas, las cuales están asociadas con una masa de aire fría continental, originada en la parte sur de Canadá.

En lo que sigue se describirán brevemente este tipo de meteoros ya que su presencia en la región es parte de los peligros a que está sujeta la ciudad de Mexicali.

#### 4.8. PELIGRO POR GRANIZADAS

El granizo es la precipitación de agua en estado sólido, en forma de granos de hielo de distintos tamaños. La magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño. En las zonas rurales, los granizos destruyen las siembras y plantíos; a veces causan la pérdida de animales de cría. En las regiones urbanas afectan a las viviendas, construcciones y áreas verdes. En ocasiones, el granizo se acumula en cantidad suficiente dentro del drenaje para obstruir el paso del agua y generar inundaciones durante algunas horas. Las zonas más afectadas de México por tormentas de granizo son el altiplano de México y algunas regiones de Chiapas, Guanajuato, Durango y Sonora (CENAPRED, 2001a).

Figura 62 Zonas de peligro por granizada en México



Tomado de CENAPRED, 2001

La figura 62 muestra las zonas de peligro por granizada, en el caso de Baja California, la zona de peligro se localiza en la Sierra de San Pedro Mártir. La ciudad de Mexicali y su valle, de acuerdo a este mapa, no se encuentra en una zona de peligro por granizada, no obstante, en Mexicali se presentan granizadas principalmente a fines de invierno, en el verano y hasta mediados de otoño, ya sea como producto de una surgencia de humedad, remanentes de perturbaciones tropicales o de las invasiones de sistemas ciclónicos de latitudes medias, en los que sus masas de aire relativamente frías al pasar a la superficie continental caliente, se inestabilizan a tal grado que se producen nubes cumuliformes, necesarias para la formación de granizo (García Cueto, 1988). En la tabla 20 se exponen algunos datos relacionados con este hidrometeoro.

**Tabla 20** Algunos daños causados por Granizadas en Mexicali y su valle.

Fecha	OBSERVACIONES
11/8/1990	Granizo de aproximadamente de 1.5 pulgadas de diámetro.
7/3/1992	Granizada en el Ej. Nuevo León y periferia de la ciudad de Mexicali
13/3/1992	La lluvia, granizo y fuertes vientos afectaron tanto las vialidades pavimentadas como las no pavimentadas en lo que corresponde a la Primera y Segundo cuadro de la ciudad
28/3/1992	Lluvias, granizada, precipitación pluvial, inundaciones.
6/5/1992	Granizada en Mexicali y su Valle así como en la vecina ciudad de Imperial California
27 y 28/9/1995	Lluvias, rayos y granizo
17/02/2005	Fuertes lluvias, vientos y granizo, en forma intermitente por cerca de 4 hrs.

Fuente: Proyectos “*Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali*” (UABC, 2005) y “*Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali*” (UABC, 2006) y CNA

Las granizadas hasta el momento no han sido un fenómeno que provoque graves consecuencias en la ciudad.

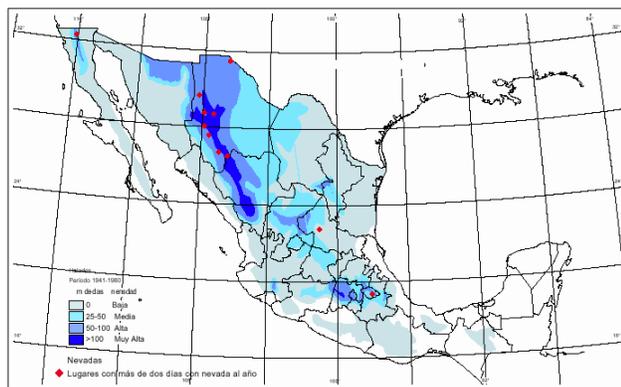
#### 4.9. PELIGRO POR HELADAS, NEVADAS Y NIEBLA

Una helada ocurre cuando la temperatura del aire húmedo cercano a la superficie de la tierra desciende a 0° C. Existen dos fenómenos que dan origen a las heladas; el primero consiste en la radiación, durante la noche, desde la Tierra hacia la atmósfera que causa la pérdida de calor del suelo; el otro es la advección, debido al ingreso de una gran masa de aire frío, proveniente de las planicies de Canadá y Estados Unidos (CENAPRED, 2001a).

Las heladas por radiación se forman en los valles, cuencas y hondonadas próximas a las montañas, ya que son zonas de acumulación de aire frío. Durante la noche desciende el aire húmedo y se concentra en las partes bajas. Para que esta helada ocurra, se requiere de la ausencia de viento, cielo despejado, baja

concentración de vapor de agua, y fuertes inversiones térmicas en la superficie. Las heladas por advección suelen tener vientos mayores de 15 km/h y sin inversión térmica. Estas heladas son muy dañinas ya que es muy difícil proteger los cultivos de la continua transferencia de aire frío que está en movimiento (CENAPRED, 2001a).

**Figura 63** Zonificación de heladas y nevadas en México



Tomado de CENAPRED, 2001:127

Cuando la condensación tiene lugar en una masa de aire ascendente que se ha enfriado a temperaturas por debajo de la de congelación, tienden a formarse cristales de hielo de forma hexagonal, en lugar de gotitas líquidas (Donn, 1978). Para que ocurra una tormenta de nieve es necesario que se unan varios de los cristales de hielo hasta un tamaño tal que su peso sea superior al empuje de las corrientes de aire (CENAPRED, 2001a).

Baja California con excepción de zonas con mayor altitud como la sierra San Pedro Mártir y la Rumorosa se encuentra en una zona de peligrosidad baja por heladas y, con respecto a nevadas la peligrosidad es casi nula (ver figura 63).

En Mexicali y su valle las heladas ocurren por la invasión de masas de aire de origen polar ártico o polar marítimo modificado durante el invierno. Las fuertes temperaturas se deben a una fuerte advección de aire frío, aunado al enfriamiento radiactivo de la noche. La mayor parte de las heladas ocurren cuando la región está bajo la influencia de una alta presión continental, ubicada al norte de la región. Para el área urbana en estos últimos 8 años no se ha presentado este fenómeno, al parecer por que la urbanización ha modificado las condiciones térmicas creando una isla de calor urbano (García Cueto, 2006).

La ocurrencia de nevadas en Mexicali es muy rara, presentándose con mayor frecuencia en los cerros y sierras cercanas al valle (Cucapáh, El Mayor, Juárez). Algunas nevadas importantes ocurridas en el valle han sido la del 12 de

diciembre de 1932 y la del 12 de diciembre de 1939, está última, reportada por la estación climatológica de Imperial, California.

En lo que respecta a las nieblas, que es un fenómeno acuoso formado por minúsculas gotitas de agua de suspensión en el aire, se presentan en el invierno y fines del otoño en Mexicali y su valle, aunque su frecuencia de ocurrencia es mínima (en total se presentaron 14 en los últimos años). Regularmente ocurren cuando se presentan en la región un sistema de alta presión, que fue inmediatamente antecedido por un sistema frontal, que al provocar lluvias en el valle, aumenta el contenido de humedad en el ambiente; una de las condiciones principales, que junto con la estabilidad atmosférica y vientos muy débiles (causados por la alta presión), generan las condiciones adecuadas para la formación de este hidrometeoro. La niebla representa un riesgo para la ciudadanía por la baja visibilidad que puede provocar accidentes automovilísticos.

De manera general, las heladas, granizadas, nieblas y nevadas son fenómenos meteorológicos que no se presentan con mucha frecuencia en Mexicali y su valle. En la tabla 21 se presenta el registro histórico de esos fenómenos atmosféricos en la región.

**Tabla 21** Registro histórico de nevadas y heladas en Mexicali

FECHA	DANOS
12/12/1932	Nevada en la Ciudad de Mexicali
12/12/1939	Nevada en Mexicali
01/01/1950	Helada Valle Imperial y Mexicali con temperaturas de menos de 20 grados Fahrenheit. Daños a los cultivos
05/01/1971	La temperatura descendió hasta 32 °F por la noche (0.1°C) y en la madrugada volvió a helar. La carretera a Tijuana cerrada por la intensa nieve.
06/01/1971	Onda gélida azota a Mexicali y su Valle. Se registró una temperatura 5.2° C bajo cero con vientos fuertes
19/12/1987	Temperaturas de bajo 0
04/11/1988	Nevada en la Sierra Cucapáh y Helada en la Col. Progreso.
11-14/08/1990	Lluvias torrenciales, granizo de aproximadamente de 1.5 pulgadas de diámetro.
07/03/1992	Granizada en el Ejido Nuevo León y periferia de la ciudad de Mexicali Baja California
01/1993	Helada en Mexicali Baja California 0.0 °C ( 32.0° F)
24/11/2000	Defunciones por frío

Fuente: Proyectos “*Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali*” (UABC, 2005) y “*Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali*” (UABC, 2006)

A pesar de la poca presencia de estos fenómenos en la región, cuando llegan a ocurrir tienen consecuencias considerables principalmente en la zona del valle de Mexicali, pues afectan los cultivos agrícolas ocasionando graves pérdidas para quienes se dedican a esta actividad. En la ciudad, la presencia de estos fenómenos repercuten principalmente en la salud de la población con enfermedades respiratorias e hipotermia y en algunos casos provocan la muerte de niños y ancianos.

### Índice de vulnerabilidad física por heladas, nevadas y granizadas

Las heladas, nevadas y granizadas ocurren con poca frecuencia en Mexicali, sin embargo, éstas tienden a afectar principalmente a las viviendas precariamente construidas, y aquellas con cubiertas o techos frágiles. Las nevadas y granizadas pueden ser antecedente de inundaciones urbanas.

#### Escala urbana

De acuerdo a los materiales constructivos de la vivienda, la metodología CENAPRED considera cinco principales tipos de vivienda (ver tabla 22) las cuales presentan niveles distintos de resistencia a las nevadas y granizadas. Por ejemplo, las viviendas con muros y techos de lámina de cartón son más susceptibles a colapsarse por efecto del granizo o la nieve, en cambio, las viviendas con muros y techos rígidos son las menos susceptibles a ser dañadas por estos eventos.

Aproximadamente el 22% de las viviendas de la ciudad de Mexicali presentan una vulnerabilidad física alta o muy alta a granizadas (viviendas Tipo 4 y 5), y un 78% de las viviendas presentan vulnerabilidad baja o muy baja (Tipo 1 y 2). Esto significa que por el material constructivo utilizado en la producción de la vivienda poco más de la quinta parte de las viviendas en Mexicali son susceptibles de colapsarse por la exposición a granizo o nieve.

**Tabla 22** Niveles de vulnerabilidad física por tipología de vivienda

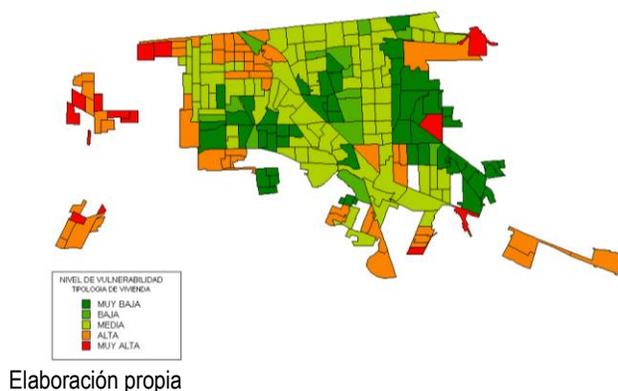
TIPO	CARACTERÍSTICAS	% DE VIVIENDAS	NIVEL DE VF
1	Muros de mampostería con techo rígido. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.	38.23%	MB
2	Muros de mampostería con techo flexible. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.	39.98%	B
3	Muros de adobe con techo rígido. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.	0.20%	M
4	Muros de adobe con techo flexible. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.	8.29%	A
5	Muros de materiales débiles con techo flexible. Generalmente no cuenta con cimentación.	13.30%	MA

#### Escala intraurbana

Con base en el ajuste metodológico por AGEB propuesto (ver Anexo III) y considerando como área urbana las siguientes localidades: Mexicali, Santa Isabel, Progreso y Puebla, se calculó la vulnerabilidad física para cada AGEB de los 224 que integran la ciudad de Mexicali, resultando lo siguiente:

Los AGEB periféricos y la zona antigua de la ciudad presentan una vulnerabilidad física por granizada o nevada que va de alta a muy alta, esto representa el 29% de la superficie urbana. Gran parte de la ciudad presenta una vulnerabilidad media (40% de la superficie) y el 29% de la superficie presenta vulnerabilidad baja o muy baja.

**Figura 64** Vulnerabilidad por tipología de vivienda



Debido a que la presencia de nevadas o granizadas es escasa, la ciudad de Mexicali tiene como resultado de la relación tipo de vivienda – nivel de peligro, un Índice de Vulnerabilidad Física muy bajo (0.04), el cálculo de este índice a escala intraurbana muestra un comportamiento homogéneo en todos los AGEBs.

### Percepción del riesgo

La percepción social del riesgo por nevadas, granizadas y heladas en general es muy bajo. Aproximadamente el 3% de los habitantes de la ciudad identifican a las heladas como un peligro o problema en su colonia, y sólo el 2% identifica a las granizadas. Esta población se distribuye al sureste de la ciudad. El nivel de percepción en cierta forma refleja la baja frecuencia de este tipo de eventos y por lo tanto, la escasa presencia de daños.

## 4.10. TEMPERATURAS EXTREMAS

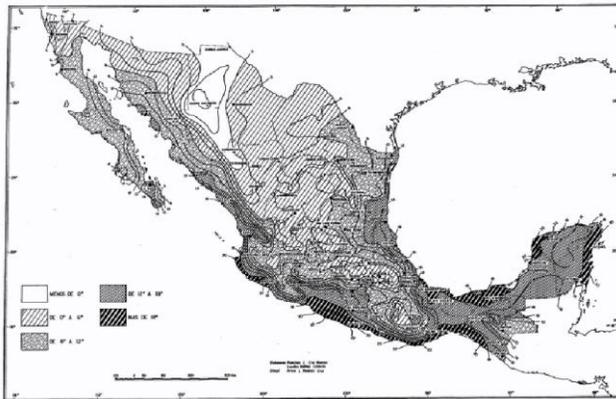
### Calor extremo y Frío Extremo

Las temperaturas extremas que se presentan en un lugar son consecuencias de sistemas atmosféricos atípicos que se asientan en una región y pueden dar lugar en el invierno a ondas de frío, y en el verano a ondas de calor. Generalmente las temperaturas que se presentan son de una magnitud de dos a tres veces desviaciones estándar, respecto a los valores normales, tanto de temperaturas

mínimas, como de temperaturas máximas. Estos valores térmicos tienen una profunda influencia en la salud de los habitantes, sobre todo en los niños y ancianos, más aún si los periodos en los que se presentan son prolongados.

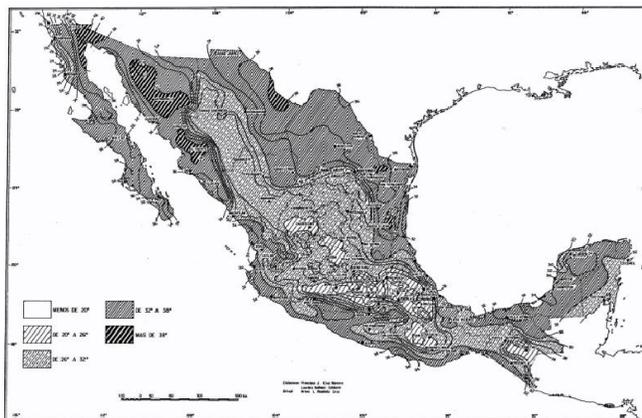
A nivel nacional, las mayores temperaturas se registran, por lo general, en abril en el centro del país, en el sur de la altiplanicie mexicana, en mayo en la parte sur del trópico y en junio al norte del trópico (Maderey-Rascon, 2001).

**Figura 65** Distribución de temperaturas mínimas en el mes de enero.



Tomado de Maderey-Rascon, *et al.* 2001

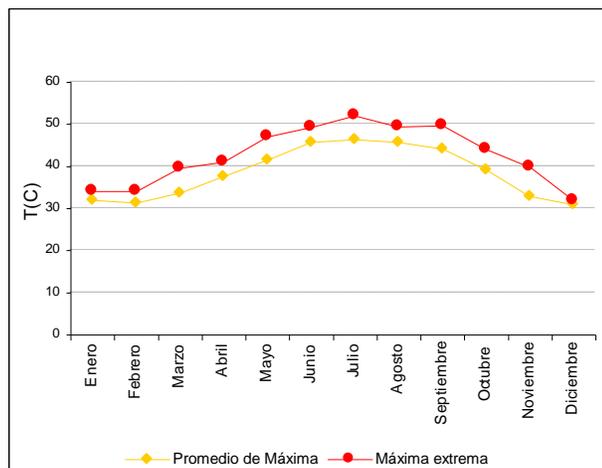
**Figura 66** Distribución de temperaturas máximas en el mes de julio.



Tomado de Maderey-Rascon, *et al.* 2001

La ciudad de Mexicali presenta un tipo de clima cálido, seco, muy árido, con régimen de lluvias de invierno y con una oscilación anual de temperaturas medias mensuales muy extremosa; de acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1981), es del tipo BW(h')hs(x')(e'). La temperatura media anual es de 22.4°C, pero se presentan grandes contrastes térmicos, tanto diarios como estacionales; en el verano se tienen temperaturas máximas que han rebasado los 50°C, mientras que en el invierno las temperaturas mínimas pueden ser inferiores a los 0°C.

**Figura 67** Gráfica de temperaturas máximas en Mexicali 1948-2005



Elaboración propia a partir de estación meteorológica Instituto de Ingeniería de la UABC

La ciudad de Mexicali puede ser clasificada con un nivel de peligro Muy Alto por calor extremo, tomando en cuenta las temperaturas máximas promedio del mes de Julio que se muestran en la figura 68, mes en que se presentan las más altas temperaturas en la zona.

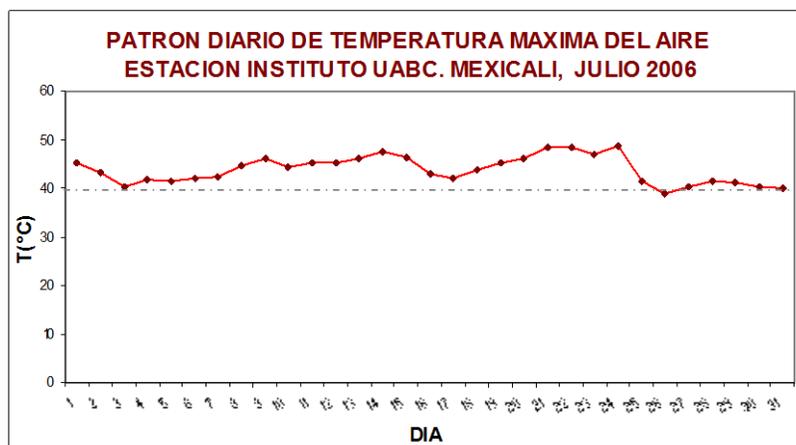
Una evaluación y comparación bioclimática realizada para varias ciudades del país, que tienen clima cálido indica que la gente residente de Mexicali tiene que hacer un mayor esfuerzo para hacerle frente al calor, que por ejemplo Culiacán y Mérida en los meses de verano (Tejeda y García, 2002); si se tomara en cuenta únicamente la temperatura se podría ver que la población tiene que soportar cargas térmicas que son superiores a los 40°C, lo cual es a todas luces un enorme riesgo para la población que realiza actividades en exteriores, ya que el organismo puede insolarse y agotarse si se tiene exposición al sol y a la actividad física. Una onda de calor o de frío puede provocar silenciosa e invisiblemente un número de muertes considerables. Efectos en la salud humana por efecto del calor extremo, se manifiestan desde erupciones cutáneas, deshidratación, insolación, hasta golpe de calor que puede terminar en muertes fatales. Es claro también que las ondas cálidas y frías que se presentan de

manera regular en la región tienen un mayor impacto en la población con ingreso bajo que habita en viviendas precarias carentes de sistemas climatizadores.

En la ciudad de Mexicali, las altas temperaturas que se presentan principalmente en los meses de julio y agosto en prácticamente cualquier verano del que se tenga registro, han ocasionado graves estragos a la población; si a esto le agregamos los cambios naturales como el aparente aumento en el contenido de vapor de agua atmosférico que se está presentando a nivel regional, o los cambios urbanos como el aumento de zonas asfaltadas, la inmigración de personas que provienen de otros estados con climas menos extremos, el aumento de población que habita en asentamientos irregulares sin servicios de electricidad y agua, etc., hace que la situación se torne aún más crítica.

Un caso extremo de la presencia de una onda cálida en el mes de julio de 2006 ha dejado constancia de su peligrosidad en la ciudad de Mexicali debido a que se reportaron 24 muertos por esta causa. Las altas temperaturas, aunadas a una alta humedad ambiental, en un período que se prolongó por más de 20 días tuvo consecuencias funestas, no solamente en esta ciudad, ya que reportes de la NOAA (Administración Nacional de la Atmósfera y del Océano de Estados Unidos) indican que en algunas ciudades de California ocurrieron también varios decesos, y no solamente en ese país, sino también en varias ciudades de Europa existe un reporte similar. Todas estas contingencias atmosféricas parecen estar enlazadas al cambio climático global por lo que se ve que es necesario que en Mexicali se cuente con un sistema de prevención y aviso oportuno y eficiente para hacerle frente a estos peligrosísimos eventos atmosféricos.

**Figura 68** Gráfica de Temperaturas Máximas en Mexicali durante julio del 2006



Elaboración propia a partir de estación Instituto de Ingeniería de la UABC, julio 2006

En la gráfica 67 se presenta el comportamiento de la temperatura máxima del aire para el mes de julio de 2006; a excepción del día 26, que se registró un

valor de 38.7°C (101.7°F), todos los demás días tuvieron valores superiores a los 40°C (104.0°F). El valor máximo registrado fue el día 24 con 48.8°C (119.8°F). Estos valores, aunque son muy altos, no distan de ser diferentes a los ocurridos en años anteriores, por ejemplo para el año 2005 en el mes de julio se registró una temperatura máxima de 50.0°C (122.0°F), y en el año 2004 para ese mismo mes de julio se alcanzó una temperatura de 47.1°C (116.8°F). Lo que parece haber sido causa de las defunciones por el “golpe de calor” fue la combinación de alta temperatura-alta humedad ambiental, lo que está muy estrechamente relacionado con el enorme esfuerzo que el cuerpo humano le debe hacer al calor para estar en el rango de condiciones de habitabilidad.

**Tabla 23** Registro histórico de temperaturas máximas en Mexicali

FECHA	DAÑOS
30/07/1971	26 muertos por insolación y deshidratación en Mexicali. En 1971 para estas fechas se habían registrado 14 muertos por las mismas causas
17/07/1974	905 personas atendidas por deshidratación principalmente niños
09/07/1976	685 deshidratados en la Cruz Roja de Mexicali por la onda cálida. De 30 a 35 personas diarias deshidratadas. Temperatura de 120° F
27/06/1990	Temperatura extrema en Mexicali Baja California de 49°C ( 120.2 ° F )
18/07/1992	Sube la temperatura en Mexicali Baja California a 49°C ( 120.2 F)
17/08/1992	Sube la temperatura en Mexicali Baja California a 49°C ( 120.2 F)
17/06/1993	Temperatura de Mexicali Baja California de 50.0°C (122° F)
02/07/1995	Onda de calor en Mexicali Baja California temperaturas de 38°C (100°F)
28/07/1995	Temperatura record de 52°C ( 125.6°F) en Mexicali Baja California
02/09/1995	Humedad y fuerte temperatura en Mexicali Baja California
31/07/1996	Temperatura en Mexicali Baja California de 50°C (122° F), murió un hombre de 75 años de edad víctima del calor de Mexicali, fuertes temperaturas.
08/1996	Fuerte onda cálida azota a Mexicali Baja California alcanza los 49.5°C (121.1° F)
27/07/1998	Temperatura de Mexicali 49.0°C (120.2°F)
04/08/1998	Temperatura de Mexicali 49.5°C (121.1°F)
19/07/2000	Temperatura de Mexicali 49.0°C (120.2°F)
02/08/2001	Temperatura de Mexicali 48.2°C (118.8°F)
10/08/2002	Temperatura de Mexicali 48.0°C (118.4°F)
13/07/2003	Temperatura de Mexicali 49.0°C (120.2°F)
08/08/2004	Temperatura de Mexicali 46.9°C (116.4°F)
17/07/2005	52 casos de deshidratación, golpe de calor y quemaduras solares. Temperatura de Mexicali 50.0°C (122.0°F)
24/07/2006	24 muertos por golpe de calor en Mexicali Temperatura de Mexicali 48.8°C (119.8°F)

Elaboración propia a partir de los proyectos: “*Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali*” (UABC, 2005) y “*Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali*” (UABC-2006).

Existen algunos elementos que resaltan en las condiciones de las personas que mueren de golpe de calor o insolación por las altas temperaturas de la ciudad y que son importantes de anotar para que de estos se deriven medidas de prevención o mitigación apropiadas. Un número importante de estos decesos esta relacionado con la realización de actividades al aire libre en donde las

**Comentario [UABC2]:** preguntar a judi

personas se encuentran directamente expuestas al sol por varias horas provocando graves consecuencias en su salud, un caso ejemplar es la albañilería. Otras personas también se exponen directamente a las altas temperaturas pero no por la realización de actividades productivas, es el caso de los vagabundos y migrantes, donde también se han presentado muertes. Otro elemento es la falta de servicios públicos como la electricidad, en algunos asentamientos humanos irregulares que han venido proliferando en la ciudad, limitando el uso de aparatos climatizadores en tales viviendas<sup>17</sup>. Las características de la vivienda, materiales, la falta de ventanas o ventilación aunado a la falta de aire acondicionado, son elementos que también pueden influir en aumentar los efectos del calor extremo en las personas principalmente de bajos ingresos.

En relación al frío extremo en la ciudad representa también un nivel de peligro alto a nivel nacional, solamente superado por regiones del estado de Chihuahua (ver figura 63)

Los efectos peligrosos del frío extremo en la salud de la población pueden incluir deshidratación, entumecimiento, escalofríos y, en casos extremos, congelación e hipotermia. Los efectos asociados al estrés debido al frío se dividen en efectos sistémicos y localizados, según se vea afectado todo el organismo o sólo determinadas áreas del mismo.

El entumecimiento y la congelación se consideran efectos localizados mientras que la hipotermia es el efecto sistémico más grave del estrés debido al frío. Una vez que el organismo pierde su capacidad de mantener su temperatura normal, desciende la temperatura corporal, presentándose otros síntomas, tales como escalofríos violentos, arrastre de palabras al hablar, confusión, alucinaciones, debilitación e irregularidad del pulso, pudiendo llegar a provocar la pérdida de conocimiento.

Las respuestas subjetivas de los trabajadores son indicadores válidos para reconocer el estrés debido al frío en el lugar de trabajo, debiendo prestar especial atención a la presencia de entumecimiento y escalofríos, que constituyen la respuesta del organismo a este tipo de estrés y sirven de mecanismo de protección al aumentar la actividad metabólica.

Si se produce un descenso notable en la destreza general y en la habilidad manual de los trabajadores, con disminución de la fuerza muscular y descenso de la agudeza visual y auditiva, es posible que se deba al estrés debido al frío,

---

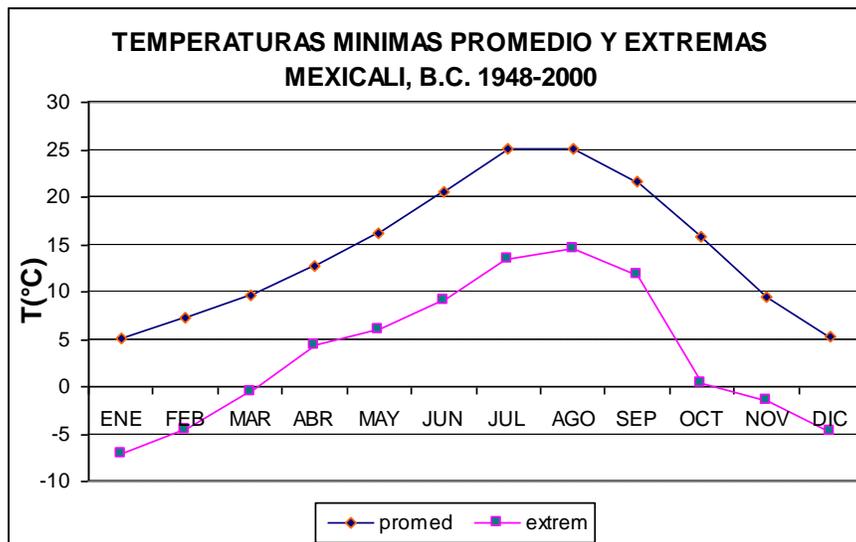
<sup>17</sup> Tan sólo en julio de 2006 se tenía un reporte de 40 asentamientos suburbanos y rurales sin electrificación en Mexicali. Sin embargo, a partir de las muertes ocasionadas por el calor, el gobierno municipal en conjunto con la Comisión Federal de Electricidad comenzaron a introducir el servicio en algunas colonias ("*Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali*" (UABC, 2005) y "*Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali*" (UABC-2006)

pudiendo generar riesgos adicionales para la seguridad del afectado y la de sus compañeros, derivados de la lentitud de reacción y la torpeza de movimientos.

Las temperaturas mínimas medias más bajas en la ciudad de Mexicali se presentan en los meses de invierno: diciembre, enero y febrero, con valores de 4.6°C (40.3°F), 4.3°C (39.7°F) y 6.3°C (43.3°F), respectivamente. Las temperaturas más bajas reportadas ocurrieron el 13 de diciembre de 1963, con un valor de -7.0°C (19.4°F), y posteriormente el 22 de diciembre de 1968, con un valor de -4.7°C (23.6°F). En la figura 69 se muestra el comportamiento mensual de las temperaturas mínimas y los valores extremos que se han registrado entre los años de 1948 a 2000.

En la ciudad de Mexicali, el registro histórico de eventos por temperaturas bajas muestra que las principales consecuencias de este fenómeno en la población están relacionadas con la presencia de casos de hipotermia, enfermedades respiratorias en niños y ancianos, intoxicaciones por bióxido de carbono por el uso inadecuado aparatos de calefacción caseros en espacios reducidos o sin ventilación, esto asociado con la falta de servicio de energía eléctrica en algunos asentamientos humanos irregulares ubicados principalmente en las periferias.

Figura 69 Temperaturas mínimas promedio y extrema en Mexicali (1948-2000)



Elaboración propia a partir de estación Instituto de ingeniería de la UABC, julio 2006

## Índice de vulnerabilidad física por temperaturas extremas

### *Escala urbana*

La vulnerabilidad al frío o al calor extremo se relaciona generalmente a los grupos de edad de la población, en el entendido que niños y ancianos son generalmente los más afectados durante las épocas de verano e invierno y a la actividad que realiza el individuo, sobre todo si ésta se desarrolla en el exterior. Sin embargo, la exposición a la temperatura desde un enfoque urbano se explica principalmente a partir de los materiales constructivos de la vivienda y los servicios con que cuenta la misma.

Cada material constructivo presenta un nivel de conductividad o resistividad térmica<sup>18</sup> específica, por lo que facilitará o dificultará el paso del calor o el frío hacia el interior de la vivienda. Esto significa que de acuerdo a los materiales constructivos de la vivienda, es posible detectar niveles distintos de resistencia a las temperaturas extremas.

Aunque no existe una metodología específica para evaluar la vulnerabilidad física por temperaturas extremas, es posible caracterizar las condiciones preponderantes en la ciudad, a partir de la información de INEGI, los datos de conductividad térmica de materiales de Ashrae (2001), así como la tipología propuesta por CENAPRED (2004a:317-318) para los temas de sismo y viento<sup>19</sup>. (Ver apéndice: Índice de Vulnerabilidad Física).

Las viviendas con muros y techos de lámina presentan menor resistencia a la temperatura y por lo tanto, son más vulnerables, en cambio las viviendas con muros de adobe y techo de teja son más resistentes a las temperaturas por lo que su vulnerabilidad es muy baja.

Aproximadamente el 2% de las viviendas de la ciudad de Mexicali presentan una vulnerabilidad física alta o muy alta a temperaturas extremas (viviendas Tipo 5a, 2a y 5c), un 40% presentan vulnerabilidad media (tipo 1, 4a y 5d) y un 57% de las viviendas presentan vulnerabilidad baja o muy baja (Tipo 2b,3, 5e, 5f y 4b). Esto significa que por el material constructivo utilizado en la producción de la vivienda una octava parte de las viviendas en Mexicali presentan poca resistencia a la temperatura y por ello, exponen a sus habitantes a este peligro.

---

<sup>18</sup> Conductividad térmica: es la capacidad de los materiales para dejar pasar el calor; Resistividad térmica: es la capacidad de los materiales para no dejar pasar el calor.

<sup>19</sup> Esta tipología dista mucho de ser la más adecuada para la evaluación de la ganancia de calor en la vivienda, por lo uno de los retos a futuro será desarrollar una metodología más apropiada que nos brinde información más certera sobre el tema en Mexicali.

**Tabla 24** Niveles de vulnerabilidad física por tipología de vivienda

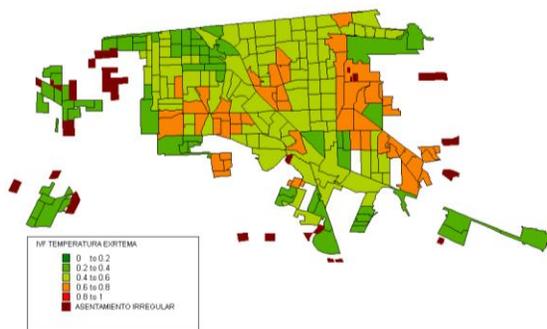
TIPO	CARACTERÍSTICAS	% DE VIVIENDAS	NIVEL DE VF
1	Muros de mampostería con techo rígido	38.53	M
2a	Muros de mampostería con techo flexible tipo A	1.76	A
2b	Muros rígidos con techos flexibles tipo B	30.07	B
3	Muros de adobe con techo rígido	0.20	B
4a	Muros de adobe con techo flexible tipo A	0.54	M
4b	Muros de adobe con techo flexible tipo B	7.75	MB
5a	Muros flexibles tipo A con techos flexibles tipo A	0.48	MA
5b	Muros flexibles tipo A con techos flexibles tipo B	0.89	M
5c	Muros flexibles tipo A con techos rígidos	0.03	A
5d	Muros flexibles tipo B con techos flexibles tipo A	0.49	M
5e	Muros flexibles tipo B con techos flexibles tipo B	10.73	MB
5f	Muros flexibles tipo B con techos rígidos	0.12	B

*Escala intraurbana*

La información censal agregada por AGEB básicamente define dos tipos de materiales en muros y techos (flexibles y rígidos) y dentro de los materiales flexibles se integran materiales térmicos y no térmicos. Por esta razón es difícil aplicar la tipología anterior a nivel de AGEB.

