

1. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos se originan por procesos naturales de dos tipos, los de tipo endógeno que tienen lugar en el interior de la Tierra y originan fenómenos naturales como los sismos, los tsunamis y los volcanes; y los de tipo exógeno que se presentan en la superficie terrestre como intemperismo, erosión y acumulación debido a las acciones de la gravedad, del agua, del aire, el sol y otros factores que, en conjunto, dan composición, forma y estructura a la superficie terrestre. Los peligros geológicos comprenden los temas de: fallas y fracturas, erosión, sismos, volcanes, tsunamis, hundimientos, deslizamientos, derrumbes y flujos de lodo.

1.1. Peligro por fallas geológicas

El movimiento de las placas tectónicas puede generar fuerzas de fricción que impiden el desplazamiento de una con respecto a la otra, provocando esfuerzos en el material o roca que la constituye hasta romperla. 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, entre otros elementos, o bien, pueden 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 donde se asienta el municipio de Mexicali es ocasionada por el movimiento de las placas Norteamérica y Pacífico, de aproximadamente 4.9 cm/año (Sarychikhina, 2003; Glowacka, Sarychikhina y Nava, 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 al valle de Mexicali y que forman parte del sistema de fallas de San Andrés son la falla Imperial, la falla Cerro Prieto, la falla Cucapá y la falla Michoacán¹ (Lira, 2005) las cuales se describen a continuación (ver figura 10):

¹ La falla Michoacán es inferida en Lira (2005)

centro de dispersión Cerro Prieto con una orientación de N42°W (Cruz-Castillo, 2002:39). La falla Imperial ha producido dos sismos fuertes: el sismo de El Centro (1940, Mayo 18, ML = 7.1) y el de Valle Imperial (1979, Oct. 15, ML = 6.6) (Rodríguez, 2002).

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 sureste se compone 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.

Muller y Rockwell (1991 en Cruz-Castillo, 2002:40) reportaron que 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, otro de M=6.5 en 1934. El sismo del 4 de abril de 2011 con M=7.2 afectó la parte norte del sistema Laguna Salada y se presentó la ruptura bilateral de la falla Laguna Salada de aproximadamente 120 km (Hauksson y otros, 2010).

La falla Cañón Rojo es de tipo normal de rumbo N30°-35°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).

Sistema Sierra Juárez-Sierra San Pedro Mártir

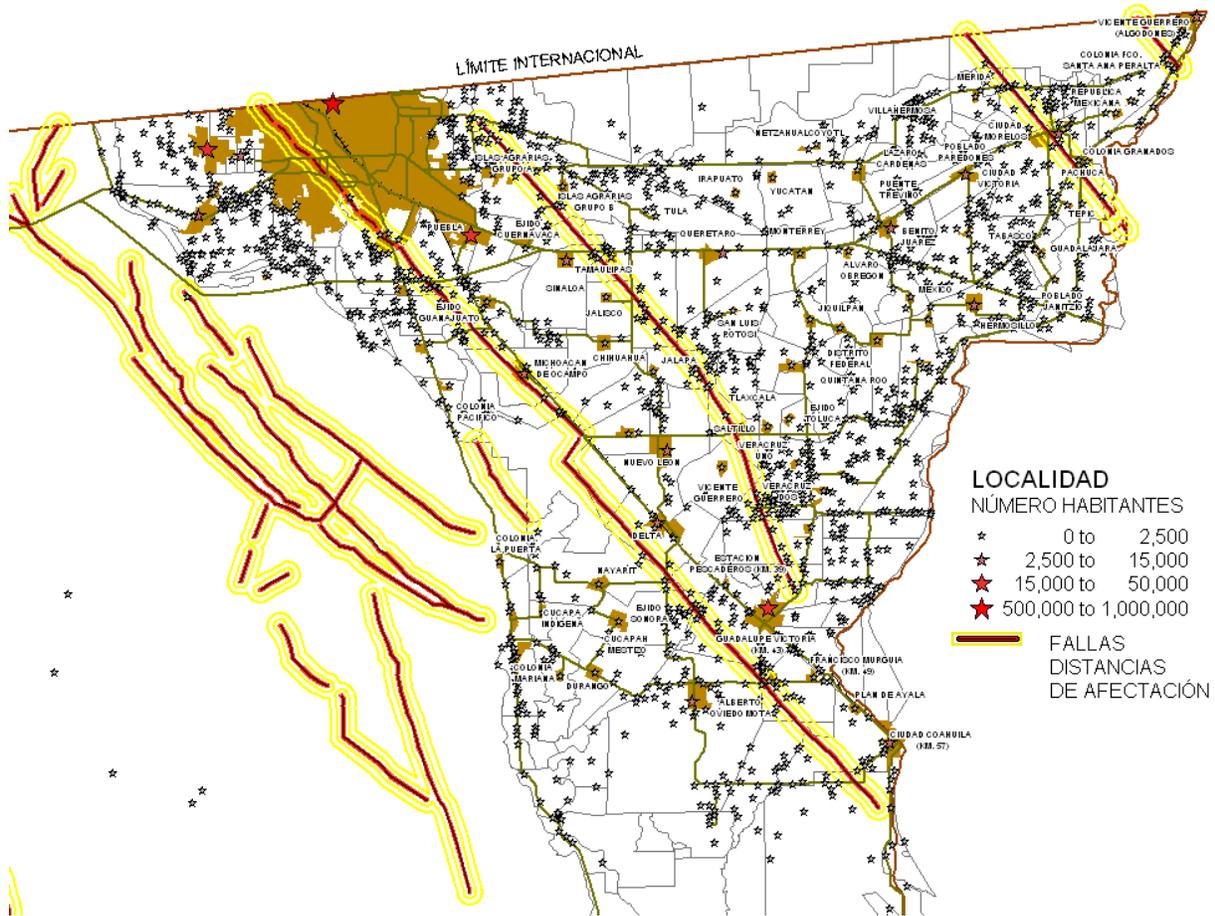
La parte poniente del municipio de Mexicali se ve afectado por la falla Sierra de Juárez. Axen y Romero (1994) consideran que el escarpe de la formación serrana es producto de una falla de despegue antigua cuyas raíces pueden encontrarse bajo la sierra San Pedro Mártir, por lo que posiblemente se trata de una falla reactivada. Mientras que Frez y Frías (1998) reportan que la falla Sierra Juárez presenta una microsismicidad relativamente alta en su segmento central, al sur de la latitud 32°N, mientras que la falla Sierra San Pedro Mártir parece tener microsismicidad asociada pero sólo en su parte norte.