Con base en el ajuste metodológico por AGEB propuesto (ver Anexo III) y considerando como área urbana las siguientes localidades: Mexicali, Santa Isabel, Progreso y Puebla, se calculó la vulnerabilidad física para cada AGEB de los 224 que integran la ciudad de Mexicali, resultando que las viviendas periféricas, construidas de materiales ligeros predominantemente térmicos, son las más resistentes a las temperaturas extremas.

**Figura 70** Índice de vulnerabilidad física por tipología de vivienda

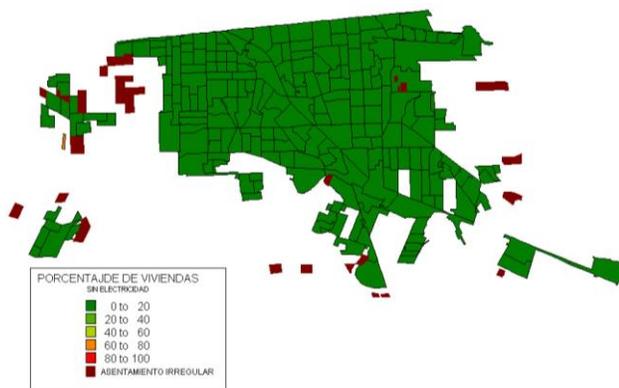


Elaboración propia

Por tipología de vivienda, el 29% de la superficie urbana está considerada con nivel bajo o muy bajo de vulnerabilidad física a temperaturas extremas, mientras que un 23% de la superficie presenta vulnerabilidad alta a muy alta.

Un elemento importante en el análisis de la vulnerabilidad se asocia también a la disponibilidad de energía eléctrica en la vivienda que permita la utilización de aparatos de refrigeración, ventilación o calefacción. Para el calor intenso, otro elemento importante, es la disponibilidad de agua en la vivienda y el nivel de hacinamiento.

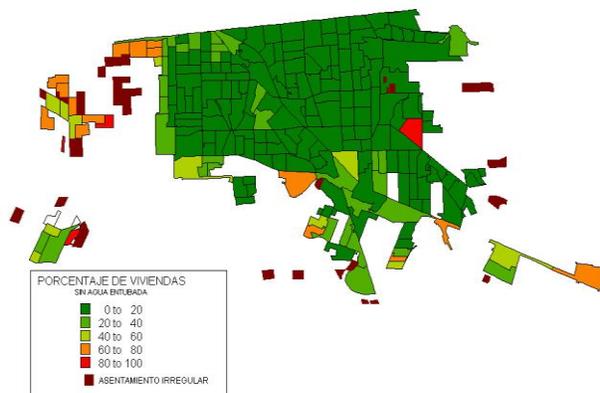
Figura 71 Cobertura de electricidad



Elaboración propia

De acuerdo al censo de INEGI, menos del 1% de las viviendas en Mexicali carecen de electricidad, y alrededor del 10% no disponen de agua. Es importante aclarar que los nuevos fraccionamientos urbanos, considerados irregulares y que no fueron integrados en el censo, aun no han sido dotados de estos servicios, por lo que es ahí dónde la vulnerabilidad es más alta a las temperaturas extremas, especialmente al calor intenso.

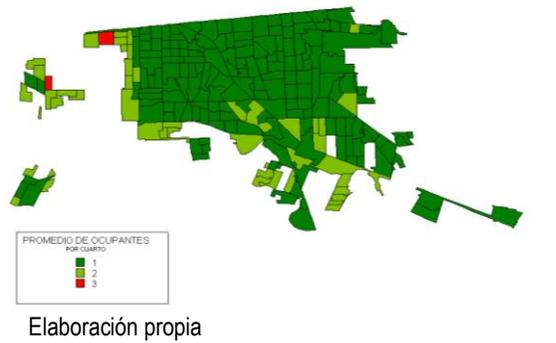
Figura 72 Cobertura de agua



Elaboración propia

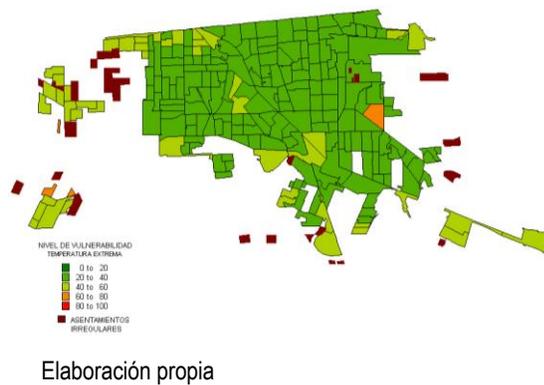
En los AGEBs periféricos se presenta el mayor porcentaje de viviendas sin agua, y con los mayores niveles de hacinamiento.

Figura 73 Promedio de ocupantes



Por hacinamiento y carencia de servicios, la vulnerabilidad se manifiesta en la periferia, con niveles alto y medio. En el resto de la ciudad la vulnerabilidad es muy baja. Este comportamiento es contrario al que se presentó en la vulnerabilidad por tipología de vivienda (figura 74).

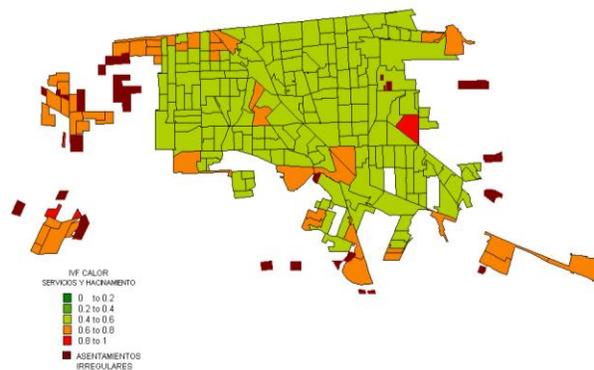
Figura 74 Vulnerabilidad por temperatura extrema



El cálculo del índice de vulnerabilidad física a partir de la cobertura de servicios y el nivel de hacinamiento, relacionado con la intensidad de la temperatura en Mexicali, arroja como resultado la identificación de zonas con niveles de vulnerabilidad física alta y muy alta en la periferia que representan un 22% de la

superficie urbana<sup>20</sup>, y el predominio de una vulnerabilidad media en el resto de la superficie.

**Figura 75** Índice de vulnerabilidad física por servicios y hacinamiento

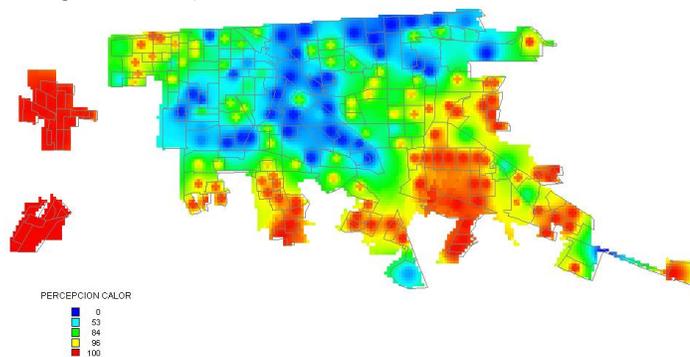


Elaboración propia

### Percepción del riesgo

Alrededor del 71% de los habitantes de Mexicali identifican las altas temperaturas en la ciudad como un problema que les afecta y al 61% de ellos el calor intenso les ha causado pérdida de bienes o problemas de salud a las personas que integran su hogar. Sólo el 3% identifica las heladas como un problema en su colonia. La concentración espacial de esta percepción se intensifica en las colonias periféricas que son las que reportan haber sido afectadas por dicho peligro indica

**Figura 76** Percepción social del calor



Elaboración propia a partir de los proyectos: "Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali" (UABC-2006) y "Pobreza y niveles de Bienestar en Mexicali" (UABC-SEDESOE, 2006)

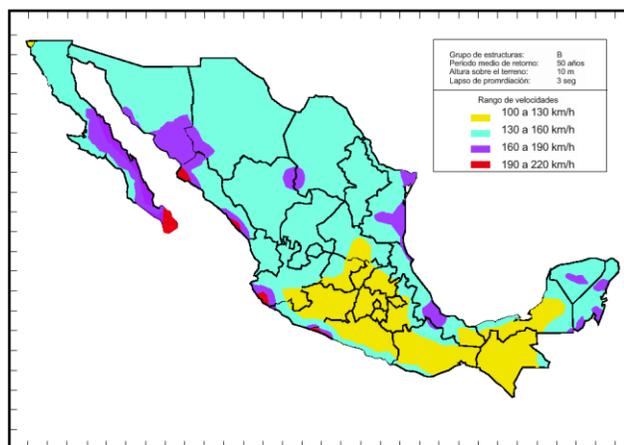
<sup>20</sup> Este cálculo no incluye la superficie de los asentamientos irregulares, ya que no se encuentran considerados en el censo de INEGI.

#### 4.11. VIENTOS

El viento es el aire en movimiento horizontal, originado por el desigual calentamiento de las masas de aire en las diversas regiones de la atmósfera. Los vientos de mayor intensidad en México son los que se producen durante los huracanes; de hecho, la velocidad de viento es precisamente el parámetro con lo que se miden estos fenómenos. Por tanto, las zonas costeras, y en particular las que tienen una más frecuente incidencia de huracanes, son las que están expuestas a un mayor peligro por efecto del viento. Sin embargo, otros fenómenos atmosféricos son capaces de producir fuertes vientos, por lo que aun en el interior del territorio existen zonas con peligro de vientos intensos (CENAPRED,2001a).

En la figura 77 se muestra el mapa de peligro por viento elaborado por CENAPRED (2001a) con base en datos de la Comisión Federal de Electricidad. De acuerdo a esta zonificación la República Mexicana esta dividida en cuatro zonas de peligro por viento: Muy alto (intervalos de 190 a 220 km/hr), Alto peligro (intervalos de 160 a 190 km/hr), Moderado, (intervalos de 130 a 160 km/hr), Bajo (intervalos de 100 a 130 km/hr). De este modo el estado de Baja California se ubica en una zona de peligro moderado por vientos al igual que la ciudad de Mexicali y su valle.

**Figura 77** Zonificación de velocidades máximas de viento en la República Mexicana



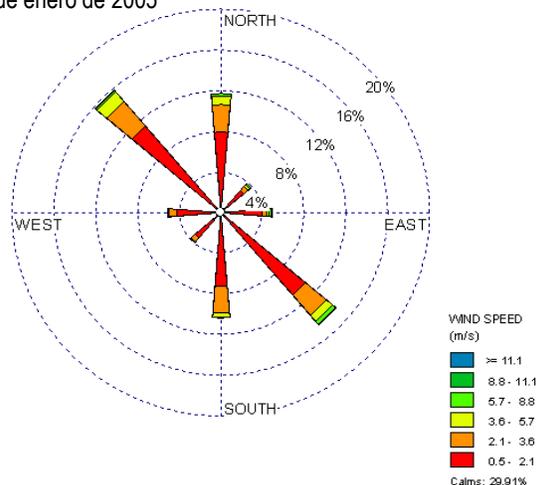
Tomado de CENAPRED, 2001:153

El régimen de vientos que afecta la ciudad de Mexicali, B. C., producto de los sistemas sinópticos que dominan a la región, tiene el siguiente comportamiento: desde principios de otoño y hasta mediados de primavera prevalece un flujo de aire marítimo modificado del noroeste. Este flujo está asociado con el sistema de alta presión del Pacífico noroeste, que en esta temporada tiene su máximo

desplazamiento hacia el sur. Este flujo del noroeste se ve reforzado cuando un sistema frontal atraviesa la región, ya que se intensifica el gradiente de presión que acompaña a estos sistemas frontales, ocasionando vientos fuertes que en ocasiones pueden llegar a rebasar los 80 km/h (27 de julio de 1989, 10 de mayo de 1990, etc.) los cuales provocan tolvaneras, caídas o desgajamiento de árboles, desprendimiento de anuncios espectaculares en toda la ciudad y desprendimiento de estructuras ligeras principalmente en viviendas precarias representado un riesgo para la población. Durante los meses de junio a agosto, y hasta mediados de septiembre, la ciudad de Mexicali y su valle se encuentra dominado principalmente por una masa de aire muy caliente de tipo continental, relativamente seca, la cual posee una baja presión debido a la intensa radiación solar. Esta masa de aire contrasta notablemente con una masa de aire más fría, húmeda, tipo tropical marítima del Golfo de California, donde predomina un sistema de alta presión. Se establece entonces un gradiente de presión sur-norte, por lo que el flujo de aire es de dirección sur y sureste en esta temporada. Este flujo generalmente húmedo ocasiona incomodidad al ambiente debido a la combinación alta temperatura-alta humedad (García Cueto, 1988). Los vientos más fuertes se presentan de manera regular en el invierno y durante la primavera, pero incluso en el verano se han llegado a presentar, producto de sistemas tropicales debilitados o de tormentas locales.

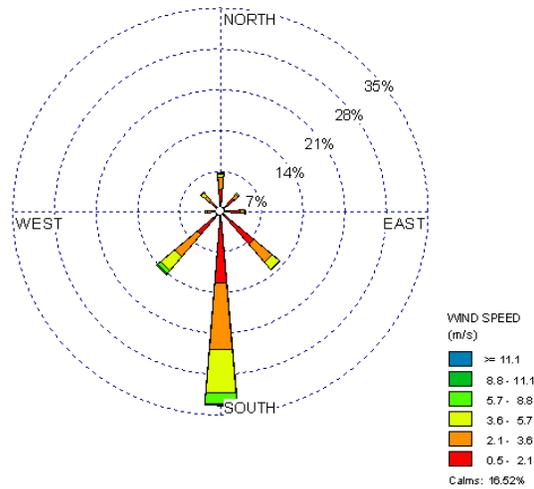
En las figuras 78 y 79 se presentan las rosas de viento para dos meses representativos de las estaciones de invierno (enero) y verano (julio), en este caso del año 2005; en ellas se puede ver que el patrón dominante de vientos cambia es estacional, lo que refleja que anualmente distintos sistemas de tiempo afectan a la región.

**Figura 78** Rosa de viento para Mexicali, B. C., en el mes de enero de 2005



Fuente: García-Cueto (2006)

**Figura 79** Rosa de viento para Mexicali, B.C., en el mes de Julio de 2005



Fuente: García-Cueto (2006)

En la tabla 25 se presenta la velocidad promedio mensual y la dirección dominante para el año 2005; el mes que promedió mayor velocidad fue el de julio con 7.9 km/h, y los menores fueron los de enero y febrero, con 4.7 km/h. La dirección dominante fue la del cuadrante norte, a excepción de los meses de verano, julio y agosto, que fue del sur.

**Tabla 25** Velocidad promedio mensual (km/h) y dirección del viento en Mexicali para el año 2005

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
4.7	4.7	5.8	6.1	6.5	7.2	7.9	6.5	6.5	6.1	5.8	5.8
NW	N	N	N	N	N	S	S	N/NE	N	N	N

Fuente: Instituto de Ingeniería UABC , García-Cueto,2006

## Índice de vulnerabilidad física por viento

### Escala urbana

CENAPRED considera cinco principales tipos de vivienda (ver tabla 26) las cuales presentan niveles de materiales débiles y techo flexible son más susceptibles a dañarse por la acción del viento, en cambio, las viviendas con muros y techos rígidos son las menos susceptibles a ser dañados por los efectos de succión y empuje del viento.

El cálculo efectuado a partir de la muestra censal de INEGI, nos muestra que el 13% de las viviendas de la ciudad presentan una vulnerabilidad muy alta a vientos (viviendas Tipo 5), el 8% presenta vulnerabilidad alta (Tipo 4), un 40% de las viviendas presentan vulnerabilidad baja (Tipo 2 y 3) y el 38% las viviendas de presentan vulnerabilidad muy baja (Tipo 1).

**Tabla 26** Niveles de vulnerabilidad física por tipología de vivienda

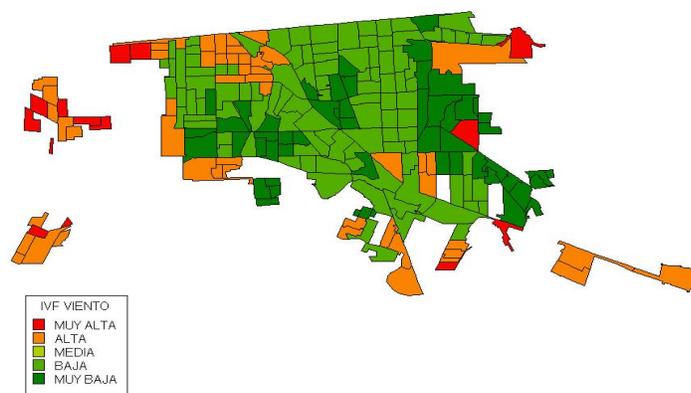
TIPO	CARACTERÍSTICAS	% DE VIVIENDAS	NIVEL DE VF
1	Muros de mampostería con techo rígido. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.	38.23%	MB
2	Muros de mampostería con techo flexible. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.	39.98%	B
3	Muros de adobe con techo rígido. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.	0.20%	B
4	Muros de adobe con techo flexible. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.	8.29%	A
5	Muros de materiales débiles con techo flexible. Generalmente no cuenta con cimentación.	13.30%	MA

### Escala intra-urbana

Con base en el ajuste metodológico por AGEB propuesto (ver Anexo III) y considerando como área urbana las siguientes localidades: Mexicali, Santa Isabel, Progreso y Puebla, se calculó la vulnerabilidad física para cada AGEB de los 224 que integran la ciudad de Mexicali, resultando lo siguiente:

Los AGEB periféricos y la zona antigua de la ciudad presentan una vulnerabilidad física por viento que va de alta a muy alta, esto representa el 29% de la superficie urbana. Gran parte de la ciudad presenta una vulnerabilidad baja (48% de la superficie) y el 23% de la superficie presenta vulnerabilidad muy baja.

**Figura 80** Vulnerabilidad física a vientos por AGEB



Elaboración propia

### Índice de Riesgo Físico (IRF) para Mexicali

Con base en la metodología propuesta por CENAPRED (ver Anexo IV), se utilizó la muestra censal para obtener el IRF de la ciudad de Mexicali, considerando como área urbana las siguientes localidades: Mexicali, Santa Isabel, Progreso y Puebla.

La metodología considera el cálculo del IRF a partir de dos elementos: la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social. Para la primera se obtiene el índice de vulnerabilidad física (IVF) considerando principalmente las características de la vivienda que permiten resistir los sismos y vientos; para la segunda se obtiene el índice de vulnerabilidad social (IM) a partir de las condiciones socioeconómicas de la población, la capacidad de prevención y respuesta de las unidades de protección civil y la percepción local del riesgo.

Cabe aclarar que el cálculo del IRF no es un requisito del estudio, pues no se especifica en la guía metodológica de SEDESOL, pero se consideró importante su cálculo a medida que se disponía de información suficiente para hacerlo.

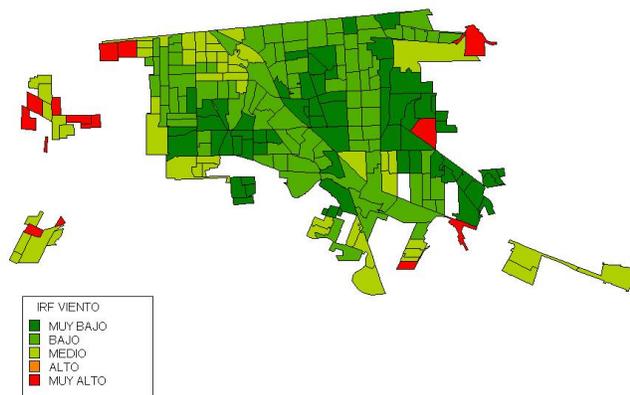
#### *IRF por Viento*

La ciudad de Mexicali posee un IRF por viento, el cual es considerado un riesgo bajo (0.32). Este valor se explica por la existencia de un nivel muy alto de vulnerabilidad física (asociada a las características de las viviendas) y muy baja vulnerabilidad social.

La expresión espacial del IRF por AGEB se muestra en la figura 81 donde puede observarse que algunos AGEB periféricos (5% de la superficie) presentan muy alto riesgo por viento. Otros AGEB periféricos y de la zona antigua de la ciudad

(23% de la superficie) presentan riesgo medio, el 42% de la superficie riesgo bajo y el 29% un riesgo muy bajo por vientos.

**Figura 81** Índice de Riesgo Físico por viento AGEBS Mexicali



Elaboración propia

#### 4.12. SEQUÍAS

La sequía se debe entender no sólo como escasez de agua, sino como su carencia total y, por decir, contingente, que durante un lapso afecta las condiciones de desarrollo de plantas y animales. La sequía preocupa, sobre todo, porque afecta la vida de los seres humanos, destruye sus fuentes básicas de alimentación y provoca desórdenes en su vida social y política (Florescano y Swan, 1995). La mayor información documental que se tiene de las sequías en México se ha concentrado en la región de la Meseta Central, básicamente por dos razones: i) porque es la zona fundamental de los cereales, donde las grandes sequías han tenido consecuencias muy perjudiciales, y ii) porque esa área ha sido también la más poblada y centro de intensa actividad económica.

Las principales sequías ocurridas en el período de 1910 a 1977 se presentan en la tabla 27.

**Tabla 27** Principales sequías, 1910-1977

Períodos y años	Tipo
<b>1910 a 1930</b>	
1925	Extremadamente severa
<b>1930 a 1977</b>	
1935	Extremadamente severa
1957	Extremadamente severa
1960	Extremadamente severa
1962	Extremadamente severa
1969	Extremadamente severa
1977	Extremadamente severa

En el primer período, de 1910 a 1930, las sequías se presentaron con alguna frecuencia, aunque en general de manera moderada. De esos años, sólo la de 1925 se registró como extremadamente severa; las de 1923 y 1927 se sintieron con pocos trastornos y tuvieron alcances limitados. En cambio en el segundo período, aunque las sequías fueron más esporádicas, cuando aparecieron lo hicieron con gran violencia. En este largo período hubo 20 sequías severas y 6 que podrían clasificarse de extremadamente severas.

En la figura 82 se presenta el mapa de vulnerabilidad por sequía en el país en el período de 1948 a 1996 (CNA, 2001 y CENAPRED, 2001a). Según el mapa, las regiones más vulnerables por sequía son las del norte del país (I, II, III, VI, VII, IX) y el valle de México (XIII); en un nivel intermedio están las del Lerma (VIII) y Balsas (IV); y en uno bajo, el sur y sureste, que corresponde a las regiones del Pacífico Sur (V), Golfo centro (X), Frontera Sur (XI) y Península de Yucatán (XII). De igual manera, en la figura 82 podemos ver aquellas regiones vulnerables a huracanes e inundaciones, destacan aquí los casos del Pacífico Norte (III); y Penínsulas de Baja California (I) y Yucatán (XII).

**Figura 82** Vulnerabilidad climática por sequía



Tomado de García-Cueto a partir de Estadísticas del agua. CNA, 2003.

En el caso de la ciudad y valle de Mexicali, los efectos de periodos de sequía son mínimos con respecto a otros estados de la república, pues el abastecimiento de agua en la región tanto para la actividad agrícola como para el resto de las actividades en la ciudad y el campo proviene del río Colorado y es distribuida como se ha mencionada repetidamente por una red extensa de canales. Por tanto, el peligro por sequía es mínimo.

#### **4.13. MEDIDAS DE MITIGACIÓN**

- Realizar estudios más profundos sobre la percepción social de los peligros que amenazan a la ciudad y con base en ellos, aplicar programas de difusión y concientización pública. La aplicación periódica de este tipo de estudios permitirá evaluar el impacto de dichos programas y sugerir mejoras a los mismos.
- Mejorar la capacidad de atención de la Unidad Municipal de Protección Civil y el H. Cuerpo de Bomberos por medio de la capacitación de su personal y la dotación de equipo especializado.
- Establecer un sistema de alerta sobre la presencia de los fenómenos Geológicos, Hidrometeorológicos y Químicos que amenazan a la ciudad, sobre todo para alertar a la población ubicada en zonas altamente peligrosas.
- Elaborar y actualizar un plan de emergencia para cada uno de los peligros que amenaza a la ciudad.
- Establecer albergues y refugios en lugares estratégicos para cada tipo de peligro.

#### **INUNDACIÓN**

Mejorar la capacidad de conducción de los sistemas hidrológicos

- Establecer un programa continuo de limpieza y desazolve de canales, drenes y cuerpos de agua, así como medidas de control para evitar que se arroje basura a ellos
- Realizar un diagnóstico detallado del estado actual de los drenes y canales atrapados por el crecimiento de la ciudad y proponer opciones para su incorporación en las actividades urbanas
- Realizar estudios de ingeniería que sugieran opciones para evitar la inundación de la zona del río Nuevo, que continua siendo el drenaje natural de la ciudad. La construcción de drenajes alternos puede ser una de ellas
- Ampliar la cobertura de drenaje pluvial y pavimentación en la ciudad y de las localidades suburbanas
- Evitar la existencia de grandes terrenos baldíos intraurbanos
- Dar mantenimiento y limpieza constante al alcantarillado y la red de drenaje

Disminuir la exposición de la población al peligro y la vulnerabilidad

- Por medio de la planeación y gestión del suelo urbano, evitar los asentamientos humanos en zonas inundables, próximas a cuerpos o corrientes de agua
- Incorporar como condicionante de diseño urbano, evitar el estancamiento del agua y los flujos regresivos, mediante el manejo de las pendientes del terreno.
- Mejorar las condiciones de las viviendas susceptibles a colapsarse por la acumulación de agua o por arrastre, sobre todo en las zonas carentes de drenaje pluvial y pavimentación.
- Comunicar el riesgo a la población expuesta y promover la autoprotección

Mejorar la capacidad de respuesta y el conocimiento del peligro

- Establecer sistemas de alertamiento o notificación binacional para el caso de desfogue accidental o necesario de grandes volúmenes de agua de las presas que controlan el río Colorado en Estados Unidos.
- Realizar estudios multi-peligro para detectar la posibilidad de inundaciones provocadas por otros fenómenos o peligros (efecto dominó) como el daño de infraestructura hidráulica por sismos.
- Extender la capacidad de monitoreo hidrológico y meteorológico.

## **GRANIZADAS, HELADAS Y TEMPERATURAS EXTREMAS**

Mejorar la capacidad de respuesta

- Establecer un sistema de alerta preventiva sobre la presencia de este tipo de fenómenos meteorológicos, que afectan la región, dirigida especialmente a la población ubicada en zonas potencialmente en riesgo
- Realizar acciones de monitoreo y divulgación con anticipación acerca de los fenómenos meteorológicos para prevenir y preparar a la población ante temperaturas extremas
- Habilitar refugios temporales y programas de ayuda para la población migrante, indigente y personas sin hogar en general

Disminuir la exposición de la población al peligro y la vulnerabilidad

- Ampliar la cobertura de energía eléctrica y agua
- Brindar información médica sobre las medidas de autoprotección y primeros auxilios que debe tomar la población para enfrentar temperaturas extremas principalmente en el caso de los ancianos y niños
- Capacitar a la población acerca del uso adecuado de calefactores, estufas, fogatas y otros medios para procurar calor dentro de las viviendas y edificios, para evitar intoxicaciones e incendios

- Mejorar la resistencia de las viviendas construidas con materiales precarios o frágiles para evitar daños por granizadas
- Realización de estudios y programas relacionados con el diseño de viviendas y el uso de materiales constructivos adecuados para enfrentar las temperaturas extremas en la región. Por ejemplo, para el calor intenso el uso de aislantes térmicos, que permita un menor consumo de energía y menor ganancia de calor al interior de la vivienda<sup>21</sup>
- Mejorar las condiciones de habitabilidad de las viviendas y de la ciudad en general
- Comunicar el riesgo a la población en general

## VIENTO

Disminuir la exposición de la población al peligro y la vulnerabilidad

- Aumentar la vigilancia sobre el cumplimiento con el reglamento de construcción, y en su caso, incrementar las medidas de seguridad establecidas para las estructuras ligeras (las señales de tránsito, postes, árboles, anuncios publicitarios) e inspeccionar el estado de las mismas con respecto a la población asentadas próximas a ellas.
- Promover la vigilancia comunitaria y denuncia de estructuras frágiles que pueden afectar a la población
- Mejorar las condiciones de las viviendas no resistentes al viento principalmente en las zonas periféricas donde predominan las viviendas precarias
- Evitar la presencia de grandes baldíos intraurbanos y fomentar del desarrollo de áreas verdes para evitar la contaminación del aire por levantamiento de polvo.
- Informar a la población sobre qué hacer y qué no hacer en caso de emergencia
- Realizar estudios multi-peligro para detectar posibles efecto dominó detonados por el viento, especialmente en relación con el peligro químico

---

<sup>21</sup> Actualmente la CFE por medio del programa ASI promueve la utilización de aislantes y equipos nuevos, sólo que el acceso a este programa está condicionado por el tiempo de residencia en la vivienda. Lo ideal sería que las viviendas fueran construidas con los aislantes y no aplicados años después.

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

Tabla 28 Matriz de Medidas de Prevención y Mitigación de Riesgos Hidrometeorológicos en la ciudad de Mexicali

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
<b>Inundaciones</b>			
Zona de canales y drenes (Ver figuras 50-56)	El acelerado crecimiento de la ciudad ha dejado atrapados a canales y drenes entre colonias y fraccionamientos. Estos elementos se encuentran inadecuadamente integrados al área urbana.  La presencia de basura y el azolve de drenes y canales, disminuye la capacidad de conducción de agua de los mismos	Desbordamiento, inundación y problemas sanitarios en zonas aledañas	Realizar un diagnóstico detallado del estado actual de los drenes y canales atrapados por el crecimiento de la ciudad y proponer opciones para su incorporación en las actividades urbanas, por ejemplo, proyectos de incorporación como áreas verdes, equipamiento o su entubamiento y conversión a vialidad como última opción.  Establecer un programa continuo de limpieza y desazolve de canales, drenes y cuerpos de agua, así como medidas de control para evitar que se arroje basura a ellos
Zona del río Nuevo (Ver figura 50)	El río Nuevo recibe aguas agrícolas, industriales y las descargas domésticas del valle y la ciudad. Adicionalmente, cuando se presentan lluvias, el agua producto de las mismas escurre hacia el cauce superficialmente y por el drenaje pluvial de la ciudad, rebasando la capacidad de conducción de la bóveda.	Inundación de la zona ocasionando daños y pérdidas materiales	Realizar estudios de ingeniería que sugieran opciones para evitar la inundación de la zona del río nuevo, que continua siendo el drenaje natural de la ciudad. La construcción de drenajes alternos puede ser una de ellas
Zona de canales, drenes y río Nuevo (Ver Figura 50)	Aproximadamente el 12 % de la superficie urbana esta comprendida en la zona de alto peligro por inundaciones (por su proximidad a canales, drenes y el río Nuevo).	Aproximadamente 7318 familias pueden ser afectadas por desbordes de canales y drenes y diversas familias pueden ser afectadas por el desbordamiento del río Nuevo.  Posible daños y pérdidas materiales en los edificios institucionales cercanos al cauce del río.	Por medio de la planeación y gestión del suelo urbano, evitar los asentamientos humanos en zonas inundables, próximas a cuerpos o corrientes de agua
General área urbana y principalmente Valle de Mexicali (Ver Figura 1)	Las aguas del río Colorado que proveen al valle y a la ciudad de Mexicali son controladas por una serie de presas establecidas en Estados Unidos y en México (presa Morelos) La carencia de información oportuna y del establecimiento de estrategias para avenidas extraordinarias provoca inundaciones principalmente en el valle de Mexicali.	Inundaciones, daños a viviendas, pérdidas en cultivos e infraestructura de riego.	Fortalecer los sistemas de alertamiento o notificación binacional para el caso de desfogue accidental o necesario de grandes volúmenes de agua de las presas que controlan el río Colorado en Estados Unidos.  Establecer estrategias para controlar los volúmenes excedentes.

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
	El azolve de los bordos ha ocasionado problemas cuando se presentan grandes avenidas.		Dar mantenimiento permanente a bordos de protección para evitar su azolve.
General área urbana Mexicali (Ver figura 1)	La ciudad de Mexicali es una zona relativamente plana, situación que dificulta el escurrimiento del agua, por lo que el crecimiento urbano expansivo puede intensificar este problema.	Estancamiento de agua en vialidades y en zonas urbanas	Incorporar como condicionante de diseño urbano, evitar el estancamiento del agua y los flujos regresivos, mediante el manejo de las pendientes del terreno.
Diversas colonias del área urbana Mexicali (Ver Figura 58, 59, 60)	Aproximadamente el 27% de la superficie urbana carece de drenaje pluvial y de pavimentación		Ampliar la cobertura de drenaje pluvial y pavimentación en la ciudad y de las localidades suburbanas
	Falta de mantenimiento de alcantarillado y drenaje pluvial	Estancamiento de agua, posibles inundaciones, lodo en vialidades que provocan a su vez la obstrucción del drenaje pluvial.	Dar mantenimiento y limpieza constante al alcantarillado y la red de drenaje
	Aproximadamente un 16 % de la superficie urbana constituyen grandes baldíos.	Aproximadamente el 14 % de las viviendas de la ciudad se encuentran ubicadas en zonas que carecen de drenaje pluvial y pavimentación.	Por medio de la administración del suelo urbano, evitar la existencia y proliferación de grandes terrenos baldíos intra urbanos
Diversas colonias del área urbana Mexicali (Ver Figura 57)	Aproximadamente un 29% de la superficie urbana contiene viviendas con vulnerabilidad física alta o muy alta a inundaciones (muros de adobe o materiales débiles con techos flexibles)	Aproximadamente el 13.5 % de las viviendas en la ciudad pueden presentar daños materiales y posiblemente daños humanos por inundaciones	Establecer un programa para mejorar las condiciones de las viviendas susceptibles a colapsarse por la acumulación de agua o por arrastre, sobre todo en las zonas carentes de drenaje pluvial y pavimentación.

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
Diversas colonias del área urbana Mexicali (Ver Fig. 50, 60, 61)	El 81 % de la población vulnerable a inundación por las condiciones urbanas (falta de drenaje pluvial o pavimentación) no percibe el riesgo. El 82% de la población localizada en zonas próximas a cuerpos de agua no percibe el riesgo de inundación.	Aproximadamente 14, 906 familias pueden sufrir daños severos por inundación al localizarse en zonas de alto peligro y no estar preparadas para enfrentar inundaciones Aproximadamente 14, 722 familias vulnerables a inundación no perciben el riesgo, esto incrementa la posibilidad de sufrir más daños por no estar preparados para un evento de este tipo	Establecer programas de comunicación del riesgo dirigido a la población expuesta y promover la autoprotección
General área urbana Mexicali y del valle (Ver Fig, 2)	El crecimiento acelerado de la ciudad rebasa la capacidad de monitoreo hidrológico y meteorológico, que permita conocer con detalle el comportamiento de los fenómenos hidrometeorológicos	El bajo conocimiento de las características de los fenómenos hidrometeorológicos en los diferentes puntos de la ciudad y la región limita el establecimiento de estrategias de prevención y atención a emergencias.	Ampliar el número de estaciones meteorológicas e hidrométricas para mejorar el monitoreo de los fenómenos hidrometeorológicos.
General área urbana Mexicali	Se desconoce las combinaciones de peligros (químicos, geológicos, sanitarios, etc.) que pueden derivarse de las inundaciones	Multiplificación de efectos y daños a las familias Insuficientes medidas de prevención y atención de emergencias	Realizar estudios multi-peligro para detectar la posibilidad de explosiones fugas de sustancias, deslizamientos entre otros (efecto dominó) provocados por las inundaciones (Solicitar la realización de estos estudios a expertos).
<b>Granizadas, heladas y temperaturas extremas</b>			
General área urbana Mexicali	Bajo conocimiento de medidas de seguridad y protección por parte de la población ante granizadas y temperaturas extremas principalmente	Incrementa las posibilidades de sufrir daños severos a la salud e incluso la muerte	Por medio de una campaña de sensibilización brindar información médica sobre las medidas de autoprotección y primeros auxilios que debe tomar la población para enfrentar temperaturas extremas principalmente en el caso de los ancianos y niños Capacitar a la población acerca del uso adecuado de calefactores, estufas, fogatas y otros medios para procurar calor dentro de las viviendas y edificios, para evitar intoxicaciones e incendios Comunicar el riesgo principalmente a la población más vulnerable

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
Diversas áreas de la ciudad de Mexicali (Ver Figura 64)	Viviendas frágiles propensas a sufrir daños por granizadas (muros con materiales débiles con techo flexible, muros de adobe con techo flexible)	Aproximadamente 22% de las viviendas de la ciudad puede sufrir daños materiales por granizadas, y causar daños a la salud de la población que las habita	Establecer un sistema de alerta preventiva sobre la presencia de granizadas y nevadas que puedan afectar la región, dirigida especialmente a la población ubicada en zonas vulnerables Establecer un programa para mejorar la resistencia de las viviendas construidas con materiales precarios o frágiles para evitar daños por granizadas
General área urbana Mexicali (Ver figura 70)	Aproximadamente el 23% de la superficie urbana contiene viviendas poco resistentes a temperaturas extremas	Afectaciones a la salud y en ocasiones la muerte de la población que habita en aproximadamente el 2% de las viviendas en la ciudad Además, de este porcentaje hay que considerar los asentamientos humanos irregulares, de tal manera que el porcentaje puede alcanzar aproximadamente el 31% de las viviendas de la ciudad con una alta o muy alta vulnerabilidad física a temperaturas extremas.	Realizar acciones de monitoreo y divulgación con anticipación acerca de los fenómenos meteorológicos para prevenir y preparar a la población ante temperaturas extremas Establecer un programa para mejorar las condiciones de habitabilidad de las viviendas y de la ciudad en general
Diversas colonias del área urbana Mexicali, principalmente periféricas (Ver figura 71-72)	Falta cobertura de servicios de energía eléctrica y agua en algunas colonias de la ciudad, esto incrementa la vulnerabilidad de la población que habita en esas colonias	Afectaciones a la salud y en ocasiones hasta la muerte de la población que habita en aproximadamente el 1% de las viviendas por carecer de energía eléctrica. Afectaciones a la salud de la población que habita el 10% de las viviendas por carecer de agua. Adicionalmente, nuevos fraccionamientos considerados "irregulares" no cuentan con estos servicios.	Ampliar la cobertura de energía eléctrica y agua
General área urbana Mexicali	Mexicali es una ciudad fronteriza que recibe una cantidad importante de migrantes deportados. Esta población está más expuesta a las temperaturas extremas por no contar en ocasiones con un hogar.	Afectaciones a la salud y en ocasiones hasta la muerte	Habilitar refugios temporales y programas de ayuda para la población migrante, indigente y personas sin hogar en general

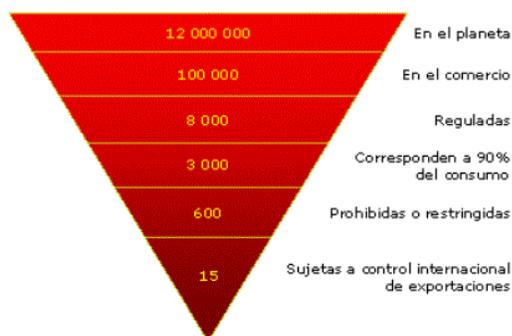
ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
<b>Vientos</b>			
General área urbana Mexicali	No existe un inventario y se desconoce el estado actual de las estructuras ligeras que se localizan en las principales vialidades de la ciudad y otros elementos que pueden ser derribados por fuertes vientos (grandes anuncios publicitarios, postes de electricidad, árboles, etc.).	Incremento en la posibilidad de daños o pérdidas materiales y humanas por la caída de anuncios publicitarios, árboles, postes de luz, etc.	Aumentar la vigilancia sobre el cumplimiento con el reglamento de construcción, y en su caso, incrementar las medidas de seguridad establecidas para las estructuras ligeras (las señales de tránsito, postes, anuncios publicitarios) e inspeccionar regularmente el estado de las mismas con respecto a la población asentada próxima a ellas.  Promover la vigilancia comunitaria y denuncia de estructuras frágiles que pueden afectar a la población
Diversas colonias del área urbana Mexicali, principalmente periféricas (Ver figura 80)	Aproximadamente el 29 % de la superficie urbana contiene viviendas frágiles propensas a sufrir daños por vientos (muros con materiales débiles con techo flexible, Muros de adobe con techo flexible).	Daños o pérdidas materiales y humanas en aproximadamente el 22% de las viviendas de la ciudad.	Establecer un programa para mejorar las condiciones de las viviendas con baja resistencia al viento principalmente en las zonas periféricas donde predominan las viviendas precarias
Existencia de grandes baldíos	El 16% de la superficie urbana lo constituyen grandes baldíos, por ello, la presencia de fuertes vientos ocasionan levantamiento de polvo y tierra.	Contaminación del aire, obstrucción de la visibilidad con posibles accidentes	Por medio de la administración urbana evitar la presencia de grandes baldíos intra urbanos y fomentar del desarrollo de áreas verdes para evitar la contaminación del aire por levantamiento de polvo.
General área urbana mexicali	Aunque existe cierto nivel de percepción social del riesgo, este no concuerda con la vulnerabilidad	Incremento en la posibilidad de daños o pérdidas materiales y humanas	Por medio de campañas de sensibilización informar a la población sobre qué hacer y qué no hacer en caso de emergencia  Comunicar el riesgo principalmente a la población más vulnerable
General área urbana mexicali	Se desconocen los posibles efectos dominó que pueden ser originados por fuertes vientos en las diferentes actividades y zonas de la ciudad. Entre los efectos posibles se encuentran cortos circuitos en transformadores, incendios, explosiones, derrame de sustancias, etc.	Incrementa el número de familias afectadas, la intensidad y el número de daños por no estar preparados para enfrentar tales efectos.	Realizar estudios multi-peligro para detectar posibles efecto dominó detonados por el viento, especialmente en relación con el peligro químico

## **5. PELIGROS QUIMICOS**

*“El estilo de vida contemporáneo está sustentado en diversidad de peligros. La sociedad se expone cotidianamente a ellos a través del consumo de productos, de la realización de actividades y la utilización de ciertas tecnologías. Estos peligros se producen, distribuyen, reproducen y redistribuyen permanentemente, por lo que vivimos en constante riesgo” (Ley, 2006:25).*

**Figura 83** Universo de sustancias peligrosas



Fuente: Cortina, 2000 en INE, 2006

Del universo de las sustancias químicas poco más de cien mil se encuentran en el comercio mundial. (Cortinas, 2000 en INE, 2006). La identificación y regulación de las sustancias peligrosas ha sido una tarea sumamente lenta, actualmente sólo se han regulado alrededor de ocho mil sustancias y sólo para un número limitado se han realizado estudios sistemáticos para evaluar su peligrosidad (Cortinas, 2000 en INE). Por lo tanto, aunque se ha avanzado en el tema se desconoce el nivel de amenaza o peligro que representan a la salud y al ambiente la mayoría de las sustancias que circulan en el comercio y que existen en el planeta.

El riesgo químico está asociado al uso y manejo de sustancias que poseen cierta capacidad de dañar (peligrosidad). En la normatividad mexicana, las sustancias son consideradas peligrosas por el tipo y nivel de afectación que pueden tener en la salud humana y ambiental, debido a sus propiedades corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas o inflamables (CRETI)<sup>22</sup>.

**Sustancias corrosivas:**

Sustancias y preparados que, en contacto con tejidos vivos pueden ejercer una acción destructiva de los mismos

**Sustancias reactivas:**

Sustancias y preparados que, en contacto con otras sustancias, en especial con sustancias inflamables, producen una reacción fuertemente exotérmica.

**Sustancias explosivas:**

Sustancias y preparados sólidos, líquidos pastosos o gelatinosos que, incluso en ausencia de oxígeno atmosférico, pueden reaccionar de forma exotérmica con

<sup>22</sup> Definición de Material peligroso: “Elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, represente un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas” (LGEEPA, Cap. I. Art. 3).

rápida formación de gases y que, en determinadas condiciones de ensayo, detonan, deflagran rápidamente o bajo el efecto del calor, en caso de confinamiento parcial, explotan.

**Sustancias tóxicas:**

Sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en muy pequeña cantidad pueden provocar efectos agudos o crónicos incluso la muerte.

**Sustancias inflamables:**

Sustancias y preparados (plaguicidas y residuos peligrosos) que pueden calentarse e inflamarse en el aire a temperatura ambiente sin aporte de energía o sólidos que puedan inflamarse fácilmente tras un breve contacto con una fuente de inflamación y que continúan quemándose o consumiéndose una vez retirada dicha fuente, o líquidos cuyo punto de ignición es muy bajo o que, en contacto con el agua o con el aire húmedo, desprenden gases extremadamente inflamables en cantidades peligrosas.

Diversas sustancias peligrosas son de uso común o cotidiano, como el cloro y la gasolina, y representan una amenaza para quienes se exponen a ellas de manera directa utilizándolas en el hogar o trabajo en pequeñas cantidades. Algunas actividades como la industrial y la comercial, manejan grandes cantidades de sustancias peligrosas, de tal forma que, la amenaza rebasa la superficie de la instalación y se extiende hacia las zonas contiguas, amenazando a la población ahí asentada.

La amenaza que representan los peligros químicos, se materializa a partir de los eventos o accidentes que liberan las sustancias y que generalmente se llevan a cabo durante el uso o manejo de las mismas. En un evento donde se involucran sustancias peligrosas pueden desatarse los siguientes fenómenos:

- Fuga de gases tóxicos
- Explosión de mezclas inflamables o estallido de recipientes
- Incendios
- Derrame de sustancias contaminantes

Los eventos pueden ser detonados de múltiples formas, de ellas CENAPRED(2004a) considera las siguientes:

- fenómenos naturales
- fallas operativas en los procesos industriales,
- fallas mecánicas,
- errores humanos y,
- causas premeditadas

Estos eventos no son excluyentes entre sí, pues un incidente químico puede encadenarse a otros fenómenos químicos y/o naturales, y combinarse entre sí provocando un efecto domino.

Un efecto implica la existencia de un accidente "primario" que afecta a una instalación "primaria" (este accidente puede no ser un accidente grave), pero que induce uno o varios accidentes "secundarios" que afectan a una o varias instalaciones "secundarias". Este accidente o accidentes secundarios deben ser accidentes más graves y deben extender los daños del accidente "primario".

La extensión de los daños es tanto espacial (áreas no afectadas en el accidente primario, ahora resultan afectadas), como temporal (el accidente secundario afecta a la misma zona pero retardado en el tiempo; en este caso las instalaciones primarias y secundarias pueden ser la mismas), o ambas.

Las consecuencias de un evento o conjunto de eventos puede, ser innumerables, aunque muchos de los efectos derivados del uso de sustancias químicas se desconocen estos pueden clasificarse en:

- *Efectos a 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, neurológico, entre otros y, hasta la muerte de quienes están en contacto directo con la fuente del peligro químico o a las personas que habitan en los alrededores de la misma.
- *Efectos en el ambiente*: contaminación del suelo, aire y agua (superficial y subterránea).
- *Efectos en las construcciones*: daño o destrucción de maquinaria y equipos, instrumentos, instalaciones industriales, casas, comercios, etc.
- *Efectos en 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

La magnitud y severidad de los eventos químicos dependen del tipo y la cantidad de material peligroso involucrado, así como, la localización del evento, pues, con ella se define la población y los recursos expuestos, así como, las condiciones ambientales y atmosféricas que permitirán el desplazamiento del contaminante en el ambiente.

**Tabla 29** Categoría de accidentes por tipo de efectos

ACCIDENTES	EFECTOS			
	Establecimiento	Personas	Medio ambiente	Bienes materiales
Categoría 1	Daños materiales	Posibles heridos dentro del establecimiento	No	No
Categoría 2	Daños materiales	Posibles víctimas y heridos dentro del establecimiento	Daños leves o efectos adversos en zonas limitadas	Posibles daños leves fuera del establecimiento
Categoría 3	Daños materiales	Posibles víctimas y heridos dentro y fuera del establecimiento	Daños y alteraciones graves en zonas extensas	Posibles daños graves fuera del establecimiento

### 5.1. CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO QUÍMICO

Para caracterizar el riesgo químico en Mexicali se tomaron como referencia la metodología de la *International Atomic Energy Agency* (IAEA, 1996) de la manual de la IAEA<sup>23</sup>, el manual de CENAPRED (2004a), la Guía de respuesta en caso de emergencia<sup>24</sup> (2004) y el conjunto de programas ALOHA-CAMEO-MARPLOT de la Environmental Protection Agency (EPA).

El manual de la IAEA (1996) provee un método cuya aplicación permite una revisión cuatitativa generalizada de los distintos riesgos en un área y facilita la jerarquización de las distintas fuentes de riesgos, a partir de los siguientes pasos:

. **Inventario y clasificación de actividades peligrosas urbanas:** se identifican las instalaciones peligrosas así como las rutas y métodos de transporte de materiales peligrosos en la ciudad. De estas actividades, se seleccionan aquellas con mayor potencial para afectar a la población y se obtiene información sobre las sustancias y el manejo de las mismas.

. **Trazado de áreas de peligro y estimación de consecuencias:** se estiman las consecuencias que pueden ser causadas por accidentes mayores para cada una de las actividades bajo análisis a partir de la multiplicación entre el área afectada por la densidad de población y aplicando diversos factores de corrección.

<sup>23</sup> Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries. IAEA, VIENNA, 1996

<sup>24</sup> Guía de respuesta en caso de emergencia, 2004. LABELMASTER. Chicado, Illinois. (Depto de transporte de los Estados Unidos, Transporte de Canada, Secretaría de comunicaciones y transportes de México)

**. Estimación de probabilidades de accidentes mayores:**

Instalaciones fijas: el método se basa en la estimación del promedio de frecuencias, incorporando correcciones en operaciones específicas (carga/descarga), sistemas de seguridad, manejo operacional y de seguridad, y la probabilidad de tener al viento en dirección al área poblada.

Transporte de materiales peligrosos: el método se basa en la estimación del promedio de frecuencias de accidentes mayores para cada sustancia peligrosa (o grupo de sustancias) identificadas para cada porción de vialidad, vía de tren, canal o tubería analizada, incorporando correcciones en las condiciones de seguridad en el sistema de transporte; la densidad del tráfico; y la probabilidad de que la dirección del viento sea hacia zonas pobladas.

**. Estimación del riesgo social y jerarquización de riesgos:** Cada actividad es clasificada de acuerdo a una escala de consecuencias y una escala de probabilidades. Todas las actividades peligrosas clasificadas en el área son mostradas en una matriz de probabilidad - consecuencias.

La estimación de los riesgos sociales de actividades individuales pueden ser representados en una matriz de tal forma que cada actividad que no cumple con los requerimientos sea fácilmente identificada. Por medio de dibujar una línea en la matriz, basada en las políticas nacionales, puede determinarse qué probabilidades y/o consecuencias son suficientemente serias para decidir en pasos posteriores en el proceso de manejo del riesgo.

**5.2. INVENTARIO Y CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES PELIGROSAS URBANAS**

Los eventos químicos pueden ocurrir en cualquier lugar y en cualquier etapa del ciclo de vida de las sustancias químicas (ver figura 84). En la elaboración o extracción de estas sustancias (plantas industriales), en su transporte (tren, camión, barco), en su almacenamiento (almacenes), o en donde son utilizados o en donde son confinados (Cutter, 1993:87).

**Figura 84** Ciclo de vida de las sustancias químicas



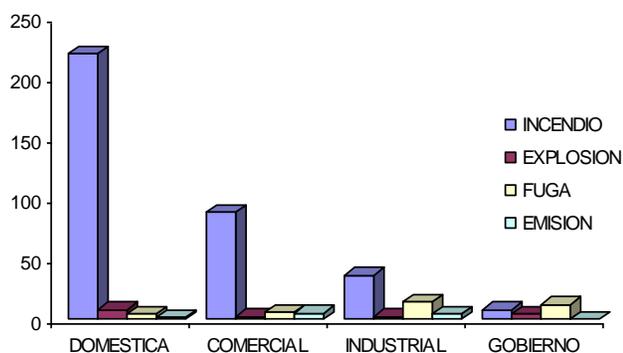
Tomado de INE, 2006

Con base en el registro de eventos ocurridos en la ciudad de Mexicali (1990-2000), relacionados con el manejo de químicos, el incendio representa el 86% de los eventos totales del período y predomina en todas las actividades urbanas (Ley *et al.*, 2005) (ver Figura 85).

Cada actividad y evento presenta características específicas de frecuencia, tipo de afectación a la salud humana, al ambiente, a las construcciones o establecimientos y a la ciudad. Por ejemplo, el incendio en la vivienda (doméstico) sobresale entre todos los registros por ser el evento predominante y por ocasionar el 79% de las muertes y el 74% de las afectaciones severas a las construcciones, éste afecta principalmente a la vivienda en cuestión, y aunque se puede considerar un evento de tipo crónico, por las dimensiones de la afectación es de importancia intervenir en su mitigación.

En la actividad comercial e industrial, el incendio es también el evento preponderante. Aunque en ésta última, las fugas de gases y sustancias afectaron levemente la salud de gran número de habitantes, mostrando el potencial catastrófico de la actividad. La actividad de gobierno<sup>25</sup> ocasionó el daño de la mayor superficie urbana.

Figura 85 Frecuencia de tipo de eventos por actividad



Tomado de Ley *et al.*, 2005

<sup>25</sup> Como eventos de la actividad de gobierno se incluye a los ocasionados por las dependencias municipales, estatales y federales.

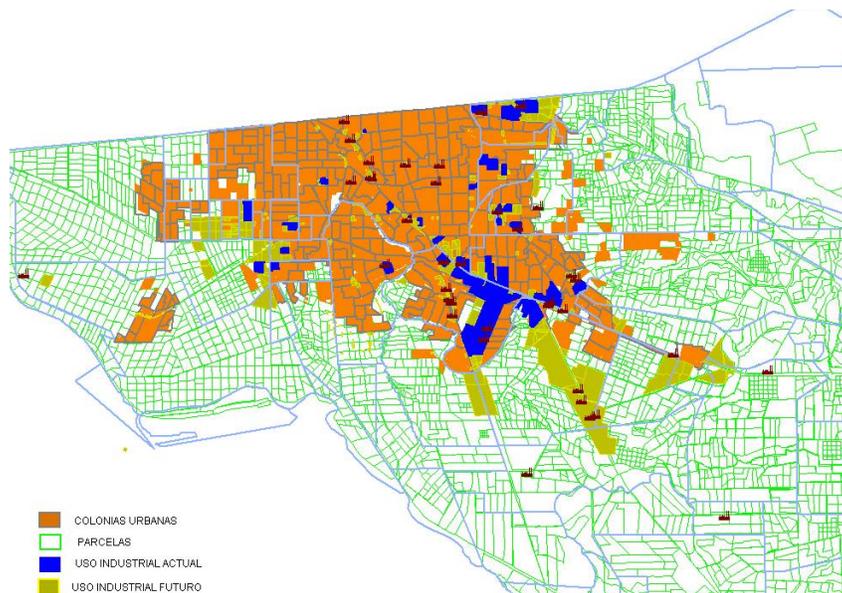
### 5.3. INSTALACIONES INDUSTRIALES

La actividad productiva en las diferentes instalaciones industriales generalmente implica el manejo y almacenamiento de sustancias químicas. La cantidad y diversidad de sustancias peligrosas que pueden manejarse en una instalación industrial varía de una empresa a otra, aún cuando se dediquen a actividades similares, ya que esto depende de los procesos productivos, la tecnología utilizada, los niveles de producción establecidos, entre otros aspectos.

Algunos de los materiales usados en prácticamente todas las actividades industriales, son los distintos tipos de hidrocarburos: gas LP, gas natural, diesel, combustóleo y gasóleo (CENAPRED, 2006). Después de los hidrocarburos, algunas de las sustancias más usadas en actividades industriales son los ácidos (como es el caso del ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido acético, entre otros), las bases (hidróxido de sodio, hidróxido de calcio, etc.), y compuestos inorgánicos como el amoníaco y el hipoclorito de sodio (CENAPRED, 2006).

La ciudad de Mexicali cuenta con poco más de 20 parques industriales en los que se concentra gran parte de las instalaciones industriales de la ciudad, estos se distribuyen principalmente en la zona sureste (sobre las carreteras a San Luis Río Colorado y a San Felipe) y al este de la ciudad (próximos a la garita II).

Figura 86 Localización de instalaciones industriales



Elaboración propia

En los parques industriales, predominan los giros electrónico, metalmecánico y plásticos sobre el resto (ver tabla 30). De igual forma, en la ciudad y en la zona de expansión de la misma, se localizan industrias fuera de los parques de giros diversos, predominando aquellas relacionadas con la producción de agroquímicos, alimentos y bebidas.

**Tabla 30** Instalaciones por giro y parque industrial

PARQUES INDUSTRIALES	GIRO INDUSTRIAL						TOTALES
	ELECTRÓNICA	METAL MECÁNICA	AUTOMOTRIZ	AEROSPAECIAL	PLÁSTICOS	PRODUCTOS MÉDICOS	
PIMSA I	5	1	2	2	2	3	15
PIMSA II	5	0	1	0	1	0	7
PIMSA III	0	0	0	0	0	2	2
PIMSA IV	3	1	1	0	0	0	5
VIGÍA	1	3	1	0	0	1	6
CACHANILLA	1	1	0	1	1	0	3
SIGLO XXI	3	2	0	0	2	0	8
PROGRESO I	2	0	0	1	2	0	4
SAHUARO	1	0	0	0	0	0	2
PALACO	1	2	0	0	1	2	6
CALAFIA	1	1	0	0	1	0	3
COLORADO I	1	0	0	0	0	0	1
COLORADO II	1	0	0	0	0	0	1
EL DORADO	1	0	0	0	0	0	1
CALIFORNIA III	1	0	0	0	0	0	1
MARAN	1	2	0	0	3	1	7
CALIFORNIA I	3	4	1	0	2	1	11
PROGRESO II	1	0	0	0	0	0	1
NELSON	3	1	1	0	0	1	6
FUERA DE PARQUES INDUSTRIALES	9	8	9	3	6	2	37
TOTALES	44	26	16	7	21	13	127

Tomado de Figueroa (2006)

En cada giro industrial se utiliza distintas cantidades y tipos de sustancias. Desafortunadamente para la ciudad de Mexicali no existe un inventario preciso sobre las sustancias que se manejan o almacenan en las instalaciones industriales que facilite la identificación del nivel de peligrosidad de cada actividad. Aun así, con la información de los giros y ramas industriales proporcionada por INEGI y el listado de sustancias por giro, elaborado por CENAPRED (2004a:169) y la IAEA (1996), encontramos en Mexicali las siguientes ramas industriales cuyo manejo de químicos puede representar un

alto riesgo (tabla 31). De igual forma, en las tablas 32 y 33 se observa la amplia gama de sustancias que dichas ramas industriales involucran.

**Tabla 31** Sub-sectores y ramas industriales de interés por el manejo de productos químicos en la ciudad de Mexicali

Sector	Sub-sector	Rama
Industrias manufactureras.	Productos alimenticios	Carne
		Lácteos
		Aceites y grasas comestibles
		Bebidas
	Papel y productos de papel, sustancias químicas	Manufactura de papel, imprenta y editorial
		Fabricación de sustancias químicas básicas
		Industria de fibras artificiales y/o sintéticas
		Agroquímicos
		Pinturas
	Productos minerales no metálicos	Elaboración de productos plásticos
		Fabricación de vidrio y productos de vidrio
	Metal-mecánica	Fabricación de cemento, cal y otros productos minerales
		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.
	Terminales Marítimas	
	Almacenamiento de Amoniaco Anhidro	
	Terminal de almacenamiento y distribución de combustibles	

Elaboración propia a partir de CENAPRED, 2004a y Censos Económicos 2004 (INEGI, 2004)

**Tabla 32** Sub-sectores económicos y sustancias químicas de interés

Sustancia	Sub-sectores				
	Sustancias Químicas	Almacenamiento y distribución	Metal-mecánica	Alimentos	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		
Ácido clorhídrico	XX	XX	XX	XX	XX
Ácido fluorhídrico	XX				
Ácido nítrico	XX	XX	XX	XX	
Ácido sulfúrico	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	
Benceno	XX	XX			
Bromuro de metilo					
Cianuro de sodio	XX	XX	XX		
Cloro	XX		XX	XX	XX
Cloruro de vinilo	XX				
Dimetilamina	XX	XX			XX
Dióxido de azufre					XX
Disulfuro de carbono	XX				XX
Estireno	XX	XX			
Fenol	XX	XX			
Formaldehído	XX	XX			
Gas L.P	XX		XX	XX	XX
Gasolina	XX	XX			
Hexano	XX	XX		XX	
Heptano	XX	XX	XX		
Hidrógeno	XX	XX	XX	XX	XX
Hidróxido de sodio	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		
Tolueno	XX	XX	XX		XX
Xileno	XX	XX	XX		

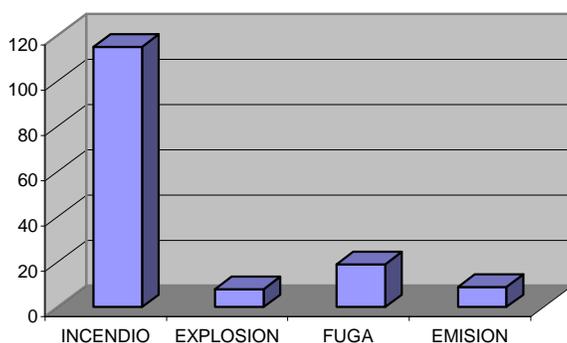
**Tabla 33** Ramas industriales y sustancias químicas de interés.

Sustancia	Ramas industriales					
	Química	Fibras y resinas sintéticas	Farmacéutica	Pinturas y barnices	Agro química	Plástico
Acetato de etilo	XX		XX	XX	XX	
Acetato de butilo	XX			XX		
Acetato de vinilo	XX	XX		XX		
Acetona	XX	XX		XX		
Acrilato de etilo	XX	XX		XX		
Ácido cianhídrico	XX	XX		XX	XX	
Ácido clorhídrico	XX					
Ácido fluorhídrico	XX					
Ácido nítrico	XX		XX			
Ácido sulfúrico	XX	XX		XX	XX	
Alcohol butílico	XX	XX		XX		
Alcohol etílico	XX		XX		XX	XX
Alcohol isopropílico	XX		XX	XX		
Alcohol Metílico	XX	XX	XX		XX	
Amoniaco	XX				XX	
Benceno	XX		XX		XX	
Bromuro de metilo					XX	
Cianuro de sodio	XX					
Cloro	XX	XX	XX			
Cloruro de vinilo	XX					
Dimetilamina	XX		XX		XX	
Dióxido de azufre						
Disulfuro de carbono	XX				XX	
Estireno	XX	XX				XX
Fenol	XX	XX		XX		
Formaldehído	XX	XX	XX		XX	XX
Gas L.P	XX					
Gasolina						
Hexano	XX	XX	XX	XX		
Heptano	XX	XX	XX	XX	XX	
Hidrógeno	XX		XX	XX		
Hidróxido de sodio	XX		XX		XX	
Metil etil cetona	XX			XX		
Metil isobutil cetona	XX	XX	XX	XX	XX	
Metil metacrilato	XX			XX		
Monometilamina	XX	XX	XX			
Óxido de etileno	XX					
Óxido de propileno	XX	XX				
Peróxido de hidrógeno	XX	XX	XX		XX	
Propano	XX	XX				XX
Tolueno	XX	XX	XX	XX	XX	
Xileno	XX	XX	XX	XX	XX	XX

## EVENTOS HISTÓRICOS

Con base en información proveniente de fuentes hemerográficas es posible caracterizar los eventos o accidentes industriales en el período que va de 1964 al año 2006. En este período, en la actividad industrial predominaron los incendios (76%) seguido de las fugas de sustancias y/o gases (13%), emisiones tóxicas (6%) y explosiones (5%).

**Figura 87** Numero de eventos por tipo



Fuente: Proyectos: "Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali" (UABC-2006) y "Pobreza y niveles de Bienestar en Mexicali" (UABC-SEDESOE, 2006)

Del sector industrial, el giro dedicado a la fabricación de papel tuvo la mayor cantidad de incendios, los cuales representaron las mayores pérdidas materiales -incluye la pérdida total de la instalación- y humanas al interior de las instalaciones. Las industrias de agroquímicos y alimentos afectaron al mayor número de personas, aunque de manera leve, pues cada fuga de químicos abarcó un extenso radio entorno a la instalación industrial.

### INCENDIOS

**Tabla 34** Algunos de los incendios ocurridos en instalaciones industriales Mexicali

Año del evento	Evento	DAÑOS	CATEGORÍA
1967	Incendio en Fabrica de Conservas Río Grande por una chispa de soldadura.	Pérdidas por 2 millones de pesos	1
1967	Incendio en Textiles Telher S A..	Daños serios a la empresa aproximadamente 200 mil pesos	1
1969	Incendio en la Fumigadora Comercial S A. Explosión de barriles que contenían materia prima para la elaboración de insecticidas agrícolas y comerciales. Densa nube de gas con matices de color verde, amarillo, negro.	Pérdida por 10 millones de pesos.	2
1970	Incendio en Nutrimex.	Perdidas totales en la empresa, se quemaron varios ranchos.	1

## ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

1971	Incendio en Compañía Industrial de Mexicali S.A. Estalló un tanque de almacenamiento de asfalto.	75,000 pesos en pérdidas	1
1971	Incendio en Planta Despepitadora Agrícola S.A. Una chispa de un horno provocó el incendio.	Se incendiaron más de 5,000 Kg de cascarrilla y borra	1
1972	Incendio de Convertidora de Papel por corto circuito.	Daños totales	1
1972	Incendio en Colchonera Fronteriza.	Pérdida de materia prima para la confección de colchones	1
1974	Incendio en la Productora Agrícola	7 millones de pérdidas al arder 2,000 pacas de algodón	1
1976	Incendio en NUTRIMEX.	Consumió 200 toneladas de alfalfa.	1
1978	Incendio en los Talleres de Embotelladora de Baja California	Perdidas por varios cientos de miles de pesos	1
1978	Incendio en Poliestireno de Baja California. Descuido por parte de un empleado al realizar una soldadura.	Un pick up y una plataforma con poliestireno quemados totalmente	1
1979	Incendio de Industrias Químicas California.	7.5 millones de pesos en pérdidas (edificio, maquinaria y productos químicos)	1
1979	Incendio en Kenworth Mexicana. Corto circuito en el departamento de pintura.	Daños considerables, se quemaron varias cabinas y un horno de secado	1
1981	Incendio en la cartonera Colectores Industriales en los patios del Ferrocarril. un trabajador arrojó imprudentemente un cigarrillo.	Graves daños	1
1982	Incendio en "Industrializadora Mexicana de Ajonjolí".	Perdidas por varios millones de pesos	1
1982	Se incendia fábrica de muebles "Diseños Imperiales S.A". Explosión de tanques de tiner.	Perdidas por varios millones de pesos y un hombre resultado lesionado.	1
1982	Incendio en Fabrica Brevaria S. A	Dos personas lesionadas y perdidas materiales valoradas en 17,000 dólares	1
1982	Un incendio en la fabrica de muebles VIMO, S. A. Corto circuito.	Acabo con la mitad de las instalaciones, daños por cientos de millones de pesos	1
1985	Incendio en Fabrica de papel impermeable para techos "Garza".	Pérdida total del inmueble, aproximadamente 15'000,000 de pesos en pérdidas	1
1987	Incendio en una fábrica de cohetes.	Una persona lesionada y pérdida total de la fábrica	1
1987	Incendio Las Plantas "Mexteharinas S.A" y "Kuino".	Perdidas de cientos millones de pesos	1
1988	Incendio en Colectores Industriales S. A.	Ardieron mas de 50 toneladas de cartón	1
1989	Se incendio Industrias Poliuretánica S. A. Explosión de un tanque de tolueno (empresa productora de hule espuma).	Se destruyo totalmente la empresa	1
1989	Incendio Fabrica Metálicas Mexicanas S.A de C. V. Explosión de un tanque de gasolina.	Las bodegas donde almacenaban los materiales destruidos totalmente, la explosión causó pánico y crisis nerviosas en los alrededores de los almacenes	1
1991	Incendio en Planta Brevaria del Ejido Puebla (fabrica de papel). Explosión de tanque de brea.	1 muerto, 1 intoxicado y perdidas multimillonarias	2
1992	Se incendio una Maquiladora: TIMSA.	80% de las instalaciones destruidas y un herido	1
1992	Incendio en planta de agua "Estrella Azul". el fuego comenzó en la bodega de plásticos, aislantes y bolsas.	75% de la construcción destruida	1
1992	Incendio en "Papelera San Francisco". Una chispa por el roce de unas cintas de lamina encerada en una estiba de papel.	400 millones de pesos en pérdidas	1
1993	Incendio en una planta mezcladora de asfalto. Ocurrió cuando un carro tanque iba a trasladar emulsión de asfalto	Ardieron cientos de toneladas de emulsión y una persona con quemaduras de primer y segundo grado	1
1993	Incendio en Fabrica Garret Product Automotrice Allied Signal, Ardío un tanque conteniendo 5000 litros de gas propano,	Evacuación de vecinos a un radio de 150 metros	2
1994	incendio en maquiladora Gold Star. Corto circuito.	Daños materiales	1
1997	Incendio en Maquiladora ARMOMEX.. Se originó en extractores de aire.		1

## ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

1999	Incendio en dos almacenes de Hidrogenadora Nacional que contenían Hidrógeno.	2 almacenes, semillas de algodón y aceites. Pánico en los vecinos del lugar	1
2000	Incendio en Fabrica de Veladoras. Explotó una enorme caldera en una fabrica de veladoras.	Cuatro heridos de gravedad	1
2001	Incendio en Fabrica America Tissue de México. Corto circuito.	Perdidas cuantiosas, 3 bomberos intoxicados por la intensidad del humo	1
2003	Incendio en la fabrica de ropa Servicios Técnicos de Costura. Corto circuito.	Perdidas de aproximadamente de 200,000 dólares	1
2003	Incendio en la Zahorí. Un cigarro.	10 toneladas de pacas de cartón se incendiaron	1
2003	Incendio en la Empresa FEVISA por fuga de gas.	Destrucción de mas de 2 toneladas de vidrio y otros cuantiosos daños en materiales	1
2004	Incendio en la Maquiladora Nippon-Glass de México.	Las instalaciones de la empresa fueron completamente destruidas por el fuego	1
2005	Incendio en la maquiladora Technology Solution and Service. Una chispa de soldadura.	Las instalaciones de la nave industrial donde se fabrican monitores de computadoras quedaron totalmente destruidas	1

### FUGAS DE AMONIACO

**Tabla 35** Eventos relevantes con fugas de amoniaco en la industria en la ciudad de Mexicali

Año del evento	Evento	DAÑOS	CATEGORÍA
1970	Fuga de amoniaco, ocurrida en la Empresa Lecheros Unidos del Valle, fuga en los ductos de refrigeración.	Grandes nubes de humo ocasionó dificultad al respirar a los vecinos	2
1988	Fuga de Amoniaco en la empresa de Agroquímicos Apache.		2
1990	Fuga de gas amoniaco en Lechera Imperial. Explosión de tuberías de refrigeración.	Causó pánico. Leves intoxicaciones, pánico. Evacuación.	2
1991	Fuga de gas amoniaco en Agroquímicos de México	Evacuación de varias familias, tres colonias afectadas por el olor penetrante.	2
1991	Fuga de amoniaco de la fabrica de hielo Estrella.	Evacuación del área. Penetrante olor a gas	2
1993	Fuga de amoniaco en Hoeffler Trading. Válvula de seguridad registró una falla en sellado.	15 trabajadores intoxicados	1
2001	Alarma por fuga de amoniaco. Provocada por imprudencia de empleados		1
2002	Alarma por fuga de amoniaco. Falla en la válvula de un tanque.		1
2005	Fuga de amoniaco en empaque hortalizas la Sahara. Manejo inadecuado del personal	33 empleados resultaron intoxicados	1
2006	Fuga de amoniaco de una pipa cargada con 55 mil litros en "Agroinsumos del Sol"		0

**EXPLOSIONES**

**Tabla 36** Eventos relevantes por explosiones en la industria en la ciudad de Mexicali

Año del evento	Evento	DAÑOS	CATEGORÍA
1982	Explosión de un tanque de oxígeno en la empresa Infra del Pacífico S. A.	Dos empleados de la empresa resultaron heridos de gravedad, la empresa completamente en ruinas ya que manejaba oxígeno medicinal e industrial, así como acetileno	1
1990	Explosiones en QUOMSA.	Efectos irritación de ojos, ardor de nariz, labios gruesos o hinchados, dolor de cabeza, resequedad de garganta en vecinos de la empresa.	2
1992	Explosión en la empresa "Quimical, S. A. de C. V.", planta de agroquímicos. Falla de válvula de escape provocó la explosión de un tanque que contenía Polisulfuro de Calcio. Tanque de 3 toneladas y un diámetro de 3 metros	El tanque voló y cayó en el carril derecho de la carretera dejando un cráter de 3 metros de diámetro	2
1993	Explosión seguida de incendio en planta de papel cerca del parque industrial el Vigía. Realizando trabajos de mantenimiento en la unidad de refrigeración soldaron una línea de gas con fuga.	2 empleados quemados y un muerto	2
1999	Explosión en Zahorí. Estalló una caldera de vapor.	1 muerto, 8 heridos y cuantiosos daños	2

**FUGAS DE SUSTANCIAS Y GASES**

**Tabla 37** Eventos relevantes por fuga de sustancias y gases en la industria en la ciudad de Mexicali

Año del evento	Evento	DAÑOS	CATEGORÍA
1991	Investigan maquiladora Chromizing por muerte de empleado por posible emisión de sustancias tóxicas. El trabajador se encontraba en una nueva área de producción donde se instaló un equipo desengrasador al cual se le agregó tricloroetano (5 gal.), después se detectó una fuga del líquido por el empaque de la tapa de registro del mismo.	1 muerto	2
1992	Fugas de gas clorhídrico en Química Orgánica. Sobrepresión del gas activo la fuga que rompió el disco y dejó escapar el gas. Evacuación de varias colonias.	El gas venenoso alcanzó un radio de 8 km. 30 intoxicados en su mayoría niños.	2
1992	Fuga de gas en la planta de gas L. P. localizada en las avenidas Anáhuac y López Mateos al parecer provocada por que se disparó el dispositivo de seguridad de un tanque y dejó escapar el gas	No se registró daño alguno.	0
1997	Manejo inadecuado de sustancias peligrosas en la empresa "O Sung Electronics Mexicana"	33 jóvenes intoxicados	1
2000	Intoxicados con vapores químicos 23 empleados de la Empresa Ensamblados y Acabados de Mexicali se mezclaron químicos (solventes) que no deberían mezclarse lo que provocó vapores tóxicos. Los trabajadores no traían mascarillas de seguridad.	23 trabajadores intoxicados	1

**CARACTERIZACION DEL PELIGRO INDUSTRIAL**

En la actualidad, en el municipio de Mexicali se encuentran ubicados alrededor de 1094 establecimientos industriales del sector manufacturero que comprenden una diversidad de giros (INEGI, 2004). La rama de alimentos y bebidas representa el mayor número de establecimientos, no obstante, las empresas más grandes o con mayor número de empleados pertenecen a los giros de la electrónica y productos metálicos.

Algunos estudios han contribuido a la caracterización de las sustancias peligrosas que se manejan en el sector industrial, por ejemplo, Sánchez (1990:175), afirma que los materiales peligrosos utilizados por la maquiladora en Mexicali incluyen un amplio rango de solventes (alcoholes, freones, acetonas e hidrocarburos aromáticos); sustancias alcalinas y ácidos y metales pesados.

En la ciudad de Mexicali, según los datos proporcionados por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA, 2006) las industrias identificadas como altamente riesgosas manejan principalmente: amoníaco, ácido nítrico, peróxido de hidrógeno, cloro, gas L.P., acetileno, hidracina, hidrógeno (ver tabla 38).

**Tabla 38** Sustancias peligrosas que manejan las industrias altamente riesgosas en la ciudad de Mexicali

GAS	FORMULA	EFFECTOS	Fuentes fijas	Efectos a la salud
Amoniaco	NH3	Gas corrosivo venenoso	Plantas procesadoras de alimentos y bebidas, fertilizantes, eléctrica-electrónica	Los vapores causan irritación en los ojos y el aparato respiratorio. Puede ser letal si se inhala. El contacto puede causar quemaduras.
Acido Nítrico	HNO3	Sustancia corrosiva y gas venenoso	Industria metálica y eléctrica-electrónica	Este compuesto es irritante primario y causa quemaduras y ulceración de todas las membranas y tejidos que entran en contacto con el. Puede ser fatal.
Peróxido de Hidrógeno	H2O2	Oxidante	Plantas de fabricación o comercialización de productos químicos	Tóxico. La inhalación, ingestión o contacto con vapores, sustancia o polvos puede causar lesiones severas o la muerte.
Cloro	CL2	Sustancia corrosiva y gas venenoso	Plantas potabilizadoras de agua	Venenoso, puede ser fatal si se inhala. El contacto puede causar quemaduras en piel y ojos. Bronquitis o afectaciones crónicas al pulmón.
Gas L.P.	C3H8	Gas inflamable	Plantas de distribución de gas	Puede causar quemaduras. Concentraciones en aire mayor que 10% puede causar mareo en pocos minutos. Altas concentraciones pueden causar asfixia.
Acetileno	C2H2	Gas inflamable	Plantas de fabricación o comercialización de gases industriales	Puede ocurrir dolor de cabeza, mareo y pérdida de conciencia. Puede ocasionar la muerte si se reduce la cantidad de oxígeno en el ambiente por esta sustancia.
Hidrazina	N2H2	Líquido inflamable, corrosivo	Plantas de fabricación o comercialización de productos químicos	Afecta el sistema nervioso central, sistema respiratorio, piel y ojos. La exposición crónica en humanos puede causar pulmonía, hígado y daño del riñón. Es un posible carcinógeno humano.
Hidrógeno	H2	Gas inflamable	Industria eléctrica-electrónica	Los vapores pueden causar vértigo o asfixia de manera inadvertida. El contacto con el gas o gas licuado puede causar quemaduras o lesión severa. El fuego puede producir irritación y/o gases tóxicos

Elaboración propia con datos de PROFEPA y CAMEO

Dichas sustancias son venenosas, corrosivas e inflamables, y por la cantidad que se manejan amenazan a las zonas habitadas próximas a estas instalaciones. La población puede ser afectada por la inhalación, ingestión o contacto con vapores o materiales tóxicos, así como quemaduras severas e impacto por incendio o explosión de sustancias inflamables.

## **TRAZADO DE ÁREAS DE PELIGRO Y ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS**

Para determinar las categorías de afectación y el trazo del área de peligro el método (IAEA, 1996:13) asume lo siguiente:

- Se considera que el incidente es el máximo posible (en instalaciones fijas, transporte de materiales).
- Se considera únicamente la distancia letal y no las distancias donde puede haber afectaciones a la salud de distinta magnitud.
- Los criterios para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por nubes tóxicas son:  
Se calcula la dispersión de los gases con una estabilidad atmosférica D con velocidad de viento 5 m/s. Estos valores representan factores ambientales promedios y no la peor situación.  
El 100% de muertes ocurre por exposición de seres humanos a la concentración de la sustancia a un LC50 durante 30 minutos. Con estas condiciones se sobreestima, para el área de dicha concentración, pero se subestima para el área fuera de la misma.
- Para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por incendios se considera un flujo de calor de 5-10 Kw/m<sup>2</sup> durante 30 segundos.
- Para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por nubes explosivas se considera una presión de 0.3 bar para zonas de alto riesgo y mayor de 1 bar para las inmediaciones del centro de detonación.

## **ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS EXTERNAS EN INSTALACIONES FIJAS**

Aun cuando fue posible localizar cada una de las instalaciones industriales en el área urbana, el inventario completo de sustancias peligrosas no fue posible, ello debido a la escasa información disponible. Sin embargo, con los datos obtenidos de PROFEPA sobre las industrias de alto riesgo, así como, de los planes de contingencia<sup>26</sup> y Estudios de Riesgo facilitados por la Dirección de Bomberos de Mexicali, se obtuvo un listado, al menos, de las empresas más peligrosas y con ello se procedió al cálculo de las áreas posibles de afectación, las consecuencias y las probabilidades.

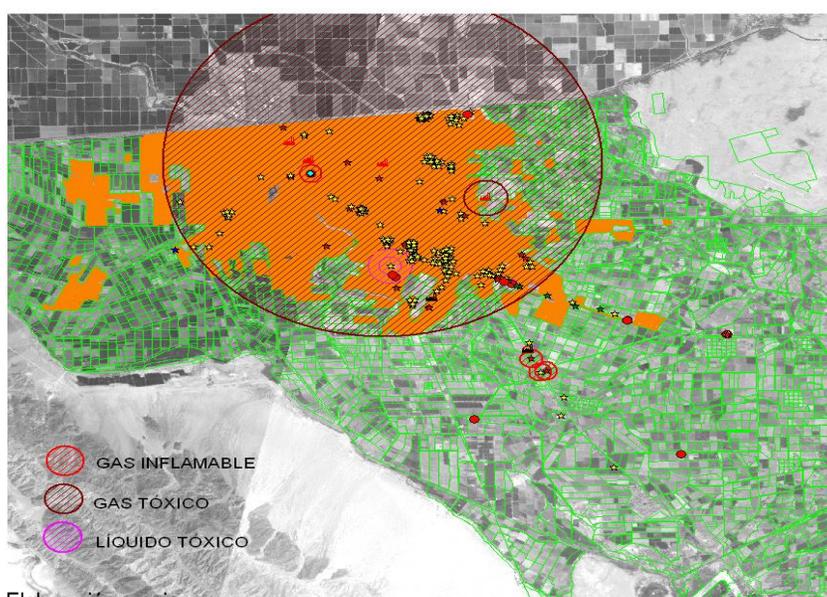
Del listado de sesenta actividades consideradas por PROFEPA como “altamente riesgosas”, dos terceras partes se localizan dentro del Límite de Centro de Población (LCP) propuesto por el IMIP para el año 2015. De acuerdo a su localización, se observa que en el valle de Mexicali predominan las instalaciones dedicadas a la fabricación de agroquímicos y alimentos, en el LCP se mezclan giros relacionados con la actividad agrícola, con la maquila de exportación y con el almacenamiento de gas.

---

<sup>26</sup> En el área técnica de la Dirección de Bomberos tenían disponibles los planes de contingencia de aproximadamente 30 empresas.

Con base en la cantidad y sustancia manejada se obtuvieron las distancias (radios de afectación) mismas que van de los 100 a los 10,000 metros. Obteniéndose que el 80% de las actividades de “alto riesgo” localizadas dentro del LCP tienen un potencial de afectación externa, es decir, un evento o accidente puede ocasionar el daño de personas y bienes fuera de los límites de la actividad o instalación industrial.

**Figura 88** Áreas susceptibles de afectación por tipo de sustancia por instalación



Elaboración propia

## GAS TÓXICO

De acuerdo a la metodología utilizada, las áreas susceptibles de ser afectadas, son mayores para los gases tóxicos, de hecho el radio mayor se debe al almacenamiento de **cloro** en plantas de tratamiento de agua (CESPM), sobresaliendo por la cantidad que maneja la planta localizada en la colonia Prohogar y cuyos efectos letales amenazan a gran parte de la ciudad (el 80% de los AGEB).

Los efectos derivados de una fuga de cloro pueden ser muy graves. El cloro es uno de los elementos más reactivos, se combina fácilmente con todos los elementos, excepto gases raros y nitrógeno, puede reaccionar explosivamente o formar compuestos explosivos con muchas sustancias comunes, tales como acetileno, éter, amoniaco, hidrógeno y metales finamente divididos, alcoholes e

hidróxido de sodio entre otros. El cloro puede combinarse con agua o vapor de agua para producir humos corrosivos y tóxicos de ácido clorhídrico. Es un irritante fuerte y puede ser corrosivo para los ojos, la piel y las membranas mucosas. Puede quemar los ojos, la nariz y la boca, causa lagrimeo, rinorrea<sup>27</sup>, náusea, vómito, dolor de cabeza, mareo, síncope<sup>28</sup> y dermatitis. La inhalación de 5 a 8 ppm de este gas es severamente irritante y corrosivo al tracto respiratorio. Exposiciones más altas producen conjuntivitis, edema pulmonar o la muerte dependiendo de la concentración. Los vapores de cloro son más densos que el aire (, web 2006).

El **amoniaco** es utilizado en las industrias de producción de alimentos, bebidas, químicos y agroquímicos. Las instalaciones que producen agroquímicos suelen almacenar el mayor volumen de amoniaco de todas las instalaciones, por lo que el área posible de afectación es mayor que para el resto de las industrias, sin embargo, estas industrias se localizan fuera de la actual mancha urbana, más cercana a los poblados próximos a esta en ejidos y colonias agrícolas.

El amoniaco es incompatible con sustancias oxidantes fuertes, ácidos, halógenos, sales, mercurio, plata, oro, zinc e hipocloritos. Puede detonar en el aire e incendiarse. Presenta reacciones violentas o explosivas con el óxido de etileno (reacción de polimerización), perclorato de magnesio, tricloruro de nitrógeno, clorato de potasio, ácido nítrico y peróxido de hidrógeno entre otras. Cuando se calienta se descompone emitiendo humos tóxicos de amoniaco y óxidos de nitrógeno. Reacciona con la humedad de la superficie de las mucosas de ojos, piel, y el tracto respiratorio para producir hidróxido de amonio el cual puede causar daño cáustico, la severidad depende de la concentración y tiempo de exposición. El daño va de eritema a severas quemaduras y puede causar desde tos hasta edema pulmonar. La inhalación produce irritación a las membranas mucosas y pulmonares

## **GAS INFLAMABLE**

Las áreas susceptibles de ser afectadas por gas inflamable representan las áreas de afectación más pequeñas con respecto al resto de los materiales peligrosos. La sustancia más común en este rubro es el gas L.P. almacenada en las plantas de gas o gaseras.

El gas licuado de petróleo es incompatible y puede reaccionar con sustancias oxidantes fuertes. Es extremadamente inflamable, se prende fácilmente por calor, chispa o flama, forma mezclas explosivas con el aire. Los vapores son más pesados que el aire. Extinguir el fuego de gas L.P. cuando la fuga no se ha controlado puede provocar explosiones. Cuando se quema forma vapores tóxicos y/o irritantes. Las impurezas oleofínicas pueden causar narcosis. No es

---

<sup>27</sup> Goteo o secreción nasal

<sup>28</sup> Pérdida repentina del conocimiento y de la sensibilidad debida a ala suspensión súbita y momentánea de la acción del corazón

tóxico a concentraciones menores al límite inferior de explosividad. Los vapores pueden causar mareo. El contacto con el gas o el gas licuado puede causar quemaduras, daño severo y congelamiento. Los vapores pueden causar asfixia por desplazamiento de oxígeno (CENAPRED,2006).

El acetileno es un gas extremadamente inflamable, el gas se mezcla bien con el aire formando fácilmente mezclas explosivas. La sustancia puede polimerizar debido al calentamiento intenso. La sustancia se descompone al calentarla intensamente y al aumentar la presión, causando peligros de incendio y explosión. La sustancia es un agente reductor fuerte y reacciona violentamente con oxidantes y con flúor o cloro bajo la influencia de luz, originando peligro de incendio y explosión. Reacciona con cobre, plata y mercurio o sus sales, formando compuestos sensibles a los choques (acetiluros).

### LÍQUIDO TÓXICO

Este tipo de sustancias se utilizan principalmente en empresas que se dedican a la compra, venta y distribución de materiales peligrosos. Estas empresas se localizan sobre todo en zonas industriales, sus radios de afectación abarcan colonias como: Xochimilco, 5 de julio, Pórticos del valle, Los naranjos, Satélite y Praderas del Sol.

El **peróxido de hidrógeno** es una sustancia que se descompone al calentarla suavemente o bajo la influencia de la luz, produciendo oxígeno que aumenta el peligro de incendio. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, causando peligro de incendio o explosión particularmente en presencia de metales. La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación de altas concentraciones del vapor o la niebla puede originar edema pulmonar.

El **ácido nítrico**, se descompone al calentarse suavemente, produciendo óxidos de nitrógeno. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, por ejemplo, trementina, carbón, alcohol. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para los metales. Reacciona violentamente con compuestos orgánicos (acetona, ácido acético, anhídrido acético), originando peligro de incendio y explosión. Ataca a algunos plásticos. La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio y por ingestión. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar.

### CALCULO DE CONSECUENCIAS

El cálculo de las consecuencias o muertes por un accidente en una actividad ( $C_{a,s}$ ), se realiza con la siguiente fórmula:

$$C_{a,s} = A \times d \times f_a \times f_d \times f_m$$

Donde se multiplica el área afectada (A) por la densidad de población en dicha área (d), y por los tres factores de corrección:  $f_a$  (por área poblada),  $f_d$  (por distancia) y  $f_m$  (por efectos de mitigación).

El efecto catastrófico se muestra en el manejo de cloro, como podemos observar en la siguiente tabla 39, donde un evento o accidente en la planta puede ocasionar mas de quince mil muertes. El potencial catastrófico de la instalación se explica por la cantidad de sustancia que almacena y por su localización en una zona urbana de densidad media. El almacenamiento de gas LP, amoniaco y ácido nítrico, almacenados en menores cantidades en zonas de mediana densidad o acumulados en grandes cantidades en zonas de densidad muy baja, poseen un efecto catastrófico menor que las plantas que cloro, pero significativo.

**Tabla 39** Consecuencias por evento de las principales instalaciones

INSTALACIÓN NÚMERO	MATERIAL	DISTANCIA	CONSECUENCIA (Muertes por accidente)	PORCENTAJE
25	GAS L.P.	500	20	0.12%
29	GAS L.P.	500	20	0.12%
37	GAS L.P.	500	20	0.12%
16	NH3	100	22.95	0.14%
24	GAS L.P.	500	40	0.24%
49	HNO3	500	61.2	0.36%
23	GAS L.P.	200	153	0.91%
15	GAS L.P.	200	153	0.91%
49	H2O2	1000	229.5	1.37%
13	CL2	1000	711	4.24%
14	CL2	10000	15300	91.13%

Elaboración propia

### Probabilidad de accidentes mayores

La estimación de la probabilidad de que ocurra un incidente mayor en un año en una instalación determinada ( $P_{i,s}$ ) se obtuvo a partir de la siguiente tabla:

**Tabla 40** Conversión de número de probabilidad a frecuencias

$N_{i,s}$	P	$N_{i,s}$	P	$N_{i,s}$	P
0	$1 \times 10^0$	5	$1 \times 10^{-5}$	10	$1 \times 10^{-10}$
0.5	$3 \times 10^{-1}$	5.5	$3 \times 10^{-5}$	10.5	$3 \times 10^{-11}$
1	$1 \times 10^{-1}$	6	$1 \times 10^{-6}$	11	$1 \times 10^{-11}$
1.5	$3 \times 10^{-1}$	6.5	$3 \times 10^{-6}$	11.5	$3 \times 10^{-12}$
2	$1 \times 10^{-2}$	7	$1 \times 10^{-7}$	12	$1 \times 10^{-12}$

2.5	$3 \times 10^{-2}$	7.5	$3 \times 10^{-7}$	12.5	$3 \times 10^{-13}$
3	$1 \times 10^{-3}$	8	$1 \times 10^{-8}$	13	$1 \times 10^{-13}$
3.5	$3 \times 10^{-3}$	8.5	$3 \times 10^{-8}$	13.5	$3 \times 10^{-14}$
4	$1 \times 10^{-4}$	9	$1 \times 10^{-9}$	14	$1 \times 10^{-14}$
4.5	$3 \times 10^{-4}$	9.5	$3 \times 10^{-10}$	14.5	$3 \times 10^{-15}$

Fuente: IAEA (1996:39)

Donde para obtener el número de probabilidad ( $N_{i,s}$ ) se realiza la suma de la probabilidad promedio para la instalación y la sustancia, y los números de corrección de la probabilidad, por frecuencia de operaciones de carga y descarga ( $n_i$ ), por sistemas de seguridad para sustancias inflamables ( $n_f$ ), por la organización y manejo de seguridad ( $n_o$ ) y la dirección del viento hacia zonas pobladas ( $n_p$ ).

$$N_{i,s} = N^*_{i,s} + n_i + n_f + n_o + n_p$$

**Tabla 41** Probabilidades de eventos en un año por instalación industrial

INSTALACIÓN INDUSTRIAL	MATERIAL	PROBABILIDAD
17	NH3	$3 \times 10^{-4}$
18, 21, 46,3,4, 2, 7, 28, 55, 9, 45, 34, 6, 27, 54,58, 53	NH3	$3 \times 10^{-5}$
33	C2H2	$3 \times 10^{-5}$
43, 56, 31, 38, 16, 20, 36, 60, 40, 11, 19, 59	NH3	$1 \times 10^{-5}$
10, 49	H2O2	$1 \times 10^{-5}$
49	HNO3	$1 \times 10^{-5}$
13, 14	CL2	$1 \times 10^{-5}$
15, 23, 24	GAS L.P.	$1 \times 10^{-6}$
25, 29, 37	GAS L.P.	$3 \times 10^{-7}$
51	GAS L.P.	$3 \times 10^{-10}$

Elaboración propia

El cálculo preliminar muestra que la instalación número 17, donde se maneja el amoníaco, tiene la probabilidad más alta de que ocurra un evento mayor en un año, variando por la frecuencia de carga y descarga que se presenta en la instalación. Las instalaciones que almacenan gas LP tienen probabilidades menores que el resto de las sustancias y en ello interviene las características físicas del material peligroso(ver tabla 41).

En todos los casos, los eventos pueden ser considerados raros o muy raros (CENAPRED,2004a:261), sin embargo, a partir de esta información es posible plantear metas específicas de disminución del riesgo, definiendo las prioridades en actividades de tipo crónica (bajas consecuencias-alta frecuencia) o de tipo catastróficas (alta consecuencias-baja frecuencia).

En algunos países como Holanda y el Reino Unido se utilizan distintos límites (CENAPRED,2004a:262) mismos que son establecidos dentro de una estrategia de reducción del riesgo para la actividad industrial..

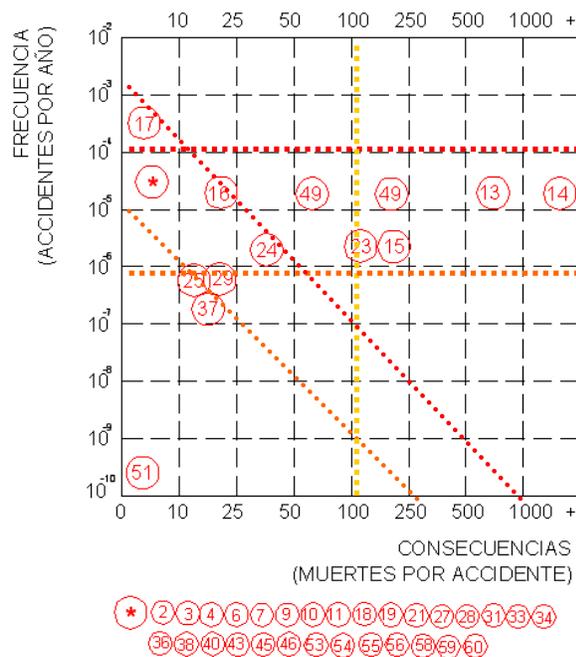
**Tabla 42** Criterios de aceptabilidad del riesgo

PAÍS	MUERTES	ACEPTABLE	TOLERABLE	NO TOLERABLE
HOLANDA			$P < 1 \times 10^{-6}$	$P > 1 \times 10^{-6}$
REINO UNIDO		$P < 1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6} \leq P \leq 1 \times 10^{-4}$	$P > 1 \times 10^{-4}$
CROACIA	10	$P < 1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6} \leq P \leq 1 \times 10^{-4}$	$P > 1 \times 10^{-4}$

Fuente: CENAPRED, 2004a

En México no existen criterios definidos de aceptabilidad del riesgo, pero retomando los límites de aceptabilidad de los casos anteriores, podemos clasificar las actividades peligrosas existentes.

**Figura 89** Matriz frecuencia-consecuencia para instalaciones industriales



Elaboración propia

Si tomamos como referencia el criterio de Croacia representado en la matriz anterior con líneas diagonales, la zona de no-tolerancia al riesgo (línea roja)

incluye a las plantas potabilizadoras de agua, algunas plantas de gas y una empresa de productos químicos, todas ellas asentadas en el área urbana, por tal razón, estas empresas deben ser atendidas de manera prioritaria. La gran mayoría de las empresas identificadas por PROFEPA tienen un nivel tolerable de riesgo (entre línea roja y naranja), y por lo tanto, son de segunda prioridad. Escasas empresas tienen un nivel de riesgo aceptable, y ello se debe al manejo de cantidades pequeñas de gas LP y a su localización en zonas ejidales, lejanas a la mancha urbana.

**Tabla 43** Jerarquización de riesgos por instalaciones industriales

PRIORIDAD	INSTALACIÓN NÚMERO	MATERIAL PELIGROSO	CATEGORÍA
1	13, 14	CLORO	INACEPTABLE
1	15, 23	GAS LP	INACEPTABLE
1	49	ÁCIDO NITRICO Y PERÓXIDO DE HIDRÓGENO	INACEPTABLE
2	16, 17, *	AMONIACO	TOLERABLE
2	*	PERÓXIDO DE HIDRÓGENO	TOLERABLE
2	24, *	GAS LP	TOLERABLE
3	51, 37	GAS LP	ACEPTABLE

**Tabla 44** AGEBs expuestos a incidentes por sustancias químicas en instalaciones industriales

AGEB	AFECTADO POR	% DE SUPERFICIE
031-A	GAS LP	30%
032-4	GAS LP	15%
045-1	GAS LP	100%
448-8	GAS LP	5%
461-3	GAS LP	10%
463-2	GAS LP	1%
246-2	H2O2	10%
393-5	H2O2	60%
416-8	H2O2	50%
493-3	H2O2	25%
494-8	H2O2	100%
531-0	H2O2	30%
549-0	H2O2	5%
554-1	H2O2	30%
566-4	H2O2	100%
651-6	H2O2	5%
652-0	H2O2	50%
393-5	HNO3	10%
416-8	HNO3	25%
494-8	HNO3	50%
531-0	HNO3	5%
652-0	HNO3	5%

Elaboración propia

## **5.4. DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS**

Los peligros químicos relacionados con la distribución y comercialización de sustancias peligrosas incluye principalmente:

- Estaciones de servicio y de carburación
- Tuberías o ductos
- Transporte de sustancias peligrosas (por carretera o por ferrocarril)

### **5.4.1. ESTACIONES DE SERVICIO Y DE CARBURACIÓN**

La distribución al menudeo de gasolina y diesel en cada una de las ciudades, carreteras y sitios particulares, se lleva a cabo en las estaciones de servicio (usualmente llamadas gasolineras) y presenta una distribución regional acorde con el comportamiento económico de las distintas zonas del país, con la densidad de la población y las tendencias de crecimiento en la demanda de combustibles (CENAPRED, 2001a:180).

Los accidentes de las estaciones de servicio, son los derrames o fugas de líquidos combustibles que pueden ocasionar la contaminación del suelo donde se encuentran instalados los tanques de almacenamiento y la migración del contaminante a la red de drenaje y cuerpos de agua en zonas más extensas. Otros accidentes frecuentes son la inflamación del material y explosiones, cuando el mantenimiento de las instalaciones o el manejo de las sustancias se lleva a cabo de forma inadecuada (CENAPRED, 2001a:180).

El aumento del número de estaciones de servicio en el país ha sido constante, lo que ha incrementado también el riesgo de accidente donde puede verse involucrada la población, sobre todo cuando la densidad poblacional en torno a la estación de servicio es elevada (tal como sucede en algunas de las ciudades del país) o cuando es una zona de alto tráfico vehicular, como en las carreteras y zonas comerciales (CENAPRED, 2001a:180).

Las estaciones de carburación, son instalaciones que se dedican a la distribución al menudeo de gas principalmente para uso automotriz, los riesgos asociados a esta actividad son la fuga de gas que puede ocasionar incendios, explosiones e intoxicaciones.

En la ciudad de Mexicali, el crecimiento urbano y de las actividades económicas aunado al incremento en el número de vehículos circulantes (por la facilidad con que estos son adquiridos por la población fronteriza), han fomentado el aumento en la demanda de combustibles multiplicándose la instalación de estaciones de servicio y carburación por toda la ciudad.

## EVENTOS HISTÓRICOS

Los eventos químicos que se han presentado con mayor frecuencia en las estaciones de servicio en la ciudad de Mexicali son los incendios. Las causas principales asociadas a este tipo de eventos, son la imprudencia y el manejo inadecuado de materiales peligrosos. Esto ocurre, por ejemplo, al encender un cigarrillo y presentarse al mismo tiempo una fuga de gasolina en una de las bombas de estación.

Las estaciones de carburación son de más reciente instalación en la ciudad, probablemente por ello es que no se encontraron registros de eventos.

**Tabla 45** Algunos de los eventos químicos ocurridos en Estaciones de Servicio en la ciudad de Mexicali

Año del evento	Evento	DAÑOS	CATEGORÍA
1965	Incendio en una gasolinera. Una bomba de abasto presentó una fuga y un cliente se encontraba fumando en ese momento.	Dañas leves a la instalación y leves lesiones al fumador	1
1966	Incendio. Ardieron 250,000 lts de gasolina y Diesel almacenado en 8 tanques de 75,000 lts de capacidad, instalados en la Planta de "Gasolina, Aceites y Refacciones"		1
1969	Incendio de la gasolinera. Derrame de una gran cantidad de gasolina por parte de un empleado al dar servicio a un automóvil, la gasolina derramada se incendio con la lumbre de un puesto de hot dog.	A más de \$ 25,000 pesos ascendieron las pérdidas	1
1979	Incendio en la estación de gasolina "Autoservicio López"	Pánico entre los vecinos de la estación	1
1982	Incendio en la gasolinera "Pitic" por descuido del despachador de gasolina	Tres bombas y un vehículo resultaron dañados	1
1992	Incendio por desperfecto en el motor de la bomba	Causó alarma en la estación de gasolina y acordonaron el área	1
1992	Gasolina en el drenaje cerca de estación de Gasolina "Monterrey" Fuerte olor a gasolina, los explosímetros marcaban peligrosidad, los vapores que salían de las alcantarillas eran de gasolina.	Evacuación de la Col. PROHOGAR	1
1999	Flamazo en una estación de gasolina. Ocasionado por una fuga de gasolina		1
2001	Explosión en estación de gasolina.	Dos jóvenes de 20 y 31 años con serias quemaduras	1
2005	Fuga de gasolina por falta de mantenimiento en uno de los tanques subterráneos.	Decenas de familias fueron evacuadas ante el grave riesgo de un flamazo de consecuencias incalculables	1

## TRAZADO DE AREAS DE PELIGRO Y ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS

Para determinar las categorías de afectación y el trazo del área de peligro el método (IAEA, 1996:13) asume lo siguiente :

- Se considera que el incidente es el máximo posible (en instalaciones fijas, transporte de materiales).
- Se considera únicamente la distancia letal y no las distancias donde puede haber afectaciones a la salud de distinta magnitud.
- Los criterios para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por nubes tóxicas son:

Se calcula la dispersión de los gases con una estabilidad atmosférica D con velocidad de viento 5 m/s. Estos valores representan factores ambientales promedios y no la peor situación.

El 100% de muertes ocurre por exposición de seres humanos a la concentración de la sustancia a un LC<sub>50</sub> durante 30 minutos. Con estas condiciones se sobreestima, para el área de dicha concentración, pero se subestima para el área fuera de la misma.

- Para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por incendios se considera un flujo de calor de 5-10 Kw/m<sup>2</sup> durante 30 segundos.
- Para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por nubes explosivas se considera una presión de 0.3 bar para zonas de alto riesgo y mayor de 1 bar para las inmediaciones del centro de detonación.

### ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS EXTERNAS EN ESTACIONES

En la ciudad de Mexicali se identificaron 91 estaciones de servicio<sup>29</sup> y 26 estaciones de carburación<sup>30</sup>, estas se distribuyen en toda la superficie urbana generalmente sobre las vialidades principales o de acceso a las colonias.

Con base en el método de la IAEA (1996), las estaciones de servicio y carburación tienen un radio de afectación de 100 metros. El cruce de información entre los radios de afectación y los usos de suelo urbano nos permite identificar que la mitad de las estaciones se localizan en corredores urbanos, mientras que el 39% se localiza en zona habitacional, tal como se muestra en la siguiente tabla 46.

**Tabla 46** Usos de suelo en radios de afectación por estaciones de servicio y carburación

CLAVE	USO DE SUELO	ESTACIONES	PORCENTAJE
01	HABITACIONAL (BAJA)	4	3%
02	HABITACIONAL (MEDIA)	27	23%
03	HABITACIONAL (ALTA)	15	13%
04	INDUSTRIAL	4	3%
05	CORREDOR URBANO (COMERCIAL Y SERVICIOS)	61	52%
07	EQUIPAMIENTO	3	3%
08	MIXTO	2	2%
12	AREA DE CONSERVACIÓN	1	1%
TOTAL		117	100%

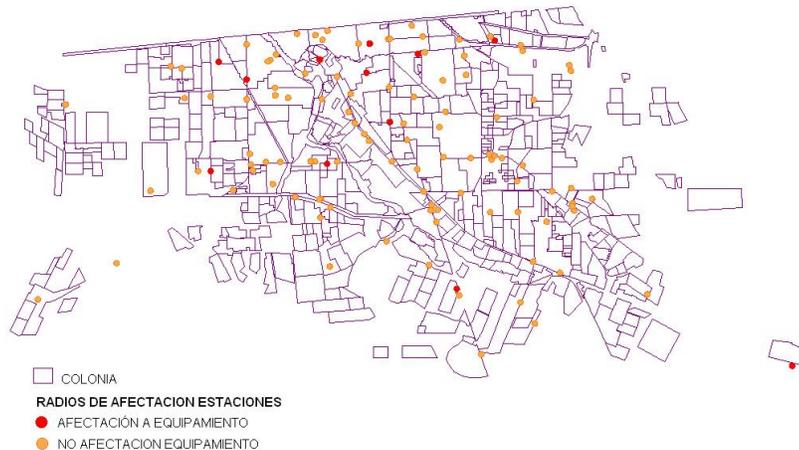
El cruce de los radios de afectación con el equipamiento urbano, nos muestra que al menos 17 elementos de equipamiento se encuentran expuestos (dentro

<sup>29</sup> De acuerdo a información de PEMEX y levantamiento de campo

<sup>30</sup> De acuerdo a información de las compañías de gas y levantamiento de campo

de los radios de afectación de las estaciones), de ellos, 8 escuelas, 3 iglesias y la cárcel municipal.

**Figura 90** Áreas susceptibles de afectación por estaciones de servicio y de carburación



Elaboración propia

La **gasolina** es una sustancia altamente flamable. El vapor de gasolina es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo y puede causar una ignición en punto distante. El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas. La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La ingestión del líquido puede dar lugar a la aspiración del mismo por los pulmones y la consiguiente neumonitis química. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central. Con respecto a las propiedades del gas L.P. ver las propiedades mencionadas anteriormente (ver pág. 147)

### CALCULO DE CONSECUENCIAS

El cálculo de las consecuencias o muertes por un accidente en una actividad ( $C_{a,s}$ ), se realiza con la siguiente fórmula:

$$C_{a,s} = A \times d \times f_a \times f_d \times f_m$$

Donde se multiplica el área afectada ( $A$ ) por la densidad de población en dicha área ( $d$ ), y por los tres factores de corrección:  $f_a$  (por área poblada),  $f_d$  (por distancia) y  $f_m$  (por efectos de mitigación).

A partir del cálculo anterior se obtiene que el 62% de las estaciones pueden tener consecuencias de 50 a más muertes por un accidente o evento. Ello se debe principalmente a la localización de las mismas en áreas con alta o mediana densidad de población.

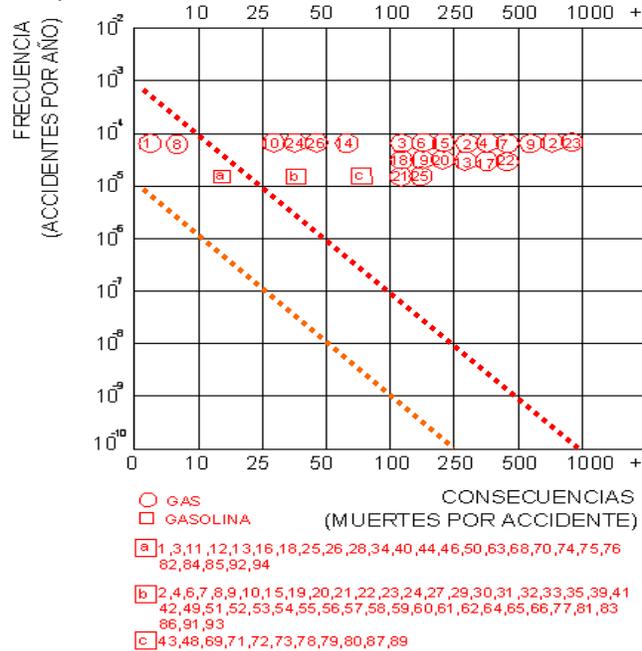
**Tabla 47** Consecuencias por evento de estaciones de servicio y carburación

MUERTES	SUSTANCIA	ESTACIONES	PORCENTAJE
0-10	GAS LP GASOLINA	13	6%
10-25	GASOLINA	26	11%
25-50	GAS LP GASOLINA	49	21%
50-100	GAS LP GASOLINA	123	54%
100-250	GAS LP	8	4%
250-500	GAS LP GASOLINA	6	3%
500-1000	GAS LP	3	1%
TOTAL		228	100%

Elaboración propia

Con base en el criterio de aceptabilidad del riesgo aplicado en la sección anterior (ver tabla 42), representado como líneas diagonales, se observa en la siguiente figura 91 la posición de las estaciones de servicio y de carburación en la relación consecuencia-frecuencia. Podemos observar que las estaciones de carburación tienen un potencial catastrófico similar a las actividades industriales examinadas anteriormente. Esto se explica por la alta probabilidad de accidente que implica el manejo del gas y por la localización de las estaciones en zonas de densidad alta.

**Figura 91** Matriz frecuencia-consecuencia para estaciones de servicio y carburación



Elaboración propia

La clasificación de las estaciones por el nivel de riesgo que representa cada una de ellas, nos da como resultado la tabla 48, donde se obtiene que solo el 9% de las estaciones tiene un nivel aceptable de riesgo. En cambio, el 67% de las estaciones tiene un nivel inaceptable de riesgo y por lo tanto, deben ser atendidas de manera prioritaria dentro de un programa de mitigación o disminución de riesgo.

**Tabla 48** Jerarquización de riesgos por estaciones de servicio y carburación

PRIORIDAD	INSTALACIÓN NÚMERO	MATERIAL PELIGROSO	CATEGORÍA	PORCENTAJE
1a	3,6,15,18,19,20,21,25,2,4,7,13,17,22,9,12,23	GAS	INACEPTABLE	15%
1b	10,24,26,14	GAS	INACEPTABLE	52%
1b	b, c	GASOLINA	INACEPTABLE	
2	a	GASOLINA	TOLERABLE	24%
2	1,8	GAS	TOLERABLE	
3	14,17,45,47,5,6,7,88,90	GASOLINA	ACEPTABLE	9%
3	5,16,11	GAS	ACEPTABLE	

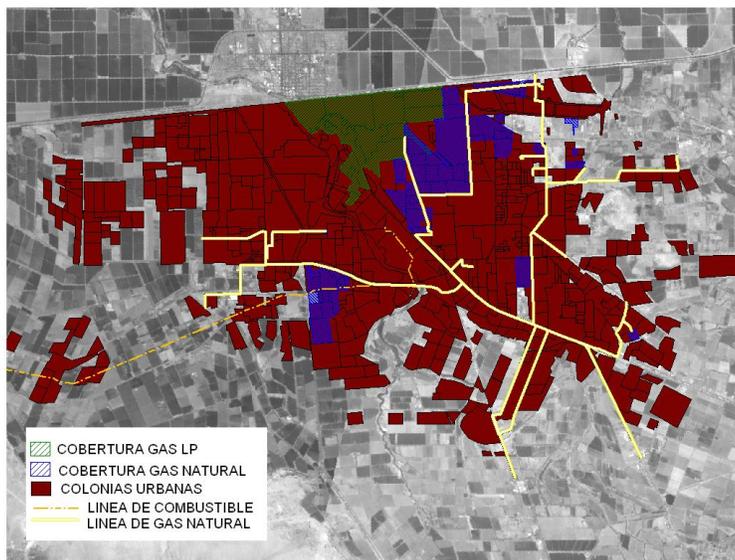
#### 5.4.2. TUBERÍAS O DUCTOS

Una liberación a la atmósfera de las sustancias transportadas a través de ductos o tuberías puede poner en peligro a las personas que viven o se encuentran próximas al lugar de la fuga, aunque el material liberado puede filtrarse al subsuelo y acumularse en el incrementando con ello el área de peligro y la intensidad de cualquier evento. 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 (CENAPRED, 2004a:254).

El suministro de gasolina a la ciudad de Mexicali se llevaba a cabo por medio del poliducto (oleoducto) que provenía de Rosarito y llegaba a la planta de PEMEX ubicada en el cruce de los bulevares Lázaro Cárdenas y Adolfo López Mateos. En 1996 la planta PEMEX se reubicó a las afueras de la ciudad, y el oleoducto quedó fuera de funcionamiento (ver figura 92) el poliducto se representa con la línea punteada). Actualmente la gasolina y el diesel se transportan en vehículos carro-tanque desde la planta distribuidora localizada en la carretera Mexicali-Tijuana a las estaciones de servicio. Por ello se considera que el peligro químico por el poliducto no amenaza a la ciudad, aunque en realidad se desconoce el estado actual del mismo.

Dos empresas se encargan del suministro de gas a áreas habitacionales, comerciales e industriales en la ciudad. Para ello, utilizan una trama de tuberías de acero de diámetros que van de 4 a 16 pulgadas. Las empresas que están a cargo de este servicio son: *Gas Butano Propano de Baja California* quien distribuye el gas L. P. a viviendas y comercios localizados en la zona más antigua de Mexicali (polígono verde) y *Ecogas* quien se encarga de la distribución de gas natural al sector industrial y a algunas viviendas y comercios especialmente en los nuevos fraccionamientos de la ciudad (polígonos azules) (ver figura 92).

Figura 92 Principales tuberías de distribución de gas en la ciudad de Mexicali



Elaboración propia

## EVENTOS HISTÓRICOS

De los eventos químicos ocurridos en ductos o tuberías, resaltan algunas fugas del poliducto de PEMEX que se presentaron en el área urbana antes de 1996, debido principalmente a descuido o imprudencia y falta de mantenimiento del ducto. El resto de los eventos corresponden a fugas de gas en tuberías por daños en la red.

Tabla 49 Algunos de los eventos químicos ocurridos en tuberías y ductos

AÑO DEL EVENTO	EVENTO	DAÑOS	CATEGORÍA
1987	Fuga en poliducto de PEMEX.	No hubo daños mayores, solo la molestia de los conductores que viajaban hacia Tijuana. La ciudad tuvo que ser abastecida de gasolina y diesel por medio de camiones-tanques enviados de Rosarito	0
1992	Fuga de gas en dos zonas de la ciudad. Fuga de gas en tubería. Se reparó el daño y la dirección de seguridad pública mantuvo una guardia en las dos zonas	Evacuación de los residentes del área	1
1992	Fuga de gas en la red subterránea. Técnico detectó fuga de gas en la red y comentó que la tubería se dañó por falta de mantenimiento en los sistemas de distribución que tienen más de 30 años de instalados.		1
1992	Fuga de gas. Tubería rota por CESP.M.	Pánico entre vecinos por fuerte olor	1

## ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

1992	Fuga de combustible en el poliducto Mexicali-Rosarito. Una excavadora lo rompió por falta de precaución por construcción de carretera.		1
1993	Fuga de gasolina por poliducto de PEMEX . Porosidad del poliducto provocó goteo.	Combustible derramado al Río Nuevo	1
1996	Fuga en poliducto de PEMEX en la colonia hidalgo;. Ruptura en un tramo del poliducto de PEMEX.	Evacuación de 70 familias	2
2000	Fuga de gas en el centro de la ciudad. Ruptura de una línea de gas.	Se cerró la válvula dejando sin servicio toda la zona durante el resto del día	0
2000	Fuga de gas en el primer cuadro de la ciudad. Fuga de gas en tubería	Se cerró un área de la calle Morelos y se suspendió el servicio por unas horas que afecto principalmente a restaurantes	1
2001	Fuga de gas. Accidente de tránsito rompe tubería. Un medidor de gas averiado.		0
2002	Fuga de gas. Línea de gas dañada.	Alarma en los residentes de la colonia	0
2003	Fuga de gas. Albañil dañó la línea de gas		0
2003	Fuga de gas en pastelería. Daños en la tubería.		0
2003	Reportan dos fugas de gas en Col. Campanario y Villas del Rey. La línea del gas se dañó		0
2006	Fuga de gas. Una máquina de CESPМ que realizaba trabajos de perforación del pavimento, para hacer la reposición de tuberías, ocasionó la fuga arrojando alrededor de 36 lts/seg de gas natural	Cierre de la vialidad desde calzada Independencia hasta Venustiano Carranza	0

### TRAZADO DE AREAS DE PELIGRO Y ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS

Para determinar las categorías de afectación y el trazo del área de peligro el método (IAEA, 1996:13) asume lo siguiente:

- Se considera que el incidente es el máximo posible (en instalaciones fijas, transporte de materiales).
- Se considera únicamente la distancia letal y no las distancias donde puede haber afectaciones a la salud de distinta magnitud.
- Los criterios para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por nubes tóxicas son:  
Se calcula la dispersión de los gases con una estabilidad atmosférica D con velocidad de viento 5 m/s. Estos valores representan factores ambientales promedios y no la peor situación.  
El 100% de muertes ocurre por exposición de seres humanos a la concentración de la sustancia a un LC<sub>50</sub> durante 30 minutos. Con estas condiciones se sobreestima, para el área de dicha concentración, pero se subestima para el área fuera de la misma.
- Para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por incendios se considera un flujo de calor de 5-10 Kw/m<sup>2</sup> durante 30 segundos.
- Para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por nubes explosivas se considera una presión de 0.3 bar para zonas de alto riesgo y mayor de 1 bar para las inmediaciones del centro de detonación.

## ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS EXTERNAS EN TUBERÍAS

Como se mencionó anteriormente, la distribución del gas se lleva a cabo a través de tuberías con diámetros de 4", 6", 8", 10" y 16", las cuales por el volumen de gas transportado pueden clasificarse en la líneas tipo 1 (diámetros de 4" a 8") y tipo 2 (diámetros de 10" a 16") con distancias de afectación de 200 y 500 metros respectivamente.

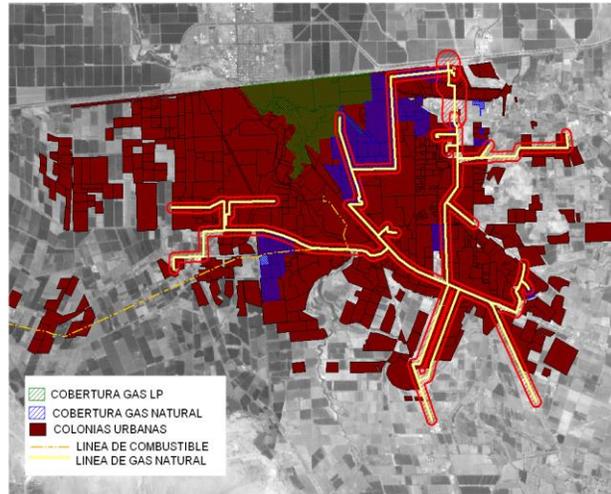
**Tabla 50** Clasificación por flujo de sustancias en tuberías

REFERENCIA	TIPO DE SUSTANCIA	DESCRIPCIÓN DE LA SUSTANCIA	DIÁMETRO (M)	CATEGORÍA
2	LIQUIDO INFLAMABLE	PRESIÓN DE VAPOR A 20°C <0.3 BAR	>0.2	AI
5		PRESIÓN DE VAPOR A 20°C ≥0.3 BAR	0.2-0.4	AI
8	GAS INFLAMABLE	LICUADO A PRESIÓN	>0.4	BII
			<0.1	CI
			0.1-0.2	DI
12	GAS INFLAMABLE	BAJO PRESIÓN	>0.2	EI
			0.2-1	AI
40	GAS TÓXICO	MEDIANA TOXICIDAD	>1	BI
41			<1	EIII
42		ALTA TOXICIDAD	0.1-0.2	FIII
			<0.02	DIII
42	PRESIÓN > 25 BAR, ALTA TOXICIDAD	0.1-0.2	GIII	
		0.02-0.04	EIII	
			0.04-0.1	FIII

Fuente: IAEA, 1996:30

El trazo del área de peligro, permite delinear las franjas de afectación por la distribución de gas por tubería. El cruce de estas franjas con los usos de suelo urbano nos muestra que el 18% de la longitud de la tubería de gas natural cruza por zona habitacional, mientras que el 47% lo hace por zona comercial y el 35% restante por la zona industrial.

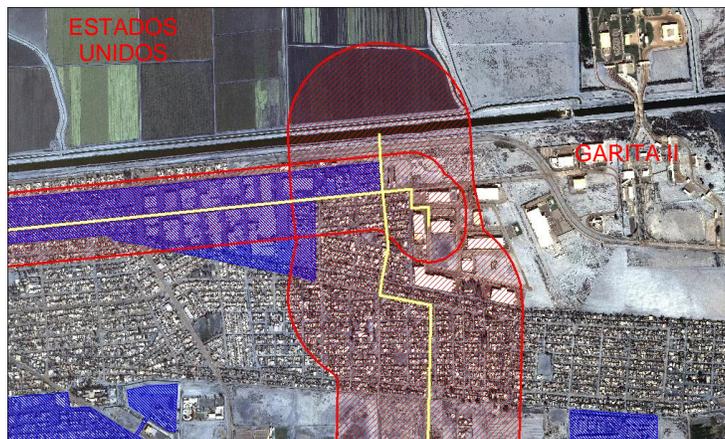
**Figura 93** Áreas susceptibles de afectación por tuberías



Elaboración propia

De particular importancia resulta el tramo de tubería que cruza a Estados Unidos en el noreste y cuyo radio de afectación abarca a las colonias Alianza para la producción, Ricardo Flores Magón y El Porvenir (ver figura 94)

**Figura 94** Microzonificación de fuga en tubería de gas



Elaboración propia

### CALCULO DE CONSECUENCIAS

El cálculo de las consecuencias o muertes por un accidente en una actividad ( $C_{a,s}$ ), se realiza con la siguiente fórmula:

$$C_{a,s} = A \times d \times f_a \times f_d \times f_m$$

Donde se multiplica el área afectada (A) por la densidad de población en dicha área (d), y por los tres factores de corrección:  $f_a$  (por área poblada),  $f_d$  (por distancia) y  $f_m$  (por efectos de mitigación).

La distribución de gas por tubería tiene un potencial catastrófico implícito, especialmente la línea 2 (de mayor diámetro). Ello debido a la peligrosidad de la sustancia y a la densidad de las zonas por la que cruza la tubería (ver figura 99)

**Tabla 51** Consecuencia y probabilidad de accidente por diámetro de tubería

DIÁMETRO (pulgadas)	LINEA DE DISTRIBUCIÓN	CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD
4-8	LINEA 1	MÁS DE 1000	$3 \times 10^{-4}$
10-16	LINEA 2	MÁS DE 5000	$3 \times 10^{-4}$

La distribución de gas por tubería, se constituye en una de las actividades de mayor riesgo químico de las analizadas en el presente documento.

#### 5.4.3. TRANSPORTE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS

Los accidentes en el transporte terrestre de sustancias peligrosas son eventos que se consideran poco frecuentes; sin embargo, una liberación accidental de la sustancia puede ocurrir e impactar considerablemente al ambiente, a los bienes materiales y a las personas próximas al sitio del incidente (CENAPRED, 2004a).

Las actividades productivas (industriales, comerciales y de servicios) utilizan gran diversidad de sustancias, por lo que en la ciudad se movilizan materiales y residuos peligrosos diariamente y en grandes cantidades. Las sustancias se transportan por carretera, vía ferroviaria y barco; la selección del medio de transporte depende del estado físico de la sustancia, la cantidad a transportar, las vías de comunicación disponibles y los costos involucrados, entre otros factores.

El transporte y distribución de materiales industriales por vía carretera representa más del 50% del uso de vehículos de autotransporte federal. Algunas de las sustancias peligrosas más transportadas son gas LP, gas natural, diesel, combustóleo, gasóleo, turbosina, etc. Le siguen en importancia sustancias peligrosas como los ácidos (ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido acético, entre otros), las bases (hidróxido de sodio, hidróxido de calcio, etc.), y compuestos inorgánicos (como el amoníaco y el hipoclorito de

sodio) Las cantidades transportadas pueden ser muy variadas, siendo desde algunos miles de litros hasta cantidades de 40,000 a 80,000 litros en cada unidad de transporte. (CENAPRED,2006).

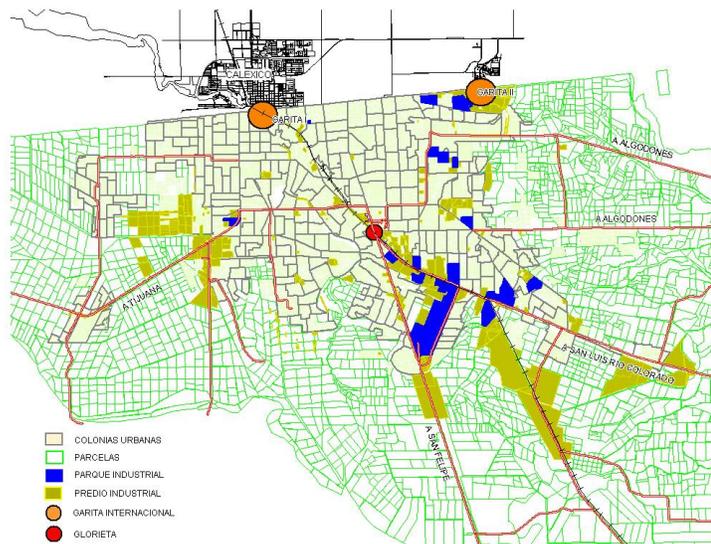
#### **5.4.3.1.TRANSPORTE EN VIALIDADES**

La zona urbana de la ciudad de Mexicali esta conformada por una red de vialidades situada sobre terreno predominantemente plano, con una traza de ejes longitudinales y transversales que permiten la comunicación entre los diversos sectores de la ciudad aunque no totalmente fluida debido a la existencia de barreras que interrumpen la continuidad de las vialidades como el cauce del Río Nuevo, la vía del ferrocarril y el crecimiento urbano no planificado (PDUCP, 1993-2007).

La ciudad de Mexicali se comunica con Estados Unidos por medio de dos garitas internacionales, la primera ubicada en el antiguo centro de la ciudad con el mayor tráfico vehicular y de personas; la segunda garita se encuentra ubicada al oriente de la ciudad, en ella se concentra principalmente el transporte de carga. Al resto del país y del estado la ciudad se enlaza por la carretera Federal no. 2. La carretera Federal no. 5 la conecta a la porción sur del municipio.

En la parte urbana, las vialidades que registran mayor tráfico son: el Bulevar Lázaro Cárdenas que conecta las carreteras de San Luis Río Colorado y Tijuana; el Bulevar López Mateos que comunica la garita del centro con la salida a las carreteras San Luis Río Colorado y San Felipe; la Calzada Justo Sierra permite el tráfico de la línea internacional hacia el sur conectándose con el Bulevar Benito Juárez y el Bulevar Francisco L. Montejano; la Calzada Independencia cruza de oriente a poniente la ciudad en su parte media. Otras arterias de importancia son el Bulevar Anáhuac, el Bulevar Carranza, la Calzada Cuauhtémoc, la Avenida Madero, la Avenida Colón, la Avenida Sinaloa, la Avenida Zaragoza, la Calle Heróico Colegio Militar, la Calle Río Culiacán, y recientemente construidas o ampliadas la Carretera Unión (Calz. Héctor Terán) y la Calzada Manuel Gómez Morín (Periférico) (ICARi, 1999). Por estas vialidades se mueven los materiales peligrosos para su ingreso a los Estados Unidos y distribución a la ciudad. A diferencia del resto de los materiales peligrosos, el gas LP y los combustibles se mueven por la mayoría de las vialidades de la ciudad.

Figura 95 Vialidades principales en la ciudad de Mexicali



Elaboración propia

#### 5.4.3.2. TRANSPORTE EN FERROCARRIL

Los ferrocarriles tienen dos tipos de operación: de arrastre (foránea) y de patio (o cambio) que hacen su recorrido dentro de un área delimitada (ICAR, 1999). Las locomotoras de arrastre generalmente viajan entre localidades distantes, desde una ciudad a otra (incluyendo el servicio de carga intermodal, el servicio de carga mixto y el transporte de pasajeros).

Mexicali se conecta con el resto del país a través de la línea ferroviaria que va a Benjamín Hill, Sonora y hacia Estados Unidos de Norteamérica cruzando por el centro de la ciudad hasta la línea internacional. Actualmente el movimiento del ferrocarril es para carga, pues durante 1996 se dejó de prestar el servicio de pasajeros (ICAR, 1999). Se realiza un viaje de ida y vuelta a la ciudad de Caléxico, California para el intercambio de vagones de carga hacia ambos países y en lo que respecta a la comunicación hacia el interior del país, se realiza un viaje cada tercer día (PDUCP, 2025).

En el área de Mexicali se tienen 4 locomotoras de patio que dan el servicio de entrega y recepción de carga a las empresas que se encuentran establecidas en las cercanías de la vía principal y cuentan con espuelas de acceso a sus

instalaciones. Los principales productos manejados son: chatarra, aceites comestibles, cemento, gas, fertilizantes y semillas (ICARI, 1999).

## EVENTOS HISTÓRICOS

En la ciudad de Mexicali se han presentado algunos incidentes en el transporte de sustancias peligrosas tanto en vías de ferrocarril como en vialidades. Destacan como causas de estos incidentes el descuido o imprudencia de los conductores.

**Tabla 52** Algunos de los eventos ocurridos en Transporte de sustancias peligrosas

Año del evento	Evento	DAÑOS	CATEGORÍA
1978	Explosión e incendio en 4 carros- tanques con gasolina sobre la carretera Packard (actual San Luis Río Colorado).	Cuatro millones de pesos en pérdidas.	1
1990	Fuga de gas carbónico en Mexicali. Un camión pipa trasegaba el gas al deposito donde se almacena la sustancia.	Una nube espesa cubrió 3 de los 4 carriles del la calzada B. Juárez	1
1982	Volcadura de una pipa de PEMEX de 40,000 litros de gasolina por exceso de velocidad.	El chofer murió calcinado	2
1992	Fuga de gas en camión pipa por rotura de una válvula.	Ocasiono tensión entre los vecinos	1
	Fuga de gas butano en la Estación 1 de Ferrocarriles Nacionales de México originada por un carro tanque de 50 toneladas.		0
1981	Fuga de amoniaco en un carro tanque de ferrocarril, cuando se realizaban operaciones de descarga. La fuga de amoniaco causó que las personas de alrededor empezaran a abandonar sus casas para evitar mayor tragedia.	Personas intoxicadas y varias familias evacuadas por un par de horas, quemaduras en la piel.	2
1997	Chocó pipa contra tren, por jugar carreras el de la pipa y querer ganarle al tren. 31,750 litros de gasolina derramados	Se paralizó las actividades de 10 industrias del parque Marán. El combustible se derramó en el alcantarillado y el suelo.	2
2000	Vuelca pipa con 33 mil litros de gasolina. Coalición entre auto compacto y un camión cisterna. Carretera Mexicali-San Luis		0
2002	Alarma incendio de trailer con material tóxico. Se origino por una reacción espontánea de un químico desconocido.	Se tuvo que evacuar y cerrar las calles de los alrededores	0
2005	Arde pipa de PEMEX. Un camión de la Empresa Dagal de 20,000 lts de diesel se impacto contra un Honda Civic '89 quien ocasionó el accidente.	Las dos unidades estaban en llamas con el peligro de que la pipa explotará en cualquier momento.	0

## TRAZADO DE AREAS DE PELIGRO Y ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS

Para determinar las categorías de afectación y el trazo del área de peligro el método (IAEA, 1996:13) asume lo siguiente:

- Se considera que el incidente es el máximo posible (en instalaciones fijas, transporte de materiales).
- Se considera únicamente la distancia letal y no las distancias donde puede haber afectaciones a la salud de distinta magnitud.
- Los criterios para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por nubes tóxicas son:

Se calcula la dispersión de los gases con una estabilidad atmosférica D con velocidad de viento 5 m/s. Estos valores representan factores ambientales promedios y no la peor situación.

El 100% de muertes ocurre por exposición de seres humanos a la concentración de la sustancia a un LC<sub>50</sub> durante 30 minutos. Con estas condiciones se sobreestima, para el área de dicha concentración, pero se subestima para el área fuera de la misma.

- Para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por incendios se considera un flujo de calor de 5-10 Kw/m<sup>2</sup> durante 30 segundos.
- Para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por nubes explosivas se considera una presión de 0.3 bar para zonas de alto riesgo y mayor de 1 bar para las inmediaciones del centro de detonación.

### ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS EXTERNAS EN EL TRANSPORTE

Aun cuando el transporte de sustancias puede abarcar una extensa gama de sustancias, el registro histórico, así como la inspección en campo, permitieron identificar el transporte de gasolina, gas LP y amoniaco. El transporte de gas LP y amoniaco se realiza en vehículos de tipo carro-tanque con capacidad de 12,900 litros y 25,500 litros. Los carros de ferrocarril tienen capacidad distinta de acuerdo al material transportado que va de 13,000 a 34,000 galones (ver <http://www.trinityrailcar.com/>).

De acuerdo a la metodología IAEA (1996) se obtuvieron las distancias de afectación en el transporte terrestre de materiales peligrosos, considerando la siguiente clasificación de vialidades principales:

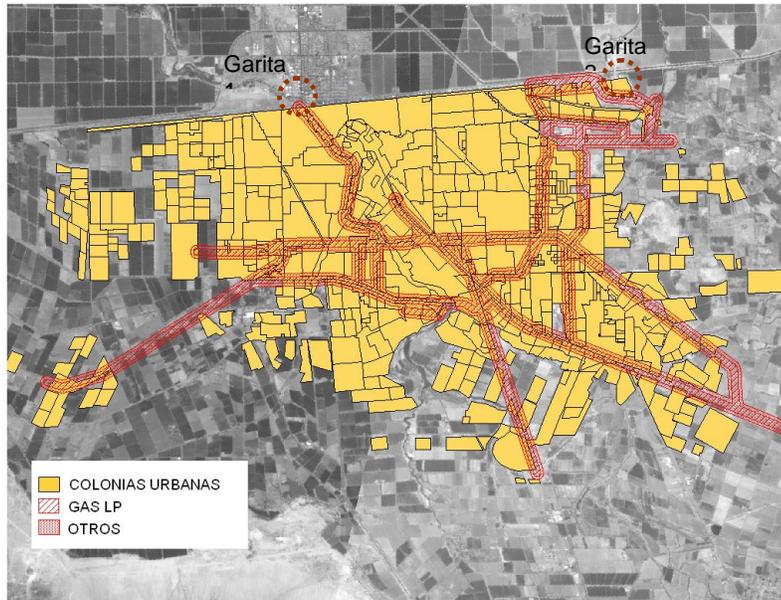
**Tabla 53** Clasificación de principales vialidades

CLASIFICACIÓN	VIALIDADES	ESPECIFICACIÓN
Tipo 1	Benito Juárez, Salida a Tijuana, Carretera Unión, Lombardo Toledano, Malvinas, Laguna Xochimilco, Anáhuac, Venustiano Carranza, Periférico, Carretera a San Felipe, Brasil, Avenida Central, Carretera aeropuerto.	10 a 30 m de ancho
Tipo 2	Río Nuevo, Adolfo López Mateos, Lázaro Cárdenas, Carretera a San Luis Río Colorado, Carretera Garita 2a, Carretera a Garita 2b	30 a 50 m de ancho

El ferrocarril, de acuerdo al transporte de materiales se dividió en dos secciones, la primera que corresponde a la Garita No. 1 localizada en el centro de la ciudad hasta la glorieta Sánchez Taboada, y la segunda que corresponde a la glorieta Sánchez Taboada hasta la salida de la ciudad. La segunda sección del ferrocarril se caracteriza por un transporte intenso de materiales peligrosos para suministro de la actividad industrial instalada a ambos márgenes de la vía.

El transporte de gas LP tiene una distancia de afectación de 100 metros, mientras que el amoniaco y el ácido nítrico tienen una distancia de 200 metros. El transporte de gasolina no resulta significativo para la metodología aplicada.

**Figura 96** Áreas susceptibles de afectación por transporte de materiales peligrosos



Elaboración propia

Con respecto al ferrocarril, el transporte de materiales peligrosos es más intenso en la sección Glorieta Sánchez Taboada – Salida a San Luis Río Colorado. Las distancias de afectación varían de acuerdo al material transportado, tal como se muestra en la tabla 54:

**Tabla 54** Distancias de afectación por material por sección del ferrocarril

SECCIÓN DEL FERROCARRIL	MATERIAL	DISTANCIA
GARITA-GLORIETA (1)	GAS LP	200
	NH3	500
	HNO3	1000
	CL2	10000
	GASOLINA	100
GLORIETA-SALIDA (2)	GAS LP	200
	NH3	500
	HNO3	1000
	CL2	10000
	GASOLINA	100

La primera sección del ferrocarril corresponde al recorrido que va desde la garita 1 hasta el boulevard Lázaro Cárdenas. En esta sección de la ciudad predomina la actividad comercial y se combina con el uso habitacional e industrial.

La superposición de las áreas de afectación y los usos de suelo urbanos, nos muestra que un accidente en el transporte de gas LP por ferrocarril en la sección 1 afectaría principalmente a una parte del centro de la ciudad, centro cívico y algunas colonias urbanas con densidades altas de población. En esta área existen una serie de instalaciones que alojan grandes cantidades de población como por ejemplo, la Plaza Cachanilla, uno de los centro comerciales con mayor número de visitantes en la ciudad. Un evento en el transporte de amoniaco o de ácido nítrico, abarcaría franjas más extensas con mayor área habitacional y densidad poblacional.

**Figura 97** Áreas susceptibles de afectación por transporte de sustancias en la sección 1 del ferrocarril



Elaboración propia

**Figura 98** Áreas susceptibles de afectación por transporte de sustancias en la sección 2 del ferrocarril



Elaboración propia

En la sección 2 del ferrocarril, ubicada al sureste de la ciudad, predomina el uso de suelo industrial aunque se combina con uso de suelo habitacional y comercial, por lo que un accidente con gas LP afectaría principalmente a la actividad industrial. Accidentes con amoníaco y ácido nítrico abarcarían áreas más extensas sobre todo de uso habitacional.

### CALCULO DE CONSECUENCIAS

El cálculo de las consecuencias o muertes por un accidente en una actividad ( $C_{a,s}$ ), se realiza con la siguiente fórmula:

$$C_{a,s} = A \times d \times f_a \times f_d \times f_m$$

Donde se multiplica el área afectada (A) por la densidad de población en dicha área (d), y por los tres factores de corrección:  $f_a$  (por área poblada),  $f_d$  (por distancia) y  $f_m$  (por efectos de mitigación).

Las consecuencias por accidente en el transporte terrestre de materiales peligrosos puede observarse en la siguiente tabla 55. El efecto catastrófico de los materiales se presenta principalmente en el transporte por ferrocarril debido a las cantidades de sustancias en movimiento.

**Tabla 55** Consecuencias por evento en el transporte de sustancias peligrosas

MUERTES	SUSTANCIA	TRANSPORTE	SECCIÓN
0-50	GAS LP, AMONIACO, ACIDO NITRICO	VIALIDAD	1,2
50-100	GAS LP, AMONIACO	TREN	2
100-250	GAS LP, AMONIACO	TREN	1
100-250	ACIDO NITRICO, GASOLINA	TREN	1,2
MAS DE 1000	COLORO	TREN	1,2

Elaboración propia

### PROBABILIDAD DE ACCIDENTES MAYORES

La estimación de la probabilidad de que ocurra un incidente mayor en un año en el transporte de una sustancia determinada ( $P_{t,s}$ ) se obtuvo a partir de la siguiente tabla:

**Tabla 56** Conversión de número de probabilidad a frecuencias

$N_{t,s}$	P	$N_{t,s}$	P	$N_{t,s}$	P
0	$1 \times 10^0$	5	$1 \times 10^{-5}$	10	$1 \times 10^{-10}$
0.5	$3 \times 10^{-1}$	5.5	$3 \times 10^{-5}$	10.5	$3 \times 10^{-11}$
1	$1 \times 10^{-1}$	6	$1 \times 10^{-6}$	11	$1 \times 10^{-11}$
1.5	$3 \times 10^{-1}$	6.5	$3 \times 10^{-6}$	11.5	$3 \times 10^{-12}$
2	$1 \times 10^{-2}$	7	$1 \times 10^{-7}$	12	$1 \times 10^{-12}$

2.5	$3 \times 10^{-2}$	7.5	$3 \times 10^{-7}$	12.5	$3 \times 10^{-13}$
3	$1 \times 10^{-3}$	8	$1 \times 10^{-8}$	13	$1 \times 10^{-13}$
3.5	$3 \times 10^{-3}$	8.5	$3 \times 10^{-8}$	13.5	$3 \times 10^{-14}$
4	$1 \times 10^{-4}$	9	$1 \times 10^{-9}$	14	$1 \times 10^{-14}$
4.5	$3 \times 10^{-4}$	9.5	$3 \times 10^{-10}$	14.5	$3 \times 10^{-15}$

Fuente: IAEA (1996:46)

Donde para obtener el número de probabilidad ( $N_{t,s}$ ) se realiza la suma de la probabilidad promedio para la instalación y la sustancia, y los números de corrección de la probabilidad, por condiciones de seguridad en el sistema de transporte ( $n_c$ ), por la densidad de tráfico ( $n_{td}$ ) y la dirección del viento hacia zonas pobladas ( $n_p$ ).

$$N_{t,s} = N_{t,s}^* + n_c + n_{td} + n_p$$

**Tabla 57** Probabilidad de accidente en un año por sustancia y medio de transporte

TRANSPORTE	SECCION	SUSTANCIA	PROBABILIDAD
VIALIDAD	1,2	ÁCIDO NÍTRICO	$1 \times 10^{-4}$
VIALIDAD	1,2	CLORO, GAS LP, AMONIACO	$1 \times 10^{-6}$
TREN	1	ÁCIDO NÍTRICO	$1 \times 10^{-6}$
TREN	2	ÁCIDO NÍTRICO	$3 \times 10^{-7}$
TREN	1,2	CLORO, GAS LP, AMONIACO	$< 3 \times 10^{-8}$

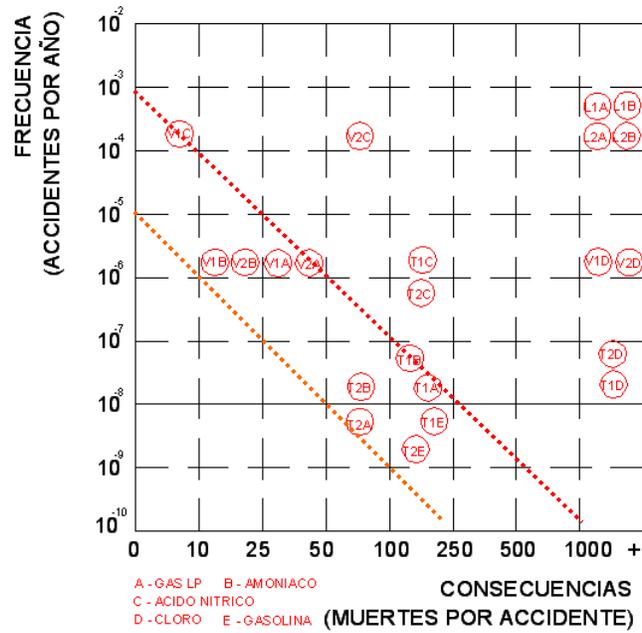
Elaboración propia

El cálculo preliminar muestra que en el transporte de ácido nítrico por cualquiera de las vialidades principales de la ciudad, existe una probabilidad alta de que ocurra un evento mayor, aunque es importante aclarar que esta sustancia no es de uso generalizado en la ciudad. El transporte de materiales por ferrocarril, representa probabilidades menores de accidente.

Con base en el criterio de aceptabilidad del riesgo aplicado en la sección de instalaciones industriales (ver tabla 42) representado como líneas diagonales, se observa en la siguiente figura 99 la posición del transporte de materiales peligrosos por vialidades (V) por tren (T) y las líneas de tuberías<sup>31</sup> (L) en la relación consecuencia-frecuencia, donde podemos observar que el transporte terrestre de cloro representa un alto riesgo, debido a su potencial catastrófico, aunque el manejo de este material por ferrocarril puede representar una menor probabilidad de accidente.

<sup>31</sup> Las tuberías se analizaron en la sección anterior

**Figura 99** Matriz frecuencia-consecuencia para transporte de materiales peligrosos



Elaboración propia

**Tabla 58** Jerarquización de riesgos por transporte de materiales peligrosos

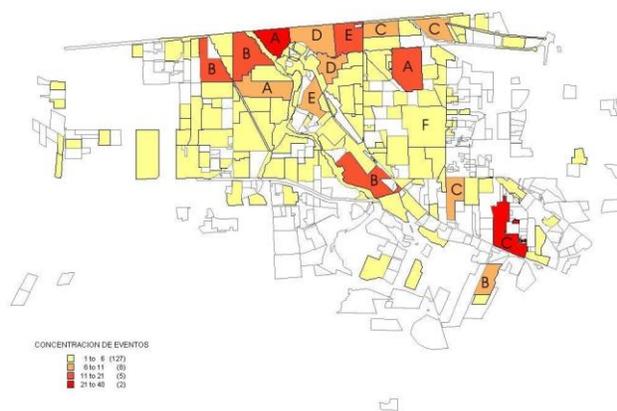
PRIORIDAD	TRANSPORTE	MATERIAL PELIGROSO	CATEGORÍA
1	V1, V2, T1, T2	CLORO	INACEPTABLE
1	T1, T2, V2	ÁCIDO NÍTRICO	INACEPTABLE
2	V1	ÁCIDO NÍTRICO	TOLERABLE
2	V1,V2	AMONIACO, GAS LP	TOLERABLE
2	T1,T2	GAS LP, AMONIACO, GASOLINA	TOLERABLE
3	V1,V2	GASOLINA	ACEPTABLE

La clasificación de la combinación sustancia - medio de transporte con base al riesgo que representan, nos brinda como resultado la tabla (58). De atención prioritaria, por representar un riesgo inaceptable, resulta el transporte terrestre de cloro y ácido nítrico, por esta razón, deben realizarse estudios más específicos sobre la localización de las instalaciones que utilizan tal material y las rutas, cantidades y frecuencias en el transporte del mismo. El resto de las sustancias, de flujo más constante y generalizado en la ciudad, se agrupa en el riesgo tolerable, de prioridad 2, con excepción del transporte por vialidades de gasolina.

### DISTRIBUCIÓN DE LOS EVENTOS EN EL ÁREA URBANA

Los eventos o accidentes químicos ocurren de manera diferenciada en el espacio urbano, ello por las características de cada zona y la población que en ella habita, que en conjunto favorecen o inhiben cierto tipo de eventos. Por ejemplo, en el período 1990-2000, los eventos se concentraron principalmente en dos zonas de la ciudad (ver figura 100): a) la *zona norte* que comprende a las colonias más antiguas de Mexicali, e incluye a colonias más recientes distribuidas a lo largo de la línea internacional, y b) la *zona sureste* que comprende a algunas colonias próximas al corredor industrial de la carretera a San Luis Río Colorado.

Figura 100 Concentración de eventos y tipología de colonias



Tomado de Ley et al. (2005)

A partir del registro de eventos químicos por colonia, es posible caracterizar el espacio urbano y establecer perfiles específicos. Por el tipo de eventos, existen seis perfiles de colonias en Mexicali (ver tabla 59).

Tabla 59 Perfiles de colonias por tipo de evento químico

PERFIL	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA	DESCRIPCIÓN DE EVENTOS		
A	COMERCIAL-HABITACIONAL	Actividad comercial tradicional, colonias en proceso de rápida transformación de uso habitacional a comercial	Incendio (comercial y comercial-habitacional) con graves afectaciones a las construcciones	Falta de mantenimiento y servicio de las instalaciones eléctricas y de gas
B	HABITACIONAL 1	Colonias antiguas con uso habitacional con alto nivel de marginalidad	Incendio en vivienda con afectación grave a la salud y construcciones. Muertes.	Falta de calidad en construcciones e instalaciones, negligencia e intencional (pandillas, quema de basura, juego con fuego)
C	INDUSTRIAL-HABITACIONAL	Colonias próximas al área industrial antigua, próximas a Caléxico	Incendios con afectación grave a construcciones, fugas de sustancias en industrias y fumigación con afectación leve a la salud de muchas personas.	Falta de mantenimiento y servicio en las instalaciones de la vivienda y en plantas de agroquímicos. Negligencia en las fumigaciones.
D	INFRAESTRUCTURA-HABITACIONAL	Colonias antiguas con redes de gas antiguas	Incendio en vivienda y fuga de gas en redes de distribución. Leves afectaciones a la salud y a áreas urbanas.	Falta de mantenimiento y servicio en las instalaciones de la vivienda y redes. Falta de coordinación e información de organismos municipales.
E	HABITACIONAL-INDUSTRIAL	Colonias con uso habitacional dónde se han instalado algunas industrias y comercios	Incendios en infraestructura, vivienda y comercio. Fuga de gas en industrias. Afectaciones leves a la salud y construcciones.	Falta de mantenimiento y servicio de las instalaciones eléctricas y de gas en vivienda y comercios. Fallas en el proceso de producción industrial, No coordinación entre organismos y presencia de pandillas.
F	HABITACIONAL 2	Colonias no antiguas, uso de suelo habitacional	Incendio habitacional con afectación leve a la salud y construcciones	Varios

Elaboración propia a partir de Ley *et al.* (2005)

Como causas principales del desarrollo de condiciones inseguridad con respecto al peligro químico en la ciudad se encuentran las siguientes (Ley *et al.*, 2005):

- . El deterioro urbano, el cual se explica por el envejecimiento de las instalaciones, redes y construcciones de la ciudad principalmente en colonias que rebasan los 45 años.

- . Prácticas sociales cotidianas, como una amplia gama de situaciones de ignorancia, descuido y delincuencia.

- . Combinación de usos de suelo, como problema en la relación vivienda-industria, sea por el crecimiento habitacional en torno a plantas industriales o por la inserción de pequeñas industrias en fraccionamientos. Así como la relación agrícola-habitacional y la transformación acelerada de las viviendas en comercios.

. Control limitado de la actividad industrial para todos los niveles de riesgo (bajo, medio y alto)

. La falta de información, coordinación y mecanismos de control de afectaciones a las redes subterráneas.

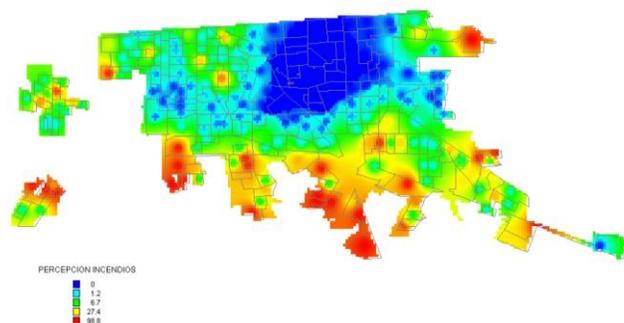
### Percepción social del riesgo

La percepción del riesgo por parte de la población es un tema importante en materia de prevención de desastres. Una comunidad informada, que identifica y conoce los peligros y riesgos de su entorno tiene mayores posibilidades de asumir una actitud preventiva y de tener una respuesta mas adecuada durante y después de la emergencia.

La incidencia de eventos químicos en las viviendas representa un importante punto de análisis en el peligro químico de las áreas urbanas, debido a su componente crónico, es decir, de gran frecuencia y bajo impacto, que con el paso del tiempo logra acumular tanto o más afectados que las actividades de tipo catastrófico.

Sin embargo, pese a la proliferación de incendios en la ciudad, sólo el 15% de los habitantes identifica el incendio como un riesgo. Esta población habita en la periferia de la ciudad, donde los incendios no son tan frecuentes ni intensos como en otras áreas urbanas.

Figura 101 Distribución espacial de la percepción de incendios

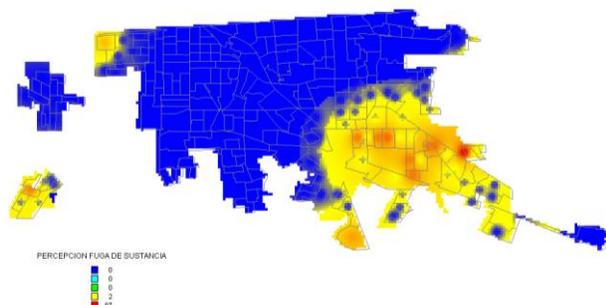


Elaboración propia a partir de los proyectos: "Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali" (UABC-2006) y "Pobreza y niveles de Bienestar en Mexicali" (UABC-SEDESOE, 2006)

Otros eventos químicos son casi invisibles para la comunidad, tal es el caso de las explosiones donde sólo el 7% de la población identifica la posibilidad de este evento. Las fugas de sustancias y gases son identificadas por sólo el 3% de la

población, misma que se ubica principalmente en las proximidades del área industrial.

**Figura 102** Distribución espacial de la percepción de fugas de sustancias



Elaboración propia a partir de los proyectos: “*Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali*” (UABC-2006) y “*Pobreza y niveles de Bienestar en Mexicali*” (UABC-SEDESOE, 2006)

En el tema de percepción social, es importante señalar que existe cierta invisibilidad del riesgo químico, situación contradictoria a la realidad urbana, en la cual se manifiestan constantemente a través de eventos o accidentes, las posibles dimensiones del riesgo. Por esta razón, será conveniente informar a la población acerca de las implicaciones que el manejo de ciertas sustancias puede tener en su salud y bienes, de igual manera, es importante rescatar el principio del “derecho a saber” acerca de los peligros que acompañan a la especialización económica del municipio, y sobre todo, en aquellas zonas dónde la población se encuentra expuesta a químicos por la actividad comercial o industrial próxima.

## CAPACIDAD DE PREVENCIÓN Y RESPUESTA

El incidente ocurrido en 1983 en la empresa Química Orgánica, es el parteaguas en la preparación para la respuesta a emergencias químicas en la ciudad de Mexicali. Desde entonces, el H. Cuerpo de Bomberos, elaboró el plan de atención a este tipo de emergencias, donde se definieron las actividades que deben llevarse a cabo para proteger la vida humana, el ambiente y los bienes, este plan es actualizado cada dos años.

La ciudad cuenta con una Unidad de Protección Civil y para la atención de emergencias con materiales peligrosos, con tres unidades *hazmat* (hazardous materials) ubicadas en las estaciones González Ortega, Central y 23, así como con 30 elementos de primer nivel y 12 de nivel técnico.

La colindancia de la ciudad de Mexicali con la ciudad de Caléxico, California, convierte a los eventos químicos en un tema de interés, no sólo para las autoridades locales, sino de trascendencia binacional, por tal motivo, se han

realizado diversos esfuerzos de coordinación para la cooperación, capacitación e intercambio de información entre autoridades de ambas ciudades y países.

Un ejemplo de ello, es el Programa frontera 2012<sup>32</sup>, firmado en abril del 2003 para proteger el ambiente y la salud en la frontera México-Estados Unidos. En la segunda reunión de trabajo (julio del 2003) de este programa, se discutió el tema de la capacidad binacional de respuesta a las emergencias químicas, acordándose realizar esfuerzos de notificación binacional y desarrollar un plan binacional de contingencias y emergencias.

De igual manera, los convenios de apoyo entre ciudades, han permitido el libre tránsito de bomberos y equipo especializado para atención a emergencias entre ambas ciudades.

La ciudad está preparada para este tipo de emergencias, sin embargo, el continuo crecimiento urbano e industrial, modifican constantemente las condiciones previstas, al punto que representan un reto constante a la seguridad de la población. Por ello, la necesidad de aumentar la capacidad para la atención a emergencias, a través del adiestramiento especializado de los elementos existentes y la incorporación de nuevos elementos, así como, la adquisición de equipamiento general y especializado para este tipo de emergencias, resulta prioritario.

## 5.5. MEDIDAS DE MITIGACION

- Realizar estudios más profundos sobre la percepción social de los peligros que amenazan a la ciudad y con base en ellos, aplicar programas de difusión y concientización pública. La aplicación periódica de este tipo de estudios permitirá evaluar el impacto de dichos programas y sugerir mejoras a los mismos
- Mejorar la capacidad de atención de la Unidad Municipal de Protección Civil y el H. Cuerpo de Bomberos por medio de la capacitación permanente de su personal y la dotación de equipo especializado
- Establecer un sistema de alerta sobre la presencia de los fenómenos Geológicos, Hidrometeorológicos y Químicos que amenazan a la ciudad, sobre todo para alertar a la población ubicada en zonas altamente peligrosas
- Elaborar y actualizar un plan de emergencia para cada uno de los peligros que amenaza a la ciudad.

---

<sup>32</sup> [http://www.epa.gov/usmexicoborder/taskforce/imp\\_mex\\_tf\\_newsletter\\_aug2003.pdf](http://www.epa.gov/usmexicoborder/taskforce/imp_mex_tf_newsletter_aug2003.pdf)

- Establecer albergues y refugios en lugares estratégicos para cada tipo de peligro

#### Mejorar la capacidad local de respuesta

- Incrementar la capacidad técnica de la unidad de protección civil y el H. Cuerpo de Bomberos, a través de la capacitación en el manejo de tecnologías de información y comunicación, en programas de computo para el monitoreo y modelación de emergencias
- Mejorar el equipamiento *hazmat* en la ciudad y brindar capacitación especializada en riesgo químico a los elementos de la corporación
- Capacitar a los industriales, empresas y a la población en general sobre qué hacer y qué no hacer en el caso de una emergencia química
- Realizar simulacros multiescala (en empresas, colonias, la ciudad y binacionales) para verificar el nivel de preparación y corroborar prácticas adecuadas de respuesta a emergencias químicas
- Establecer programas de atención a la población en caso de desastre químico en las instituciones de salud locales

#### Mejorar el conocimiento del peligro

- Realizar el inventario de todas las actividades peligrosas en la ciudad e incluir el reporte de la cantidad y tipo de sustancias que manejan, así como la capacidad y tipo de contenedor utilizado en el almacenamiento de los materiales peligrosos. Para que este inventario sea útil en la modelación de emergencias es importante que se integre en un sistema de información geográfico.
- Concentrar en una base de datos información digital sobre el transporte y almacenamiento de materiales peligrosos, estudios de riesgo y planes de contingencia.
- Actualizar constantemente la información sobre el estado de riesgo de la ciudad y establecer metas de reducción de riesgo específicas
- Evaluar permanentemente el estado del riesgo urbano y la vulnerabilidad para incorporar nuevas medidas de reducción de riesgos o modificar las existentes
- Realizar el intercambio binacional de información sobre actividades y materiales peligrosos, flujo binacional de sustancias, capacidad de respuesta y escenarios posibles de riesgo. Fortalecer los mecanismos de notificación de emergencias entre las ciudades Mexicali-Caléxico
- Realizar estudios para verificar el nivel de toxicidad del agua proveniente de los campos agrícolas que pasa por la ciudad a través de los drenes y el estado de salud de la población aledaña a estos.
- Realizar estudios multi-peligro para detectar posibles efectos en la actividad peligrosa, entre varias actividades peligrosas y en combinación con otros fenómenos que puedan detonar o ser detonados por eventos químicos.

- Ampliar la capacidad de monitoreo ambiental local

#### Disminuir la exposición de la población al peligro y la vulnerabilidad

- Por medio de la planeación y gestión del suelo urbano, evitar el asentamiento humano en los radios de afectación de las actividades peligrosas, y evitar las actividades peligrosas en las zonas habitacionales. Prever zonas de amortiguamiento entre ellas.
- Definir y actualizar constantemente, con base en el conocimiento del riesgo (sustancias, condiciones atmosféricas y afectados potenciales), las rutas y horarios<sup>33</sup> para el transporte de materiales peligrosos y así evitar la exposición innecesaria de la población
- Establecer mecanismos para observar la adecuada transformación del uso habitacional a comercial desde el enfoque de la transformación de la demanda de energía eléctrica y la adecuación necesaria para garantizar un desempeño seguro de las instalaciones.
- Establecer mecanismos para vigilar la adecuada relación entre los usos habitacional-agrícola -en el caso de Mexicali incluye la actividad agrícola de Caléxico- en la programación de las fumigaciones con base en las condiciones atmosféricas
- Atender el problema del deterioro urbano a través de programas específicos de renovación de edificaciones e instalaciones, sobre todo en colonias con más de 45 años para disminuir el riesgo de incendio
- Realizar estudios más precisos sobre la exposición de instalaciones sensibles por accidentes industriales
- Para disminuir los incidentes domésticos, es importante integrar programas de información a las familias sobre las prácticas seguras en el hogar que evitan los accidentes con químicos. De particular interés resultan las zonas dónde las prácticas sociales de pandillerismo y quema de basura amenazan a las familias y sus bienes, en estos casos, la conformación de una conciencia social y el binomio denuncia-vigilancia resultan de primordial importancia.
- Comunicar el riesgo a la población expuesta

#### Mejorar el control del peligro

- Establecer mecanismos de control de la actividad industrial y comercial para los distintos niveles de riesgo donde participen de manera coordinada los distintos ordenes de gobierno, especialmente aquellos encargados de la atención a emergencias
- Incrementar la capacidad de vigilancia de las prácticas seguras de las actividades peligrosas especialmente en aquellas consideradas prioritarias en la agenda local de riesgos

---

<sup>33</sup> En una entrevista con el encargado de transporte de la SCT, informó que no existen horarios ni rutas establecidas para el transporte de material peligroso en la ciudad.

- Fortalecer los mecanismos de coordinación y comunicación entre empresas y dependencias de gobierno encargadas de instalaciones y redes subterráneas
- Fomentar el mantenimiento de instalaciones y tuberías antiguas o deterioradas. Estudiar a detalle la situación actual de seguridad del oleoducto de PEMEX para sugerir medidas pertinentes de disminución de riesgo
- Garantizar el establecimiento de medidas estrictas y la vigilancia de las mismas para disminuir al máximo la probabilidad de que ocurran accidentes o incidentes con materiales peligrosos evitar accidentes en las distintas actividades peligrosas. Esto a través de la actualización constante de los planes de prevención de accidentes, la inspección oportuna y la sanción al incumplimiento.

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

**Tabla 60** Matriz de Medidas de Prevención y Mitigación de riesgo químico en la ciudad de Mexicali

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
General área urbana Mexicali	Bajo nivel de percepción social del peligro químico  Bajo conocimiento por parte de las autoridades sobre el estado que guarda la percepción social en las zonas expuestas al peligro químico	Incrementa las posibilidades de sufrir daños y pérdidas materiales y humanas, por no estar preparados para enfrentar estos peligros	Realizar estudios más profundos sobre la percepción social de los peligros químicos que amenazan la ciudad (Solicitar la realización de estos estudios a expertos)
			Basándose en los resultados de los estudios de percepción social, aplicar programas de difusión y concientización pública en las áreas prioritarias  Aplicar periódicamente estudios de percepción social de los peligros químicos que amenazan la ciudad, para evaluar el impacto de los programas del punto anterior y sugerir mejoras a los mismos.
General área urbana Mexicali	El acelerado crecimiento económico y poblacional en la ciudad de Mexicali ha ido de la mano con el incremento del riesgo químico, demandando mayor capacidad de prevención, atención y respuesta a emergencias.	La baja capacidad de prevención, atención y respuesta a emergencia, incrementa las posibilidades de sufrir daños y pérdidas materiales y humanas mayores	Incrementar la capacidad técnica de la Unidad de Protección Civil y el H. Cuerpo de bomberos, a través de la capacitación en el manejo de tecnologías de información y comunicación, en programas de computo para el monitoreo y modelación de emergencias químicas
			Mejorar el equipamiento HAZMAT en la ciudad y brindar constantemente capacitación especializada en riesgo químico a los elementos de la corporación, por los cambios que se pueden presentar en las actividades peligrosas
			Establecer un sistema de alerta sobre la presencia de los fenómenos químicos, sobre todo para alertar a la población ubicada en zonas altamente peligrosas.
			Elaborar y actualizar planes específicos de emergencia para los peligros químicos en relación con su distribución en la ciudad.
			Establecer albergues y refugios en lugares estratégicos ante emergencias químicas

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
General Mexicali	área urbana Bajo conocimiento general sobre medidas de seguridad y autoprotección	Incrementa la posibilidad de mayores daños y pérdidas por no estar preparados para enfrentar el peligro	<p>Establecer programas para capacitar a los industriales, empresas y a la población en general sobre qué hacer y qué no hacer en el caso de una emergencia química</p> <p>Realizar simulacros multiescala (en empresas, colonias, la ciudad y binacionales) para verificar el nivel de preparación y corroborar prácticas adecuadas de respuesta a emergencias químicas</p> <p>Establecer programas de atención a la población en caso de desastre químico en las instituciones de salud locales</p>
General Mexicali (Ver Fig. 86- 95)	<p>área urbana En la ciudad de Mexicali, se encuentran instaladas múltiples empresas próximas a la población que manejan, almacenan o transportan sustancias y materiales peligrosos, sin embargo, se desconocen los tipos y cantidades de dichas sustancias y materiales, por lo que existe un bajo nivel de conocimiento sobre las fuentes del peligro químico en la ciudad y las características de las mismas</p> <p>Dentro de los eventos que se pueden presentar están incendios, fugas de gases, fuga de sustancias peligrosas como el cloro, amoníaco, gas butano, gasolina, etc; Explosiones, derrames, entre otros</p>	Difícilmente se pueden diseñar estrategias para prevenir y atender emergencias químicas, con lo que se incrementa la probabilidad de que ocurra un accidente mayor	<p>Realizar el inventario de todas las actividades peligrosas en la ciudad e incluir el reporte de la cantidad y tipo de sustancias que manejan, así como la capacidad y tipo de contenedor utilizado en el almacenamiento de los materiales peligrosos. Para que este inventario sea útil en la modelación de emergencias es importante que se integre en un sistema de información geográfico.</p> <p>Concentrar en una base de datos información digital sobre el transporte y almacenamiento de materiales peligrosos, estudios de riesgo y planes de contingencia.</p> <p>Evaluar permanentemente el estado del riesgo urbano y la vulnerabilidad para incorporar nuevas medidas de reducción de riesgos o modificar las existentes</p> <p>Actualizar constantemente la información sobre el estado de riesgo de la ciudad y establecer una jerarquización y metas de reducción de riesgo específicas</p> <p>Realizar estudios para verificar el nivel de toxicidad del agua proveniente de los campos agrícolas que pasa por la ciudad a través de los drenes y el estado de salud de la población aledaña a estos (Solicitar la realización de estos estudios a expertos).</p> <p>Ampliar la capacidad de monitoreo ambiental local</p>

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
General área urbana Mexicali	Bajo conocimiento sobre el flujo de materiales y sustancias peligrosas que se transportan entre México y Estados Unidos	Difícilmente se pueden diseñar estrategias para prevenir y atender emergencias químicas, con lo que se incrementa la probabilidad de que ocurra un accidente mayor	Realizar el intercambio binacional de información sobre actividades y materiales peligrosos, flujo binacional de sustancias, capacidad de respuesta y escenarios posibles de riesgo. Fortalecer los mecanismos de notificación de emergencias entre las ciudades Mexicali-Caléxico
General área urbana Mexicali	Se desconocen los posibles efectos domino originados por el peligro químico en las diferentes actividades y zonas de la ciudad o que pueden multiplicarse por la presencia de otros fenómenos, por ejemplo, los meteorológicos o geológicos.  Entre los efectos posibles: fugas de sustancias, explosiones, contaminación del agua, aire, suelo, etc.		Realizar estudios multi-peligro para detectar posibles efectos en la actividad peligrosa, entre varias actividades peligrosas y en combinación con otros fenómenos que puedan detonar o ser detonados por eventos químicos.
General área urbana Mexicali (Ver Figura 88, 90,93,94, 96, 97, 98)	Asentamientos humanos localizados en zonas de alto peligro químico	Posibles incendios, explosiones, fugas, derrames que pueden ocasionar  Daños y pérdidas materiales, a la salud humana y en ocasiones hasta la muerte	Por medio de la planeación y gestión del suelo urbano, evitar el asentamiento humano en los radios de afectación de las actividades peligrosas, y evitar las actividades peligrosas en las zonas habitacionales. Prever zonas de amortiguamiento entre ellas.
Colonias cercanas a la línea fronteriza Mexicali-valle Imperial	Colonias habitacionales limitan con zonas de cultivo de valle imperial. La falta de control de fumigaciones en zonas de cultivo estadounidense han provocado intoxicaciones en habitantes de algunas colonias mexicalenses	Intoxicaciones humanas y daños a la salud	Establecer mecanismos para vigilar la adecuada relación entre los usos habitacional-agrícola -en el caso de Mexicali incluye la actividad agrícola de Caléxico- en la programación de las fumigaciones con base en las condiciones atmosféricas
Diversas zonas del área urbana de Mexicali (Ver figura 2)	Aproximadamente el 8% de las viviendas localizadas en el área urbana presentan una vulnerabilidad física alta por posible deterioro de instalaciones eléctricas y material constructivo.	Incendios, explosiones, cortos circuitos, fugas de gas, con pérdidas materiales y humanas	Atender el problema del deterioro urbano a través de programas específicos de renovación de edificaciones e instalaciones, sobre todo en colonias con más de 45 años para disminuir el riesgo de incendio

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
Diversas zonas del área urbana de Mexicali	Acelerada transformación de viviendas en comercios sin los ajustes necesarios en las instalaciones eléctricas.	Incendios, explosiones, cortos circuitos, fugas de gas, con pérdidas materiales y humanas	Establecer mecanismos para observar la adecuada transformación del uso habitacional a comercial desde el enfoque de la transformación de la demanda de energía eléctrica y la adecuación necesaria para garantizar un desempeño seguro de las instalaciones.
General Área Urbana de Mexicali (Ver Figura 85)	Bajo nivel de información y concientización de la población sobre prácticas seguras en manejo de materiales y sustancias peligrosas en los hogares.	Incrementa el número de familias afectadas, la intensidad y el número de daños por no estar preparados para enfrentar los efectos domino.	<p>Para disminuir los incidentes domésticos, es importante integrar programas de información a las familias sobre las prácticas seguras en el hogar que evitan los accidentes con químicos. De particular interés resultan las zonas dónde las prácticas sociales de pandillerismo y quema de basura amenazan a las familias y sus bienes, en estos casos, la conformación de una conciencia social y el binomio denuncia-vigilancia resultan de primordial importancia.</p> <p>Comunicar el riesgo a la población expuesta</p>
General Área Urbana de Mexicali	Bajo control y vigilancia de las actividades de las actividades que son fuentes de peligro químico	Incrementa la posibilidad de incidentes químicos y con ello de daños y pérdidas materiales y humanas	<p>Fortalecer los mecanismos de coordinación y comunicación entre empresas y dependencias de gobierno encargadas de instalaciones y redes subterráneas</p> <p>Fomentar el mantenimiento de instalaciones y tuberías antiguas o deterioradas. Estudiar a detalle la situación actual de seguridad del oleoducto de PEMEX para sugerir medidas pertinentes de disminución de riesgo</p> <p>Establecer mecanismos de control de la actividad industrial y comercial para los distintos niveles de riesgo donde participen de manera coordinada los distintos ordenes de gobierno, especialmente aquellos encargados de la atención a emergencias</p>

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

LOCALIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
General Área Urbana de Mexicali	Bajo control y vigilancia de las actividades de las actividades que son fuentes de peligro químico	Incrementa la posibilidad de incidentes químicos y con ello de daños y pérdidas materiales y humanas	<p>Incrementar la capacidad de vigilancia de las prácticas seguras de las actividades peligrosas especialmente en aquellas consideradas prioritarias en la agenda local de riesgos</p> <p>Garantizar el establecimiento de medidas estrictas y la vigilancia de las mismas para disminuir al máximo la probabilidad de que ocurran accidentes o incidentes con materiales peligrosos evitar accidentes en las distintas actividades peligrosas. Esto a través de la actualización constante de los planes de prevención de accidentes, la inspección oportuna y la sanción al incumplimiento</p>

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**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.

**Acelerógrafo.** Instrumento que 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  $g$  ( $981 \text{ cm/s}^2$ ).

**Agente perturbador.** Fenómeno natural o generado por el hombre que tiene la posibilidad de ocasionar daños a un sistema afectable (asentamientos humanos, infraestructura, planta productiva, etc.) en un grado tal, que constituye un desastre. El Sistema Nacional de Protección Civil reconoce, de acuerdo con su origen, los siguientes agentes perturbadores o fenómenos: geológicos; hidrometeorológicos; químicos; sanitario-ambientales y socio-organizativos.

**Amenaza.** Se refiere a la probabilidad de un fenómeno físico dañino para la sociedad, es el evento agresor potencial.

**Análisis de riesgos.** Identificación y evaluación sistemática de objetos de peligro y riesgo.

**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.

**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.

**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.** 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.

**Conductividad térmica.** Es la capacidad de los materiales para dejar pasar el calor.

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

**Enjambre (de sismos).** Serie de terremotos con epicentros en un área relativamente reducida, sin que uno de ellos llegue a tener una magnitud mucho mayor que lo distingue 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.

**Deforestación.** Pérdida de la vegetación natural de una región geográfica, producto de la actividad humana.

**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, autotanques, carrotanques, etcétera.

**Desastre.** Es el evento concentrado en tiempo y espacio, en el cual la sociedad o una parte de ella sufre un daño severo y pérdidas para sus miembros, de tal manera que la estructura social se desajusta y se impide el cumplimiento de las actividades esenciales de la sociedad, afectando el funcionamiento vital de la misma. Evento en donde ocurrieron decesos, lesiones y daños a la propiedad, bienes, servicios o al medio ambiente, con un alto costo en tiempo y dinero. Se puede considerar como una “amenaza consumada”.

Los desastres son producto de la interacción de dos fuerzas opuestas: el peligro y las condiciones inseguras en que se encuentra una población (vulnerabilidad). Los peligros como procesos naturales y/o tecnológicos, y las condiciones inseguras como formas específicas en las que se expresa en tiempo y espacio la vulnerabilidad de la población en relación al peligro.

**Deslizamiento.** Movimiento lento por efecto de la gravedad y hacia debajo de suelos y materiales. Deformación permanente de un suelo o roca debido a un esfuerzo.

**Dextral** o lateral derecho. Se refiere al movimiento horizontal hacia la derecha de los bloques a los lados de una falla geológica. Esto quiere decir que una

persona parada en cualquiera de los dos bloques al mirar hacia el otro bloque verá que éste se mueve hacia la derecha.

**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.

**Erosión.** Proceso geológico que desgasta, remueve y transporta rocas, materiales sin consolidar y suelos. Remoción de suelo y partículas de roca por el viento, ríos y hielo.

**Escala de Mercalli.** Grados de intensidad sísmica expresados con números romanos del I al XII, basado en la percepción del fenómeno.

**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 Hawaii 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.

**Esguerramiento.** 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.

**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.

**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 ha 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.

**Fenómeno.** Es todo aquel evento natural o generado por la actividad humana que puede ocasionar daño o destrucción.

**Fenómeno geológico.** Calamidad que tiene como causa las acciones y movimientos violentos de la corteza terrestre. A esta categoría pertenecen los sismos o terremotos, las erupciones volcánicas, los tsunamis o maremotos y la inestabilidad de suelos, también conocida como movimientos de tierra, los que pueden adoptar diferentes formas: arrastre lento o reptación, deslizamiento, flujo o corriente, avalancha, derrumbe y hundimiento.

**Fenómeno hidrometeorológico.** Calamidad que se genera por la acción violenta de los agentes atmosféricos, tales como huracanes, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; tormentas de nieve, granizo, polvo, y electricidad; heladas; sequías; y las ondas cálidas y gélidas.

**Fenómenos Químicos.** Calamidad que se genera por la acción violenta de diferentes sustancias derivadas de su interacción molecular o nuclear. Comprende fenómenos destructivos tales como incendios de todo tipo, explosiones, fugas tóxicas y radiaciones.

**Flujo.** Movimiento de una masa bien mezclada de roca, tierra y agua que se comporta como un fluido y se desplaza pendiente abajo.

**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.

**Fractura.** Superficie de ruptura de roca que se observa como una abertura visible en superficie. Superficie de discontinuidad de la roca. Plano de ruptura de una roca a lo largo de la cual no hay movimiento diferencial. La presencia de fracturas favorece la inconsistencia de las rocas y materiales inconsolidados.

**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, autotanque, 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.

**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. Este concepto se usa para determinar el volumen de agua que escurre en un río.

**Gestión de riesgos.** La gestión del riesgo se refiere a un proceso social complejo por medio del cual se eleva la concientización de la población, análisis de causas y transformación de la realidad, participación activa de todos los actores, proceso social, del que se derivan otros procesos o consecuencias económicas, humanas, sociales, tradicionales, todo desde una perspectiva social, que incide directamente en los procesos de desarrollo de una comunidad humana.

**Granizo.** Precipitación de agua en estado sólido, en forma de granos de hielo de diversos tamaños que afectan a las regiones agrícolas, zonas ganaderas y zonas urbanas.

**Heladas.** Congelación del agua del suelo por el descenso de temperatura por debajo de cero grados centígrados. Se producen en tiempos anticiclónicos, con calma y sin nubosidad, principalmente en invierno.

**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.

**Hundimiento.** Movimiento vertical y hacia abajo por acción y efecto de la gravedad.

**Incidente.** Evento no deseado que podría causar algún daño, como resultado de la pérdida de contención de material o energía.

**Inestabilidad de laderas.** Movimiento de roca y/o suelo en las formas de relieve o laderas montañosas, cerros o lomas por acción de la gravedad.

**Intemperismo.** Proceso geológico de degradación química de las rocas y materiales cuando son expuestas en la superficie terrestre.

**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.

**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 en un mapa unen puntos de la superficie terrestre igual precipitación en un periodo dado.

**Isoterma.** Son líneas que en un mapa unen puntos de la superficie terrestre que tienen igual temperatura.

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

**Lava.** Producto formado por la consolidación del magma.

**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.

**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 (Ms) o de momento sísmico (Mw).

**Material peligroso.** Elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, represente un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas.

**Mitigación.** Son las acciones y medidas para impedir o disminuir el daño o la destrucción de los fenómenos naturales o tecnológicos en una zona urbana.

**Muros de adobe :** Aquellos construidos con piezas de adobe que es el material terreo, arcilloso, moldeado a mano y dejado secar al sol.

**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 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.

**Peligro.** Probabilidad de ocurrencia de fenómenos destructivos de acuerdo a las características naturales y ubicación del lugar. Condición química o física que tiene el potencial para causar daño a la gente, la propiedad o el medio ambiente.

**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.

**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.

**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.

**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.

**Resistividad térmica.** Se refiere a la capacidad de los materiales para no dejar pasar el calor.

**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.

**Riesgo sísmico.** Probabilidad de riesgo por efecto sísmico que es producto de tres factores: El valor de los bienes expuestos  $c$  (c), tales como vidas humanas, edificios, carreteras, puentes, 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 sismo en un lugar determinado de cierta intensidad sísmica. Así,  $R = C \times V \times P$ .

**Riesgo.** El riesgo es producto de la combinación de tres factores: la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino (peligro), la vulnerabilidad y el valor de los bienes expuestos.

**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.

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

**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.

**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: vigería 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).

**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.

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

**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 de la piel.

**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.

**Volcán.** Grieta ó cualquier 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.

**Volcánico:** Pertenece 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.

**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.

**Zonificación.-** La Zonificación es un procedimiento que regionaliza zonas de riesgos y de peligro en zonas urbanas o ciudades y que pueden quedar representadas al nivel de municipio, colonia, barrio o zona de pobreza. Para llegar a la definición de Zonificación se requieren los temas de la traza urbana, el tema de predios o manzanas, calles y terracerías, la carta topográfica y la información estadística que se tiene registrada al nivel de la zona urbana o ciudad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashrae (2001) *Ashrae handbook 2001 fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
- Aguirre Bernal C. (1983) *Compendio Histórico Biográfico de Mexicali*. 1539-1966. Vol. 1. s. n.
- Avilés, Ana Maria. (Coord.) (2000) *Atlas de Mexicali: un espacio urbano en la estrategia internacional*, UABC, México
- (2004) *Anuario Estadístico Municipal*. XVII Ayuntamiento de Mexicali. México
- (1992) *Atlas Estatal de riesgos del estado de Baja California*. Baja California.
- Basich A. (1983) "Temblores en el Delta del Río Colorado". Calafia. Volumen IV. No. 8. Junio, 1983.
- Blaikie, Piers, Cannon, Terry, Davis, Ian y Wisner, Ben (1994) *At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. London: Routledge.
- CAMEO. *Computer Aided Management of Emergency Operations*. Versión 1.3. Software.
- CENAPRED (2001a) *Diagnostico de Peligros e identificación de Riesgos en México*. Secretaria de Gobernación.
- CENAPRED (2001b) "Sismos". Serie Fascículos. 4ª. Edición. México.
- CENAPRED (2003). "Ciclones tropicales". Serie Fascículos. México.
- CENAPRED(2004a) *Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos*. México. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Pp. 385
- CENAPRED (2004b) "Inundaciones". Serie Fascículos. México.
- CENAPRED (2006) "Fenómenos químicos en México". Disponible en: <http://www.cenapred.unam.mx/es/Investigacion/RQuimicos/SustanciasPeligrosas/> Consulta: octubre, 2006
- CICESE (2006) "Información sobre temblores y sus efectos" Parte I Disponible en: [http://sismologia.cicese.mx/resnom/capsulas/capsula\\_ptIII.php](http://sismologia.cicese.mx/resnom/capsulas/capsula_ptIII.php). Consultado: noviembre 2006
- CNA (1995) *Plan Hidráulico Estatal*. Gerencia Regional Península de Baja California. Comisión Nacional del Agua. México.
- CNA (2001) *Estadísticas del agua 2001*. Comisión Nacional del Agua. México.
- CNA (2003) *Estadísticas del agua 2003*. Comisión Nacional del Agua. México.
- CNA (varios años) Estaciones meteorológicas.
- Cruz-Castillo, M. (2002), "Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California". México. GEOS, Unión Geofísica Mexicana, 22:37-42.

- Cutter (1993) *Living with Risk: Geography of Technological Hazards*. Great Britain. Rutgers University.
- Derrau, Max (1970) Geomorfología. España. Ariel.
- Dirección de Bomberos y Protección Civil (2003) *Atlas Municipal de Riesgos por parte de la Dirección de Bomberos y Protección Civil de Mexicali*. Mexicali, B. C., México.
- D. O. F. (12/05/2000) *Ley General de Protección Civil*. México.
- Donn, L.W. (1978) *Meteorología*. McGraw-Hill Company, 585 pp.
- Elders, W.; R. W. Rex; T. Meidivi; P. T. Robinson and S. Biehler. (1972). "Crustal spreading in Southern California". *Science*. Vol 178:4056 p.p 15.24.
- Figuroa R. Silvia (2006) *Riesgos teratógenos y reproducción generacional con anencefalia (estudio exploratorio: Baja California 1998-2004)*. Tesis doctoral. COLEF. México.
- Florescano, E., y S. Swan, (1995). *Breve Historia de la Sequía en México*. Universidad Veracruzana, 246 pp.
- Frez, C. J. y V. M. Frías-Camacho (1998) "Distribución de energía sísmica en la región fronteriza de ambas California", *GEOS*, 18(3): 189-196.
- García, E., (1981), *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM.
- García-Cueto, O.R. y A. Valdes (1988). "Cálculo de probabilidad de heladas en el Valle de Mexicali", B.C., Mexico. Memoria III Congreso Interamericano de Meteorología, pp. 11-14.
- García-Cueto, O.R. y A. Valdes, (1988). "Estudio preliminar de la climatología dinámica del Valle de Mexicali", B.C. Memoria III Congreso Interamericano de Meteorología, pp. 301-305.
- García Cueto O.R. (2006) *Balance de energía y capa límite superficiales sobre distintos usos del suelo en la ciudad de Mexicali*, B.C. Tesis Doctoral, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 205 pp.
- Gastil, G. R. Phillip and E. Allison. 1975. "Reconnaissance Geology of the State Of Baja California". The Geology Society of America. Boulder Co., Memoir 140. 170 pp.
- Glowacka, E., J. Gonzalez and H. Fabriol (1999) "Recent vertical deformation in Mexicali Valley and its relationship with tectonics" Seismicity, and the Explotation of the Cerro Prieto Geothermal Field. México. *Pure Appl. Geophys*, 159:591-614.
- Glowacka, E. J Gonzalez and F. A. Nava. (2000) "Subsidence in Cerro Prieto Geothermal Field". Baja California, Mexico. *Proceedings World Geothermal Congress 2000 Kyushu - Tohoku, Japan, May 28 - June 10*

- Glowacka, E., O. Sarychikhina and F.A. Nava (2005), "Subsidence and stresses change in the Cerro Prieto Geothermal Field, B.C." Mexico, Pure Appl. Geophys 162:2095-2110.
- (2004) *Guía de respuesta en caso de emergencia*. Departamento de Transporte de los Estados Unidos. Transporte de Canadá Seguridad de Materiales Peligrosos Secretaría de Comunicaciones y Transporte-México
- IAEA (1996) *Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries*. IAEA, VIENNA, 1996
- ICARI (1999) "Inventario de emisiones de Mexicali". Grupo Técnico del Inventario Mexicali. México.
- INE (2006) "Universo de sustancias químicas" disponible en <http://www.ine.gob.mx>
- INEGI (1983) Carta Geológica de Mexicali.
- INEGI (1995) *Estudio Hidrológico del estado de Baja California*. Instituto de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. Pp180
- INEGI (2002) Sistema de Consulta de Información Censal 2000. (disco Compacto)
- INEGI (2004) Sistema Automatizado de Información Censal SAIC 5.0 (Disco Compacto)
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. México.
- Ley G. J. (2002) *Enfoque Integral para la selección de sitios para el emplazamiento de un confinamiento de residuos peligrosos en Baja California*. Tesis de Maestría.
- Ley G. J. Ochoa M., Denegri, F (2005) "Caracterización espacial del riesgo urbano en Mexicali a partir de un SIG de los eventos ocurridos (1990-2000)". Memoria Reunión SELPER, 31 octubre-3 noviembre. Puerto Vallarta, México 2005.
- Ley G. J. (2006) "Amplificación e invisibilidad del riesgo". Ciudades. No. 69. Enero-Marzo de 2006, RNIU, Puebla, México.
- Ley G. J. , Venegas R., García-Cueto (2006) "Atlas de peligros naturales a nivel ciudad; el caso de Mexicali, Baja California". *Memoria Reunión SELPER*. Cartagena, Colombia.
- Lira , H. (1994) "Actividad sísmica registrada en el valle de Mexicali, B. C., de 1973 a 1993" Comisión Federal de Electricidad. Residencia de estudios, junio, 1994.
- Lira H. (2005) "Actualización del modelo geológico conceptual del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC." *Geotermia* .Vol. 18 Núm. 1. Enero-Junio 2005. México. CFE.

- Maderey-Rascón, Cruz-Navarro, Godinez-Calderón.(2001) "Relación entre los fenómenos acuosos y los elementos térmicos del clima en México". *Agrociencia* 35. 23-40, 2001.
- Molina, B. R. 1991. "Sismología en el Valle de Mexicali". *Travesía*. No. 27: 69-76
- Muffler P. y Bruce Roe (1968) "Composition and Mean Age of detritus of the Colorado River Delta in the Salton Trough, Southeastern California", *Journal Sedimentary Petrology*, vol 38:2 Pág. 384-399. Junio 1968.
- Periódico Oficial No. 53 Reglamento de protección civil de Mexicali, Baja California. Publicado en el Periódico, diciembre del 2004.
- PDUCP 1993-2007- *Programa de Desarrollo Urbano Centro de Población de Mexicali*, B. C. XIV Ayuntamiento de Mexicali 1992-1995.
- PDUCP 2010. *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Mexicali*, B. C. 2010. XV Ayuntamiento de Mexicali. COPLADEMM. Dirección de Catastro, control Urbano y Ecología.
- PDUCP 2025. *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población 2025*. IMIP. Mexicali. Octubre 2006, a la fecha no ha sido aprobado.
- Proyecto: "Construcción social de la idea del riesgo: accidentes ocurridos en Mexicali" UABC, Mexicali, B. C. 2005. Coordinadora: Judith Ley García
- Proyecto: "Construcción espacial y visibilidad social de los riesgos urbanos en Mexicali", UABC, Mexicali, B. C. 2006. Coordinadora: Judith Ley García
- Proyecto: "Pobreza y niveles de Bienestar en Mexicali" UABC-SEDESOE. Mexicali B. C: 2006. Coordinadora Guadalupe Ortega Villa.
- Puente C.I. y A. de la Peña L. (1978) Geología del Campo Geotérmico de Cerro Prieto" First Symposium on the Cerro Prieto Geothermal Field, Baja California. México. Septiembre 20-22. San Diego. CFE y USDED
- Rodríguez, E. J.M. (2002) "Los desastres naturales en Mexicali, B. C. Diagnóstico sobre el riesgo y la vulnerabilidad urbana". *Frontera Norte*. Vol. 14. No. 27 123-153
- Samaniego M.(1991) *El desarrollo económico durante el gobierno de Abelardo L. Rodríguez. 1924-1928*. Mexicali: una historia. Tomo 2. Instituto de Investigaciones Históricas. UABC.
- Sánchez, O. (1990) *Crónica Agrícola del Valle de Mexicali*. México.
- Sánchez, V.(2004)(coord.) *El revestimiento del canal todo americano. ¿Competencia o cooperación por el agua en la frontera México-Estados Unidos?* El Colegio de la Frontera Norte: Plaza y Valdés.285 p.
- Santoyo, V. E. y L. Montañez C. (1974). *Estudio preliminar del subsuelo de la ciudad de Mexicali*. Reporte interno patrocinado por la Secretaría de Obras Públicas

- Sarychikhina, O. (2003). *Modelación de subsidencia en el Campo Geotérmico Cerro Prieto*. División de Ciencias de la Tierra Departamento de Sismología. Tesis que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias por el CICESE. Ensenada, Baja California.
- Shreve, F. and I. L. Wiggins (1964), *Vegetation and Flora of Sonoran Desert*. Stanford University Press. Stanford
- Singer, E. (1998). *Geology of Imperial Valley. Monography*. Disponible en: <http://www.aloha.net/~esinger/homegeol.htm#> Consulta: 2006
- SEDESOL-COREMI (2004a) *Guía Metodológica para la elaboración de Atlas de Peligros Naturales a nivel ciudad*. México. Secretaria de Desarrollo Social y Consejo de Recursos Minerales. Pp. 138
- SEDESOL-COREMI (2004b) *Atlas de Peligros Naturales de la Ciudad de Acapulco, Gro. (Identificación y Zonificación)*. México. Secretaria de Desarrollo Social y Consejo de Recursos Minerales. Pp. 367
- SMN-CNA(2006) Ciclones que impactaron directamente a México de 1970-2005. Disponible en <http://www.cna.gob.mx/ciclones/historia/historia.html>. Consulta: septiembre, 2006.
- Secretaría de Gobernación (1991) *Atlas nacional de riesgos*. México.
- Secretaría de Gobernación (2001). *Programa especial de prevención y mitigación del riesgo de desastres 2001-2006*. México.
- Secretaría General de Gobierno del Estado de Baja California (2005), *Atlas de Riesgos: Agentes perturbadores de origen geológico e hidrometeorológico*".
- Suárez-Vidal, F. (1999). "Sismos de M>6 en el Valle de Mexicali-Imperial, generación y distribución de estructuras asociadas a licuefacción". *Geos*. Vol.19 No.1.
- Suárez-Vidal, F. *Et al.* (2001) "Distribución de daños materiales en el Valle de Mexicali, B.C." ocasionados por los sismos de 1 de junio y 10 de septiembre, de 1999, mw = 4.8. *GEOS* Vol. 21. pp 22-30
- Tejeda-Martinez, A. y O.R. García-Cueto (2002). "A comparative simple method for human bioclimatic conditions applied to seasonally hot/warm cities of Mexico". *ATMOSFERA* 15, 55-66.
- UABC(2005). Área de Medio Ambiente, Laboratorio de Meteorología y Climatología. Instituto de Ingeniería, UABC. Datos climatológicos 2005.

## **ANEXOS**

## ANEXO I

### ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL

#### Estimación del índice de vulnerabilidad social (IM)

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 2 (Estimación de la vulnerabilidad social). Asimismo, el grado de vulnerabilidad social ante desastres, se le identificará como, IM y podrá tomar los valores señalados en la tabla 61.

**Tabla 61** Valores del grado de vulnerabilidad social ante desastres

IM	GVS	Grado de vulnerabilidad social ante desastres
1	De 0 a 0.20	Muy bajo
2	De 0.21 a 0.40	Bajo
3	De 0.41 a 0.60	Moderado
4	De 0.61 a 0.80	Alto
5	Más de 0.80	Muy alto

#### 1. GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIAL (GVS)

Para medir el grado de vulnerabilidad social asociada a desastres según la presente metodología considera tres temas: vulnerabilidad socioeconómica (VSE), vulnerabilidad de capacidad de prevención y respuesta (VCPR) y vulnerabilidad por percepción local del riesgo (VPLR). En las siguientes secciones se describe el cálculo de los mismos.

El Grado de Vulnerabilidad Social se obtiene con la siguiente fórmula a partir de los resultados obtenidos para cada tipo de vulnerabilidad. De acuerdo a dicha fórmula a las características socioeconómicas les corresponde un peso del 60%, a la capacidad de prevención y respuesta un peso del 20%, y a la percepción local de riesgo un peso de 20%.

$$GVS = (VSE * 0.60) + (VCPR * 0.20) + (VPLR * 0.20)$$

Al resultado final se le asignarán valores a través de los cuales se establecerá un grado de vulnerabilidad social que se divide en 5 categorías, que abarcarán desde muy alto grado de vulnerabilidad a muy bajo grado de vulnerabilidad y representan valores de IM (tabla 61).

1.1. VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA (VSE)

La vulnerabilidad socioeconómica se obtiene a partir de dieciocho indicadores, los cuales se dividen en cinco categorías: Salud (S), Educación (E), Vivienda (V), Empleo e Ingresos (EI) y Población (P) (Tabla 62).

**Tabla 62** Indicadores de vulnerabilidad socioeconómica

CLAVE	INDICADORES
S1	Proporción de médicos por cada 1000 habitantes
S2	Tasa de mortalidad infantil
S3	Porcentaje de la población no derechohabiente
E1	Porcentaje de analfabetismo
E2	Porcentaje de demanda de educación básica
E3	Grado promedio de escolaridad
V1	Porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada
V2	Porcentaje de viviendas sin drenaje
V3	Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad
V4	Porcentaje de viviendas con paredes de material de desecho y lámina de cartón
V5	Porcentaje de viviendas con piso de tierra
V6	Déficit de vivienda
EI1	Porcentaje de población ocupada que recibe menos de dos salarios mínimos
EI2	Razón de dependencia
EI3	Tasa de desempleo abierto
P1	Densidad de población
P2	Porcentaje de la población de habla indígena
P3	Dispersión poblacional

Cada indicador se calcula con las fórmulas contenidas en las fichas precedentes (Tabla 63 a la 79). Una vez establecidos los valores de cada indicador, se obtiene el promedio para cada rubro, por lo que existirá un promedio para salud, uno para vivienda, otro para educación, etc. Por ejemplo:

$$S = (S1+S2+S3)/3 \text{ o } V = (V1+V2+V3+V4+V5+V6)/6.$$

Se calcula el promedio simple de los indicadores para dar el mismo peso a cada indicador.

Una vez obtenido el promedio por rubro (educación, salud, vivienda, etc.), se suman los resultados y se divide entre 5 para obtener el promedio total. El promedio total será el valor final de la vulnerabilidad socioeconómica (VSE).

$$VSE = (S+E+V+EI+P)/5$$

**Tabla 63** Calculo del indicador S1

<b>INDICADOR S1: Proporción de médicos por cada 1000 habitantes</b>		
FÓRMULA		
$PM = \frac{NoM}{PT} \times 1000$	PM = Proporción de Médicos NoM = Número de Médicos en el Municipio PT = Población Total	
RANGOS		
PM	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
De 0.20 a 0.39	Muy Alta	1.00
De 0.4 a 0.59	Alta	0.75
De 0.6 a 0.79	Media	0.50
De 0.8 a 0.99	Baja	0.25
Uno o más	Muy Baja	0.00
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 64** Calculo del indicador S2

<b>INDICADOR S2: Tasa de mortalidad infantil</b>		
FÓRMULA		
$TMI = \frac{DM1a}{NV} \times 100$	TMI = Tasa de Mortalidad Infantil DM1a = Defunciones de Menores de 1 Año en un periodo determinado NV = Nacidos Vivos en el mismo periodo	
RANGOS		
TMI	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
57.0 ó más	Muy Alta	1.00
De 47.1 a 56.9	Alta	0.75
De 37.1 a 47.0	Media	0.50
De 27.2 a 37.0	Baja	0.25
De 17.2 a 27.1	Muy Baja	0.00
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 65** Calculo del indicador S3

<b>INDICADOR S3: Porcentaje de la población no derechohabiente</b>		
FÓRMULA		
$\%PND = \frac{PND}{PT} \times 100$	%PND = Porcentaje de Población No Derechohabiente PND = Población No Derechohabiente PT = Población Total	
RANGOS		
%PND	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
83.52 ó más	Muy Alta	1.00
De 67.05 a 83.51	Alta	0.75
De 50.58 a 67.04	Media	0.50
De 34.11 a 50.57	Baja	0.25
De 17.63 a 34.10	Muy Baja	0.00
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.		

**Tabla 66** Calculo del indicador E1

<b>INDICADOR E1: Porcentaje de analfabetismo</b>		
FÓRMULA		
$\%A = \frac{P15aA}{PT15a} \times 100$	%A = Porcentaje de Analfabetismo P15aA = Población de 15 años y más Analfabeta PT15a = Población Total de 15 años y más	
RANGOS		
%A	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
60.20 ó más	Muy Alta	1.00
De 45.42 a 60.19	Alta	0.75
De 30.64 a 45.41	Media	0.50
De 15.86 a 30.63	Baja	0.25
De 1.07 a 15.85	Muy Baja	0.00
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 67** Calculo del indicador E2

<b>INDICADOR E2: Porcentaje de demanda de educación básica</b>		
FÓRMULA		
$DEB = \frac{PT6\_14aAE}{PT6\_14a} \times 100$	DEB = Demanda de Educación Básica PT6_14aAE = Población Total de 6 a 14 años que Asiste a las Escuelas PT6_14a = Población Total de 6 a 14 años	
RANGOS		
DEB	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
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
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.		

**Tabla 68** Calculo del indicador E3

<b>INDICADOR E3: Grado promedio de escolaridad</b>		
FÓRMULA		
$GPE = \frac{SAAP15a}{PT15a}$	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	
RANGOS		
GPE	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
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

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.

**Tabla 69** Calculo del indicador V1

<b>INDICADOR V1: Porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada</b>		
FORMULA		
$\%VNDAE = \frac{TVNDAE}{TVPH} \times 100$	%VNDAE = Porcentaje de Viviendas Sin Agua Entubada TVSAE = Total de Viviendas Particulares Habitadas que no disponen de Agua Entubada TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas	
RANGOS		
%VNDAE	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
79.85 ó más	Muy Alta	1.00
De 59.89 a 79.84	Alta	0.75
De 39.93 a 59.88	Media	0.50
De 19.97 a 39.92	Baja	0.25
De 0 a 19.96	Muy Baja	0.00
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 70** Calculo del indicador V2

<b>INDICADOR V2: Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad</b>		
FÓRMULA		
$\%VNDE = \frac{TVNDE}{TVPH} \times 100$	%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	
RANGOS		
%VNDE	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
79.85 ó más	Muy Alta	1.00
De 59.89 a 79.84	Alta	0.75
De 39.93 a 59.88	Media	0.50
De 19.97 a 39.92	Baja	0.25
De 0 a 19.96	Muy Baja	0.00
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 71** Calculo del indicador V3

<b>INDICADOR V3: Porcentaje de viviendas con paredes de material de desecho y láminas de cartón</b>		
FÓRMULA		
$\%VPMD = \frac{TVPMD}{TVPH} \times 100$	%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	

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

RANGOS		
%VPMD	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
15.37 ó más	Muy Alta	1.00
De 11.53 a 15.36	Alta	0.75
De 7.69 a 11.52	Media	0.50
De 3.84 a 7.68	Baja	0.25
De 0 a 3.84	Muy Baja	0.00

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 72 Calculo del indicador V4

INDICADOR V4: Porcentaje de viviendas con piso de tierra		
FÓRMULA		
$\%VPT = \frac{TVPT}{TVPH} \times 100$	%VPT = Porcentaje de Viviendas con Piso de Tierra TVPT = Total de Viviendas Particulares Habitadas con Piso de Tierra TVPH = Total de Viviendas Particulares Habitadas	
RANGOS		
%VPT	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
78.73 ó más	Muy Alta	1.00
De 59.43 a 78.72	Alta	0.75
De 40.13 a 59.42	Media	0.50
De 20.83 a 40.12	Baja	0.25
De 1.52 a 20.82	Muy Baja	0.00

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 73 Calculo del indicador V5

INDICADOR V5: Déficit de vivienda		
FÓRMULA		
$DV = \frac{TH - TVPH + TVPMD + TVPT}{TVPH} \times 100$		
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		
RANGOS		
DV	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
50.00 ó más	Muy Alta	1.00
De 37.92 a 49.99	Alta	0.75
De 25.84 a 37.91	Media	0.50
De 13.76 a 25.83	Baja	0.25
De 1.67 a 13.75	Muy Baja	0.00

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.

**Tabla 74** Calculo del indicador EI1

<b>INDICADOR EI1 : Porcentaje de la población económicamente activa (PEA) que recibe menos de dos salarios mínimos</b>		
FÓRMULA		
$\%PEA = \frac{PH2SM}{PEA} \times 100$	%PEA = Porcentaje de la Población Económicamente Activa H2SM = Población que Percibe hasta 2 Salarios Mínimos PEA = Población Económicamente Activa	
RANGOS		
%PEA	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
82.78 ó más	Muy Alta	1.00
De 66.69 a 82.77	Alta	0.75
De 50.60 a 66.68	Media	0.50
De 34.51 a 50.59	Baja	0.25
De 18.41 a 34.50	Muy Baja	0.00
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 75** Calculo del indicador EI2

<b>INDICADOR EI2: Razón de dependencia</b>		
FÓRMULA		
$RD = \frac{P0_{14a} + P65a}{P15_{64a}} \times 100$	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	
RANGOS		
RD	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
117.60 ó más	Muy Alta	1.00
De 97.64 a 117.60	Alta	0.75
De 77.67 a 97.63	Media	0.50
De 57.70 a 77.66	Baja	0.25
De 37.72 a 57.69	Muy Baja	0.00
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 76** Calculo del indicador EI3

<b>INDICADOR EI3: Tasa de desempleo abierto</b>		
FÓRMULA		
$TDA = \frac{NoPD}{PEA} \times 100$	TDA = Tasa de Desempleo Abierto NoPD = Número de Personas Desocupadas PEA = Población Económicamente Activa	
RANGOS		
TDA	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
12.37 ó más	Muy Alta	1.00
De 9.28 a 12.36	Alta	0.75
De 6.19 a 9.27	Media	0.50
De 3.10 a 6.18	Baja	0.25
De 0 a 3.09	Muy Baja	0.00

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.

**Tabla 77** Calculo del indicador P1

<b>INDICADOR P1: Densidad de población</b>		
FÓRMULA		
$DP = \frac{PT}{ST}$	DP = Densidad de Población PT = Población Total ST = Superficie Territorial	
RANGOS		
DP	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Más de 5,000 habitantes por km2	Muy Alta	1.00
De 1,000 a 4,999 Habitantes por km2	Alta	0.75
De 500 a 999 Habitantes por km2	Media	0.50
De 100 a 499 Habitantes por km2	Baja	0.25
De 1 a 99 Habitantes por km2	Muy Baja	0.00
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 78** Calculo del indicador P2

<b>INDICADOR P2: Porcentaje de la población de habla indígena</b>		
FÓRMULA		
$\%PI = \frac{P5HLI}{P5} \times 100$	%PI = Porcentaje de Población Indígena P5HLI= Población de 5 años y más que Habla una Lengua Indígena P5 = Población de 5 años y más	
RANGOS		
%PI	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Más del 40% de la población	Predominantemente indígena	1.00
Menos del 40% de la población	Predominantemente no indígena	0.00
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 79** Calculo del indicador P3

<b>INDICADOR P3: Dispersión poblacional</b>		
FÓRMULA		
$DiPo = \frac{TPM2500hb}{PT} \times 100$	DiPo = Dispersión Poblacional TPM2500hb = Total de la Población que Habita en Localidades Menores a 2,500 Habitantes PT = Población Total	
RANGOS		
DiPo	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
40 o más	Muy Alta	1.00
de 30 a 39.9	Alta	0.75
de 20 a 29.9	Media	0.50
de 10 a 19.9	Baja	0.25

de 0 a 9.9	Muy Baja	0.00
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.		

1.2. VULNERABILIDAD POR CAPACIDAD DE PREVENCIÓN Y RESPUESTA (VCPR)

La capacidad de prevención y respuesta se obtiene a partir de un cuestionario que se aplica a los órganos responsables de llevar a cabo las tareas de atención a la emergencia y rehabilitación.

El cuestionario permite conocer los recursos, programas y planes con los que dispone la Unidad de Protección Civil Municipal en caso de una emergencia, para con ello, 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 (tabla 80).

**Tabla 80** Cuestionario sobre capacidad de prevención y respuesta a emergencias

No.	Capacidad de prevención y respuesta	SI	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 atención a emergencias?		
2	¿Cuenta con algún plan de emergencia?		
3	¿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?		
4	¿Conoce los programas federales de apoyo para la prevención, mitigación y atención de desastres?		
5	¿Cuenta con algún mecanismo de alerta temprana?		
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)?		
7	¿Las instituciones de salud municipales cuentan con programas de atención a la población (trabajo social, psicológico, vigilancia epidemiológica) en caso de desastre?		
8	¿Tiene establecidas las posibles rutas de evacuación y acceso (caminos y carreteras) en caso de una emergencia y/o desastre?		
9	¿Tiene establecidos los sitios que pueden fungir como helipuertos?		
10	¿Tiene ubicados los sitios que pueden funcionar como refugios temporales en caso de un desastre?		
11	¿Tiene establecido un stock de alimentos, cobertores, colchonetas y pacas de lámina de cartón para casos de emergencia?		
12	¿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.?		
13	¿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?		
14	¿Tiene un número de personal activo que cuente con las capacidades para informar qué hacer en caso de emergencia?		
15	¿Cuenta con mapas o croquis de su localidad que tengan identificados puntos críticos o		

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

	zonas de peligro?		
16	¿Cuenta con el equipo necesario en su unidad para la comunicación tanto para recibir como para enviar información (computadora, Internet, fax, teléfono, etc.)?		
17	¿Cuenta con acervos de información históricos de desastres anteriores y las acciones que se llevaron a cabo para atenderlos?		
18	¿Cuenta con equipo para comunicación estatal y/o municipal (radios fijos, móviles y/o portátiles)?		
19	¿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?		
20	¿Cuenta con algún sistema de Geo Posicionamiento Global (GPS) para georeferenciar puntos críticos en su localidad?		
SUMA DE RESPUESTAS			

Las respuestas “Si” tienen un valor de “0” el cual indica una mayor capacidad de prevención y respuesta y por consiguiente menor vulnerabilidad, mientras que las respuestas “No” tienen un valor de “1” y significan una menor capacidad de prevención y respuesta significa y por lo tanto mayor vulnerabilidad. Se realiza la suma de las respuestas y se promedian para obtener la vulnerabilidad por capacidad de prevención y respuesta (VCPR).

$$VCPR = \frac{\sum \text{Respuestas No}}{(\sum \text{Respuestas No} + \sum \text{Respuestas Si})}$$

1.3. VULNERABILIDAD POR PERCEPCIÓN LOCAL DEL RIESGO (VPLR)

El segundo cuestionario se enfoca a la percepción local del riesgo. Este cuestionario se aplica a una muestra aleatoria del 5% de la población, y debe ser contestado por personas mayores de 18 años y consta de 17 preguntas (81) cada respuesta asume valores entre 0 y 1.

El valor menor (más cercano a cero) significa una mayor percepción local y por ende menor vulnerabilidad, por lo que una baja percepción local en la tabla de valores significará una mayor vulnerabilidad y tendrá como valor más alto 1.

Para obtener la vulnerabilidad por percepción local del riesgo se promedia el valor asignado a cada respuesta.

$$VPLR = \frac{\sum \text{valor de las respuestas}}{\text{Total de respuestas}}$$

**Tabla 81** Cuestionario sobre la percepción social del riesgo

<b>1. ¿Dentro de los tipos de peligro que existen (ver cuadro) cuántos tipos de fuentes de peligro identifica en su localidad?</b>		
<b>Geológicos:</b> Sismos Maremotos Volcanes Flujos de lodo Deslizamientos de suelo (deslaves) Hundimientos y Agrietamientos	<b>Hidrometeorológicos:</b> Ciclones Inundaciones pluviales y fluviales Granizadas Nevadas y Heladas Lluvias torrenciales y trombas Tormentas eléctricas Vientos Temperaturas extremas Erosión Sequías	<b>Químicos:</b> Incendios forestales Incendios Urbanos Explosiones Fugas y derrames de sustancias peligrosas Fuentes móviles
RANGO		Valor asignado
De 1 a 5		1.0
De 6 a 13		0.5
14 o más		0.0
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.		

<b>2. 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?</b>		
RANGO		Valor asignado
NO		1.0
NO SÉ		0.5
SI		0.0
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.		

<b>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.)?</b>		
RANGO		Valor asignado
NO		1.0
NO SÉ		0.5
SI		0.0
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.		

<b>4. En caso que recuerde algún desastre, los daños que se presentaron en su comunidad fueron:</b>		
RANGO	Condición de Vulnerabilidad	Valor asignado
Personas fallecidas, daño total en muchas viviendas y daños graves en infraestructura	ALTO	1.0
Personas fallecidas, algunas viviendas con daño total y daños a infraestructura	MEDIO	0.5
Ninguna fatalidad, daños leves a viviendas e infraestructura	BAJO	0.25

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.

<b>5. ¿Ha sufrido la pérdida de algún bien a causa de un fenómeno natural?</b>		
RANGO		Valor asignado
NO		1.0
NO SÉ		0.5
SI		0.0

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.

<b>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.?</b>		
RANGO		Valor asignado
NO		1.0
NO SÉ		0.5
SI		0.0

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.

<b>7. ¿En los centros educativos de su localidad o municipio se enseñan temas acerca de los agentes perturbadores y la protección civil?</b>		
RANGO		Valor asignado
NO		1.0
NO SÉ		0.5
SI		0.0

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.

<b>8. ¿Alguna vez en su comunidad se han llevado a cabo campañas de información acerca de los peligros existentes en ella?</b>		
RANGO		Valor asignado
NO		1.0
NO SÉ		0.5
SI		0.0

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.

<b>9. ¿Ha participado en algún simulacro, cuenta con un Plan Familiar de Protección Civil?</b>		
RANGO		Valor asignado
NO		1.0
NO SÉ		0.5
SI		0.0

ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

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.

<b>10. ¿Sabe a quién o a dónde acudir en caso de una emergencia?</b>		
RANGO		Valor asignado
NO		1.0
SI		0.0

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.

<b>11. ¿Sabe si existe en su comunidad un sistema de alertamiento para dar aviso a la población sobre alguna emergencia?</b>		
RANGO		Valor asignado
NO		1.0
SI		0.0

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.

<b>12. ¿De acuerdo con experiencias anteriores, su comunidad está lista para afrontar una situación de desastre tomando en cuenta las labores de prevención?</b>		
RANGO		Valor asignado
NO		1.0
NO SÉ		0.5
SI		0.0

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.

<b>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 a causa de a algún tipo de contingencia?</b>		
RANGO		Valor asignado
5 veces o más		1.0
de 2 a 5 veces		0.5
ninguna o 1 vez		0.0

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.

<b>14. ¿Considera importante mantenerse informado acerca de los peligros en su comunidad?</b>		
RANGO		Valor asignado
NO		1.0
NO SÉ		0.5
SI		0.0

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.

<b>15. ¿Sabe dónde está ubicada y que función desempeña la unidad de protección civil?</b>		
RANGO		Valor asignado
No sé dónde se encuentra y no sé qué hace		1.0
Sé qué hace pero no sé dónde se encuentra		0.5
Sé dónde se encuentra y sé sus funciones		0.0

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.

<b>16. ¿Considera que tiene la información necesaria para enfrentar una emergencia?</b>		
RANGO		Valor asignado
NO		1.0
NO SÉ		0.5
SI		0.0

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.

<b>17. En caso de haber estado en una situación de emergencia cómo se enteró de las medidas que debía tomar</b>		
RANGO		Valor asignado
No se enteró		1.0
A través de medios impresos		0.5
A través de radio y televisión		0.0

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.

**ANEXO II**

**ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA**

**1. Estimación de la parte del índice de vulnerabilidad física**

Para tener en cuenta la vulnerabilidad física de la vivienda CENAPRED (2004) 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:

$$I_{vf} = \frac{V_i P_i}{V_p P_M}$$

Donde:

I<sub>vf</sub> = representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la vivienda;

V<sub>i</sub> = representa la calificación de cada tipo de vivienda de acuerdo con los valores de la tabla 82;

V<sub>p</sub> = es la vivienda con el peor desempeño en relación a su vulnerabilidad con respecto a los valores de la tabla 82.

1.1 TIPOLOGÍA DE LA VIVIENDA

**Sismos, vientos, inundaciones, nevadas, heladas y granizadas**

De acuerdo al material constructivo de la vivienda se define la tipología y se asignan valores de resistencia a sismos (S), vientos (V) inundación (I), Nevadas y granizadas (N) conforme a la tabla 81.

**Tabla 82** Factor de peligro para cada tipo de vivienda

Tipo	S	V	I	N	Características
1	1	1	1	1	Muros de mampostería con techo rígido. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.
2	2.3	2.5	2	3	Muros de mampostería con techo flexible. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.
3	3.6	2.0	4	2	Muros de adobe con techo rígido. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.
4	4	5.5	3	5	Muros de adobe con techo flexible. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.
5	3.3	7.6	5	7	Muros de materiales débiles con techo flexible. Generalmente no cuenta con cimentación.

Elaborada a partir de CENAPRED (2004:317-32) para sismo y viento; y propuesta para inundación.

Para la clasificación de INEGI debe entenderse que:

- Los muros de mampostería son de tabique, bloque, piedra, cantera, entre otros.
- Los techos flexibles son: material de desecho, lámina de cartón, lámina de asbesto y metálica, palma, tejamanil, madera y teja, y lo son especificados en el censo.
- Los techos rígidos son: losa de concreto, tabique, ladrillo, terrado con vigueta y bóveda catalana.

La ventaja de esta clasificación es que permite obtener una aproximación relativamente rápida de la resistencia de las viviendas. La desventaja de es que no considera el refuerzo de muros y techos (castillos, dadas y trabes) que también condiciona el desempeño de la vivienda y que generalmente se obtiene a partir de levantamiento de campo (una clasificación más precisa se presenta en la guía de CENAPRED, 2004: 208, 317-321).

Cabe aclarar que esta clasificación tampoco considera la edad de la vivienda como factor de deterioro y pérdida de resistencia, y que será conveniente incluir en estudios posteriores.

### Temperaturas extremas

Para el análisis de las temperaturas extremas es necesario clasificar los materiales de la vivienda conforme a su comportamiento térmico, por lo que encontramos las siguientes combinaciones tabla 83:

**Tabla 83** Vulnerabilidad por tipo de materiales en vivienda

Tipo	Vulnerabilidad	Combinación de materiales
1	M	Muros rígidos con techos rígidos
2a	A	Muros rígidos con techos flexibles tipo A
2b	B	Muros rígidos con techos flexibles tipo B
3	B	Muros de adobe con techos rígidos
4a	M	Muros de adobe con techos flexibles tipo A
4b	MB	Muros de adobe con techos flexibles tipo B
5a	MA	Muros flexibles tipo A con techos flexibles tipo A
5b	M	Muros flexibles tipo A con techos flexibles tipo B
5c	A	Muros flexibles tipo A con techos rígidos
5d	M	Muros flexibles tipo B con techos flexibles tipo A
5e	B	Muros flexibles tipo B con techos flexibles tipo B
5f	B	Muros flexibles tipo B con techos rígidos

De acuerdo a la información de la muestra censal de INEGI debe entenderse que:

- Los muros rígidos son de tabique, bloque, piedra, cantera, entre otros.
- Los techos rígidos son de losa de concreto, tabique, ladrillo, terrado con vigueta y bóveda catalana.

- Los muros flexibles tipo A son de material de desecho, lámina de cartón, lámina de asbesto y metálica.
- Los techos flexibles tipo A son de material de desecho, lámina de cartón, lámina de asbesto y metálica.
- Los muros flexibles tipo B son de carrizo, bambú, palma, barro o bajareque, madera.
- Los techos flexibles tipo B son de palma, tejamanil, madera y teja.

Esta nueva clasificación de viviendas no coincide con la tipología establecida para sismos, vientos e inundaciones específicamente en los materiales flexibles.

### 1.2 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 y Zona D (ver figura 13) de tal forma que la zona A es la de menor peligro y la zona D la de mayor peligro. Para cada zona existe un nivel de peligro asignado (Pi) que permitirá el cálculo de la vulnerabilidad física. Mientras que PM toma el valor de 0.8 que corresponde es el nivel más alto de peligro por sismo (tabla 84).

**Tabla 84** Niveles de peligro por sismo

Clasificación del peligro	Zona	Pi
Bajo	A	0.08
Moderado	B	0.14
Alto	C	0.36
Muy alto	D	0.80

### 1.3 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. (ver figura 77)

La República Mexicana está dividida en cuatro niveles de peligro por velocidad de viento. Para fines del índice de riesgo que se propone los cuatro niveles (Pi), se numerarán de acuerdo a la siguiente tabla, de esta misma tabla se deduce que PM vale 215 km/hr.

**Tabla 85** Niveles de peligro por viento

Clasificación del peligro	Intervalo de velocidades (km/hr)	Pi (km/hr)
Bajo	100 a 130	115
Moderado	130 a 160	145
Alto	160 a 190	175
Muy alto	190 a 220	215

#### 1.4 NIVELES DE PELIGRO POR PRECIPITACIÓN PLUVIAL

El nivel de peligro por precipitación pluvial está asociado a la intensidad de la misma, es decir, a la cantidad de lluvia que se tiene en un día o en una hora. Para fines del presente trabajo se consideró el primer caso y se muestran los niveles de peligro en la siguiente tabla basada en los datos de CENAPRED (2001:107)<sup>34</sup>.

**Tabla 86** Niveles de peligro por precipitación pluvial

Clasificación del peligro	Precipitación máxima en 24 horas	Pi (mm)
ALTO	300 a 400	350
MODERADO	200 a 300	250
BAJO	100 a 200	150
MUY BAJO	0 a 100	50

**Tabla 87** Niveles de peligro por deslizamiento

Clasificación del peligro deslizamiento	Lluvia horaria (mm)	Lluvia diaria (mm)	Pi (mm)
Desastroso	100 a más	300 a 400	350
Severo	70 a 100	200 a 300	250
Menor	40 a 70	100 a 200	150
Ninguno	0 a 40	0 a 100	50

#### 1.5 NIVELES DE PELIGRO POR TEMPERATURAS EXTREMAS

El nivel de peligro por temperaturas extremas está asociado a las temperaturas máximas y mínimas que se registran. En la república mexicana, (Maderey,2001:38 y 32)

<sup>34</sup> Para utilizar datos de precipitación máxima por hora puede consultarse el mapa de isoyetas a escala nacional elaborado por CENAPRED (2004:193-194)

**Tabla 88** Niveles de peligro por temperaturas máximas promedio en el mes de julio

Clasificación del peligro	Temperatura máxima	Pi (°C)
Muy alto	38 a más	41
Alto	32-38	35
Moderado	26-32	29
Bajo	20-26	23
Muy bajo	Menos de 20	20

**Tabla 89** Niveles de peligro por temperaturas mínimas promedio en el mes de enero

Clasificación del peligro	Temperatura mínima	Pi (°C)
Muy alto	Menos de 0	21
Alto	0-6	15
Moderado	6-12	9
Bajo	12-18	3
Muy bajo	18-mas	-3

#### 1.6 NIVELES DE PELIGRO POR NEVADAS Y GRANIZADAS

El nivel de peligro por granizadas y nevadas, está asociado al número de días en que ocurren anualmente en la república mexicana (ver mapas CENAPRED,2001:114-115 o de la sección de peligros en el documento).

**Tabla 90** Niveles de peligro por granizadas

Clasificación del peligro	Número de días	Pi (°C)
Alto	Más de 8	10
Medio	4-8	6
Bajo	2-4	3
Muy bajo	0-2	1

**Tabla 91** Niveles de peligro nevadas

Clasificación del peligro	Número de días	Pi (°C)
Muy alto	Más de 100	125
Alto	50-100	75
Moderado	25-50	37.5
Bajo	0-25	12.5

### ANEXO III

#### ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA POR AGEB

El manejo de datos por AGEB permite visualizar la variación del riesgo en las distintas zonas que integran la ciudad, por ello resulta de gran utilidad en la detección de zonas de atención prioritaria. Esta unidad de análisis sin embargo, presenta como inconveniente que las variables son menos específicas que en el caso de la muestra censal, por ello es necesario realizar algunos ajustes, sobre todo, a la tipología de vivienda para poder aplicar la metodología.

ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE QUE TIENE EN CUENTA LA VULNERABILIDAD FÍSICA POR AGEB

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, viento o agua. El índice tiene la forma:

$$I_{vf} = \frac{V_i P_i}{V_p P_M}$$

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 a la tabla 94

$V_p$  = es la vivienda con el peor desempeño en relación a su vulnerabilidad de acuerdo a la tabla 94.

Tipología de la vivienda para sismo, viento, inundación, nevadas y granizadas

El censo por AGEBs, a diferencia de la muestra censal, agrupa los materiales constructivos de la vivienda en dos tipos: 1) los materiales ligeros, naturales y precarios; y 2) los materiales no ligeros como el concreto, ladrillo, block, entre otros. Por lo que el adobe no está contenido en el primer tipo de materiales y por ello no se puede definir el tipo de vivienda 3 y 4 de la metodología aplicada con la muestra censal (Anexo II)

Para fines de ajuste, los materiales constructivos en muros y techos se clasifican en rígidos y flexibles, y se obtienen los porcentajes de cada uno de ellos en cada AGEB como se muestra en la tabla 92.

**Tabla 92** Clasificación de los materiales constructivos de la vivienda

Z	Variable	Material constructivo	PORCENTAJE
120	Viviendas particulares habitadas		
121	Viviendas particulares con techos de materiales ligeros, naturales y precarios	Techo flexible (TF)	$PTF=(121*100)/120$
122	Viviendas particulares con losa de concreto, tabique, ladrillo o terrado con vigería	Techo rígido (TR)	$PTR=(122*100)/120$
123	Viviendas particulares con paredes de materiales ligeros, naturales y precarios	Muros flexibles (MF)	$PMF=(123*100)/120$
124	Viviendas particulares con tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto.	Muros rígidos (MR)	$PMR=(124*100)/120$

A diferencia de la muestra censal, en el AGEB el dato de las viviendas no se puede obtener con la intersección techo-muro, sólo puede conocerse el porcentaje de viviendas por AGEB para cada uno de los materiales por separado.

Por ello se plantea, que de acuerdo al predominio de cierto material en el AGEB le sea asignada una categoría para techo y otra para muro de las siguientes (tabla 93):

**Tabla 93** Clasificación de los elementos constructivos de la vivienda

TECHO o MURO	Clave TECHO	Clave MURO	% de viviendas en el AGEB
Flexible	TF	MF	81 a más
Predominantemente Flexible	TPF	MPF	61 a 80
Flexible-Rígido	TFR	MFR	41 a 60
Predominantemente Rígido	TPR	MPR	21 a 40
Rígido	TR	MR	0 a 20

Las combinaciones de material constructivo techo-muro posibles se muestran en la siguiente tabla, donde se especifican los tipos de vivienda resultantes por AGEB (tabla 94).

**Tabla 94** Combinaciones de materiales constructivos de la vivienda

TIPO DE VIVIENDA POR MATERIAL CONSTRUCTIVO					
$\cap$	TF	TPF	TFR	TPR	TR
MF	5	5	5	5	5
MPF	5	5	5	5	5
MFR	2,5	2,5	1,2,5	1,5	1,5
MPR	2	2	1, 2	1	1
MR	2	2	1,2	1	1

A cada tipo de vivienda se le asigna un valor o nivel de resistencia a sismos (S), vientos (V), inundación (I) y heladas, nevadas y granizadas (N) conforme a la siguiente tabla. Para el tipo "2,5" el valor será el promedio de los tipos 2 y el 5; de igual manera para el tipo "1,2,5" el valor a considerar es el promedio de los tipos 1,2 y 5 (tabla 94).

**Tabla 95** Factor de peligro para cada tipo de vivienda

Tipo	S	V	I	N	Características
1	1	1	1	1	Muros de mampostería con techo rígido. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.
2	2.3	2.5	2	3	Muros de mampostería con techo flexible. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.
5	3.3	7.6	5	5	Muros de materiales débiles con techo flexible. Generalmente no cuenta con cimentación.

Elaborada a partir de CENAPRED (2004:317-32) para sismo y viento; y propuesta en este trabajo para inundación.

### Tipología de viviendas para temperaturas extremas (heladas y calor intenso)

Con base en la información de materiales constructivos en la muestra censal (ver Anexo II), encontramos los siguientes niveles de peligro (T) por temperaturas extremas (tabla 96).

**Tabla 96** Factor de peligro por tipo de vivienda

Tipo	NIVEL DE VF	T	Combinación de materiales
1	M	3	Muros rígidos con techos rígidos
2a	A	4	Muros rígidos con techos flexibles tipo A
2b	B	2	Muros rígidos con techos flexibles tipo B
3	B	2	Muros de adobe con techos rígidos
4a	M	3	Muros de adobe con techos flexibles tipo A
4b	MB	1	Muros de adobe con techos flexibles tipo B
5a	MA	5	Muros flexibles tipo A con techos flexibles tipo A
5b	M	3	Muros flexibles tipo A con techos flexibles tipo B
5c	A	4	Muros flexibles tipo A con techos rígidos
5d	M	3	Muros flexibles tipo B con techos flexibles tipo A
5e	B	2	Muros flexibles tipo B con techos flexibles tipo B
5f	B	2	Muros flexibles tipo B con techos rígidos

Esta clasificación nos permite identificar los porcentajes por tipo de vivienda para cada nivel de vulnerabilidad física (tabla 97):

**Tabla 97** Porcentajes de vivienda de cada tipo por nivel de vulnerabilidad física

TIPOLOGIA DE VIVIENDA	MA	A	M	B	MB	SUMA
5			100%			100%
2		4.42%		95.58%		100%
1	2.27%	0.16%	9.03%	1.50%	87.05%	100%
T	5	4	3	2	1	

La multiplicación de los factores de peligro (T) con los porcentajes de cada nivel por tipo de vivienda nos proporciona lo siguiente (tabla 98).

**Tabla 98** Niveles de vulnerabilidad y factor de peligro por tipo de vivienda

TIPOLOGIA DE VIVIENDA	T	VF
1	3	M
12	2.54	M
2	2.08	B
25	1.63	B
5	1.18	MB

### Condiciones urbanas para temperaturas extremas

Para el análisis de la vulnerabilidad a temperaturas extremas, se consideran las siguientes variables por AGEB (tabla 99, 100 y 101).

**Tabla 99** Variables consideradas en temperaturas extremas

Z	Variable del censo INEGI por AGEB
120	Viviendas particulares habitadas
139	Viviendas particulares que disponen de energía eléctrica
140	Viviendas particulares con agua entubada en la vivienda
164	Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares

**Tabla 100** Fórmulas para el cálculo de la vulnerabilidad física por temperatura extrema

VARIABLE	CALCULO
PVSE	Porcentaje de viviendas sin electricidad $PVSE = (1 - (Z139/Z120)) * 100$
PVD	Porcentaje de viviendas con un o ningún cuarto dormitorio $PVCD = ((Z126 + Z128)/Z120) * 100$
PVSA	Porcentaje de viviendas sin agua entubada en la vivienda $PVA = (1 - (Z140/Z120)) * 100$
POC	Promedio de ocupantes por cuarto $POC = Z164$
FH	Factor de hacinamiento POC = 1, HC= 100 POC = 2, HC= 75 POC = 3, HC= 50 POC = 4, HC= 25 POC > 4, HC= 0
VTE	Vulnerabilidad por temperatura extrema $VTE = (PVSE + PVSA + FH) / 3$

**Tabla 101** Niveles de vulnerabilidad física por temperatura extrema

VTE	T	VF
0-20	1	MB
20-40	2	B
40-60	3	M
60-80	4	A
80-100	5	MA

## ANEXO IV

### ÍNDICE DE RIESGO

#### 1. ÍNDICE DE RIESGO FÍSICO (IRF)

Un índice de riesgo es un valor acotado entre cero y uno. El índice que se describe en seguida 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 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. El índice de vulnerabilidad social (IM) se explica en el anexo I, mientras que el Índice de vulnerabilidad física (IVF) se explica en los anexos II y III. Una vez calculados ambos índices se obtiene el IRF aplicando la siguiente fórmula:

$$I_{RF} = I_{VF} \left( 0.8 + \frac{I_M}{25} \right)$$

IRF= Índice de riesgo físico  
 IVF= Índice de vulnerabilidad física  
 IM= Índice de vulnerabilidad social

Es claro que el primer factor del IRF está relacionado con la vulnerabilidad física y el segundo con la vulnerabilidad social. Esta última tiene un peso de un 20 por ciento.

#### 2. ÍNDICE DE RIESGO PARA UNA LOCALIDAD (IA) O UNIDAD GEOGRÁFICA

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.

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 82 en el anexo II del presente documento.

Para este caso, el índice de riesgo para la manzana, AGEB o localidad se obtiene haciendo un promedio pesado del IRF asociado a cada tipo de vivienda, esto significa que:

$I_A = \frac{\sum N_i I_{RFi}}{N_T}$	IA= índice de riesgo para una localidad o AGEB
	Ni= Número de viviendas del tipo i
	IRF= índice de riesgo físico del tipo de vivienda i
	NT= Número total de viviendas en la localidad o AGEB

3. CRITERIO PARA ESTIMAR EL ÍNDICE DE RIESGO DE FORMA CUALITATIVA

Una vez que se obtiene el índice IRF, para una vivienda, para un grupo de ellas, o para una localidad o municipio, es posible establecer, el nivel de riesgo conforme a la siguiente tabla 102.

**Tabla 102** Niveles de riesgo

VALOR DE IRF, IA	NIVEL DE RIESGO
0.0<IRF, IA < 0.2	MUY BAJO
0.2<IRF, IA < 0.4	BAJO
0.4<IRF, IA < 0.6	MEDIO
0.6<IRF, IA < 0.8	ALTO
0.8<IRF, IA < 1.0	MUY ALTO

## ANEXO V

### FICHA DE CAMPO

PUNTO DE VERIFICACIÓN: Sierra Cucapá  
 LATITUD: 32.5611  
 LONGITUD: -115.6446  
 ALTURA: 1080 msnm  
 MUNICIPIO: Mexicali  
 CARTA INEGI: I11D75  
 FECHA: 11 noviembre 2006



#### GEOLOGÍA

SUELOS: Aluvial Lacustre Palustre ~~Residual~~ Eólico

LITOLOGÍA: Granodiorita (ígneas intrusivas) EDAD: Mesozoico

ESTRATIFICACIÓN: Horizontal Inclínada Vertical Cruzada Inclinación Rumbo

GRADO DE FRACTURAMIENTO: Escaso Moderado Intense

ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS (m): <0-10 0.10-0.50 0.50-1 1.0-5.0

FRACTURAS: Rumbo: NO-SE Echado:

#### INESTABILIDAD DE LADERAS:

~~Reclas~~ Suelo Soliflucción Reptación Canal de flujo de Sedimento

ORIGEN: Natural Antropogénico **ANGULO DE CORTE (°):** <30-30-60 >60

LONGITUD DEL TALUD (m): <100 100-200 200-500 >500

ESTABILIDAD DE LADERAS: Estable Semiestable Inestable

SUSCEPTIBILIDAD AL MOVIMIENTO: Baja Media Alta

ZONA DE AFECTACIÓN: Vegetación Natural Cultivos Cuerpos de Agua Vía de comunicación  
 Asentamientos Humanos Industrias **SUPERFICIE DE AFECTACIÓN m²:**

#### EROSIÓN:

HÍDRICA LAMINAR: Muy débil ~~Débil~~ Moderada Alta

CONCENTRADA: Asociada a cauces Asociada a Carcavas Asociada a Desbordes

EÓLICA: Muy débil Débil Moderada Alta  
 ANTROPOGÉNICA POR: **CRECIMIENTO POBLACIONAL** **OBRAS CIVILES** **DEFORESTACIÓN**  
 Aprovechamiento de recursos geológicos Construcción de Breehas

INUNDACIÓN: Intermitente en época de lluvias extraordinarias Inundable perenne Intermitente en épocas de lluvias normales Susceptible de desborde

HUNDIMIENTO: Nulo Escaso Fuerte

## ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

### FICHA DE CAMPO

PUNTO DE VERIFICACIÓN: Cerro El Centinela

LATITUD: 32.6208

LONGITUD: -115.7103

ALTURA: 760 msnm

MUNICIPIO: Mexicali

CARTA INEGI: I11d64

FECHA: 11 noviembre 2006



#### GEOLOGÍA

SUELOS: Aluvial                      Lacustre                      Palustre                      ~~Residual~~                      Eólico

LITOLOGÍA: Granodiorita (ígneas intrusivas)                      EDAD: Mesozoico

ESTRATIFICACIÓN: Horizontal    Inclinada    Vertical Cruzada    Inclinación    Rumbo

GRADO DE FRACTURAMIENTO: Escaso    ~~Moderado~~    Intenso

ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS (m): ~~<0.10~~    0.10-0.50    0.50-1    1.0-5.0

FRACTURAS:                      Rumbo: ~~NO-SE~~                      Echado

#### INESTABILIDAD DE LADERAS:

~~Recas~~    Suelo    Solifluxión                      Reptación    Canal de flujo de Sedimento

ORIGEN: Natural    Antropogénico    ANGULO DE CORTE (°): ~~<30~~ 30-60 >60

LONGITUD DEL TALUD (m): <100    100-200    200-500    >500

ESTABILIDAD DE LADERAS: Estable    Semiestable    Inestable

SUSCEPTIBILIDAD AL MOVIMIENTO: Baja    Media    Alta

ZONA DE AFECTACIÓN: Vegetación Natural    Cultivos    Cuerpos de Agua    Vía de comunicación  
Asentamientos Humanos    Industrias    **SUPERFICIE DE AFECTACIÓN m²:**

#### EROSIÓN:

HÍDRICA LAMINAR: Muy débil    Débil    Moderada    Alta

CONCENTRADA: Asociada a cauces    Asociada a Carcavas    Asociada a Desbordes

EÓLICA:                      Muy débil    Débil    Moderada    Alta  
ANTROPOGÉNICA POR: **CRECIMIENTO POBLACIONAL**    **OBRAS CIVILES**    **DEFORESTACIÓN**  
Aprovechamiento de recursos geológicos    Construcción de Brechas

INUNDACIÓN:    Intermitente en época de lluvias extraordinarias    Intermitente en épocas de lluvias normales  
Inundable perenne    Susceptible de desborde

HUNDIMIENTO :    Nulo                      Escaso                      Fuerte

## ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

### FICHA DE CAMPO

PUNTO DE VERIFICACIÓN: Río Nuevo  
 LATITUD: 32.64369  
 LONGITUD: -115.48067  
 ALTURA: 5 metros  
 LOCALIDAD: Ciudad de Mexicali  
 MUNICIPIO: Mexicali  
 CARTA INEGI: I11D65  
 FECHA: Julio 2006



#### GEOLOGÍA

SUELOS: ~~Aluvial~~ Lacustre Palustre Residual Eólico

LITOLOGÍA: ~~Aluviones~~ EDAD: ~~Cuaternario~~

ESTRATIFICACIÓN: ~~Horizontal~~ Inclínada Vertical Cruzada Inclinación Rumbo

GRADO DE FRACTURAMIENTO: Escaso Moderado Intenso

ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS (m): <0.10 0.10-0.50 0.50-1 1.0-5.0

FRACTURAS: Rumbo Echado

#### INESTABILIDAD DE LADERAS:

Rocas Suelo ~~Soliflucción~~ Reptación Canal de flujo de Sedimento

ORIGEN: ~~Natural~~ ~~Antropogénico~~ ANGULO DE CORTE (°): <30 ~~30-60~~ >60

LONGITUD DEL TALUD (m): <100 100-200 200-500 ~~>500~~

ESTABILIDAD DE LADERAS: Estable Semiestable ~~Inestable~~

SUSCEPTIBILIDAD AL MOVIMIENTO: Baja ~~Media~~ Alta

ZONA DE AFECTACIÓN: Vegetación Natural Cultivos Cuerpos de Agua ~~Vía de comunicación~~  
~~Asentamientos Humanos~~ Industrias **SUPERFICIE DE AFECTACIÓN m²: 1,408,000**

#### EROSIÓN:

HÍDRICA LAMINAR: Muy débil Débil ~~Moderada~~ Alta

CONCENTRADA: Asociada a cauces Asociada a Carcavas ~~Asociada a Desbordes~~

EÓLICA: Muy débil Débil Moderada ~~Alta~~  
 ANTRÓPOGÉNICA POR: ~~CRECIMIENTO POBLACIONAL~~ **OBRAS CIVILES** **DEFORESTACIÓN**  
 Aprovechamiento de recursos geológicos Construcción de Brechas

INUNDACIÓN: Intermitente en época de lluvias extraordinarias ~~Intermitente en épocas de lluvias normales~~  
 Inundable perenne Susceptible de desborde

HUNDIMIENTO: ~~Escaso~~ Fuerte

## ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

### FICHA DE CAMPO

PUNTO DE VERIFICACIÓN: Río Nuevo  
 LATITUD: 32.6237  
 LONGITUD: -115.4693  
 ALTURA: cero metros  
 LOCALIDAD: Ciudad de Mexicali  
 MUNICIPIO: Mexicali  
 CARTA INEGI: 111D65  
 FECHA: Julio 2006



#### GEOLOGÍA

SUELOS: ~~Aluvial~~ Lacustre Palustre Residual Eólico

LITOLOGÍA: Aluviones EDAD: Cuaternario

ESTRATIFICACIÓN: Horizontal Inclínada Vertical Cruzada Inclinación Rumbo

GRADO DE FRACTURAMIENTO: Escaso Moderado Intenso

ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS (m): <0.10 0.10-0.50 0.50-1 1.0-5.0

FRACTURAS: Rumbo Echado

#### INESTABILIDAD DE LADERAS:

Rocas Suelo ~~Solifluxión~~ Reptación Canal de flujo de Sedimento

ORIGEN: ~~Natural~~ Antropogénico ANGULO DE CORTE (°): <30 30-60 >60

LONGITUD DEL TALUD (m): <100 100-200 200-500 >500

ESTABILIDAD DE LADERAS: Estable Semi estable ~~Inestable~~

SUSCEPTIBILIDAD AL MOVIMIENTO: Baja Media Alta

ZONA DE AFECTACIÓN: Vegetación Natural Cultivos Cuerpos de Agua Vía de comunicación  
~~Asentamientos Humanos~~ Industrias **SUPERFICIE DE AFECTACIÓN m²:**

#### EROSIÓN:

HÍDRICA LAMINAR: Muy débil Débil Moderada Alta

CONCENTRADA: Asociada a cauces Asociada a Carcavas Asociada a Desbordes

EÓLICA: Muy débil Débil Moderada Alta  
 ANTRÓPOGÉNICA POR: ~~CRECIMIENTO POBLACIONAL~~ **OBRAS CIVILES** **DEFORESTACIÓN**  
 Aprovechamiento de recursos geológicos Construcción de Brechas

INUNDACIÓN: Intermitente en época de lluvias extraordinarias Intermitente en épocas de lluvias normales  
 Inundable perenne Susceptible de desborde

HUNDIMIENTO : ~~Escaso~~ Fuerte

## ATLAS DE RIESGOS NATURALES Y QUÍMICOS: CIUDAD DE MEXICALI

### FICHA DE CAMPO

PUNTO DE VERIFICACIÓN: Mesa Arenosa

LATITUD: 32.654

LONGITUD: -115.141

ALTURA:

LOCALIDAD: Ciudad de Mexicali

MUNICIPIO: Mexicali

CARTA INEGI: I11D75

FECHA: 11 noviembre 2006



#### GEOLOGÍA

SUELOS: ~~Aluvial~~ Lacustre Palustre Residual Eólico

LITOLOGÍA: Aluviones EDAD: Cuaternario

ESTRATIFICACIÓN: ~~Horizontal~~ Inclinada Vertical Cruzada Inclinación Rumbo

GRADO DE FRACTURAMIENTO: Escaso Moderado Intenso

ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS (m): <0.10 0.10-0.50 0.50-1 1.0-5.0

FRACTURAS: Rumbo Echado

#### INESTABILIDAD DE LADERAS:

Rocas: ~~Suele~~ Soliflucción Reptación Canal de flujo de Sedimento

ORIGEN: ~~Natural~~ Antropogénico **ANGULO DE CORTE (°):** ~~<30~~ 30-60 >60

LONGITUD DEL TALUD (m): ~~<100~~ 100-200 200-500 >500

ESTABILIDAD DE LADERAS: ~~Estable~~ Semiestable Inestable

SUSCEPTIBILIDAD AL MOVIMIENTO: ~~Baja~~ Media Alta

ZONA DE AFECTACIÓN: Vegetación Natural Cultivos Cuerpos de Agua Vía de comunicación  
Asentamientos Humanos Industrias **SUPERFICIE DE AFECTACIÓN m²:**

#### EROSIÓN:

HÍDRICA LAMINAR: ~~Muy débil~~ Débil Moderada Alta

CONCENTRADA: ~~Asociada a cauces~~ Asociada a Carcavas Asociada a Desbordes

EÓLICA: Muy débil Débil Moderada Alta  
ANTROPOGÉNICA POR: **CRECIMIENTO POBLACIONAL** **OBRAS CIVILES** **DEFORESTACIÓN**  
Aprovechamiento de recursos geológicos Construcción de Brechas

INUNDACIÓN: Intermitente en época de lluvias extraordinarias Inundable perenne Intermitente en épocas de lluvias normales Susceptible de desborde

HUNDIMIENTO: Escaso Fuerte