1.1.1. Zonificación por fallas y fracturas

Para la zonificación por fallas se aplicaron distancias de 100, 500 y 1000 metros como sugiere Sedesol-Coremi (2004a), la superposición de éstas con la cartografía de localidades del 2010 de INEGI y de áreas urbanas y zonas de expansión (IMIP), permitió identificar las localidades y zonas urbanas expuestas (ver figura 11).

En la figura 11 se muestra la zonificación por fallas del valle de Mexicali, en donde puede apreciarse que una parte de la ciudad puede encontrarse expuesta a fallas, así como 153 localidades del valle de distinto tamaño. En estas zonas se encuentra expuesta aproximadamente 8% de la población del valle. Cabe aclarar que el puerto de San Felipe no se ve afectado por este tipo de peligro geológico.

Figura 11. Zonificación por fallas en el valle de Mexicali.



Fuente: Elaboración propia.

Las localidades del valle localizadas en las zonas de afectación por fallas se muestran en las tablas 11,12 y 13.

Tabla 11. Localidades en zona de afectación de 100 m por fallas.

NO.	NOMBRE	POBLACIÓN	NO.	NOMBRE	POBLACIÓN
264	PUENTE CALABAZAS (REPRESA GALEANA)	273	2669	FAM. SALAZAR PAYÁN (EJ. JALAPA)	6
1440	FAM. LÓPEZ (COL. ABASOLO)	21	3558	COLONIA CERRO PRIETO SIETE	5
1496	RANCHO DUARTE (COLONIA ABASOLO)	16	1101	FAM. URETA (COL. ORIVE DE ALBA)	4
1983	FAM. ELIZARRARÁS (EJ. JALAPA)	11	2383	FAM. MEDINA (EJ. MICHOACÁN DE OCAMPO)	4
3192	LOS PINOS (EJ. JALAPA)	10	2913	LOTE SIETE (COL. COLORADO NÚMERO TRES)	4
476	COL. GUTIÉRREZ	9	2448	FAM. MOSQUEDA (VERACRUZ MARÍTIMO)	2
3017	FAM. GONZÁLEZ VIRAMONTES (EJ. SALTILLO)	8	2887	CALIZAS [INDUSTRIAS]	1
1886	FAM. CERVANTES (COL. PRIMAVERA)	7			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Localidades en zona de afectación de 500 m por fallas.

NO.	NOMBRE	POBLACIÓN	NO.	NOMBRE	POBLACIÓN
225	MICHOACÁN DE OCAMPO	3086	3211	RANCHO MONTOYA (COL. VENUSTIANO CARRANZA)	7
394	RICARDO MAZÓN GUERRERO (COL. BAJA CALIFORNIA)	792	3248	RANCHO SÁNCHEZ (COL. ABASOLO)	7
1393	BORDO OKERSON (REPRESA GALEANA)	107	1541	FAM. GALVÁN (EJ. SINALOA)	6
1337	EJ. OTILIO MONTAÑO	47	1606	LOS BRAVO (VERACRUZ MARÍTIMO)	6
156	COL. CERRO PRIETO SIETE	39	1716	FAM. AGUILAR CASTRO (EJ. JALAPA)	6
2366	FAM. MARTÍNEZ (COL. EL TRIÁNGULO)	39	1820	FAM. BONILLA (VERACRUZ MARÍTIMO)	6
3507	KILÓMETRO VEINTISIETE (EJ. TAMAULIPAS)	37	2042	FAM. FRANCO (COL. OLACHEA)	6
3496	FAM. NAVARRO	28	2782	FAM. AGUILAR MENDOZA (COL. OLACHEA)	6
1648	CERRO PRIETO 4	25	2796	FAM. VARGAS (COL. COLORADO NÚMERO DOS)	6
3477	RANCHO CUÉLLAR	19	1524	RANCHO MENDOZA (COL. ABASOLO)	5
1388	COL. COLORADO NÚMERO 3	16	1630	LOS CANCHOLA (VERACRUZ MARÍTIMO)	5
3524	FAM. QUIROZ	15	1739	FAM. AMADOR (EJ. CULIACÁN)	5
3572	COL. CERRO PRIETO SIETE	14	2425	FAM. MONTES (EJ. ISLAS AGRARIAS B)	5
1345	FAM. IBARRA (COL. BAJA CALIFORNIA)	13	1602	LOS BONILLA (VERACRUZ MARÍTIMO)	4
1708	SAN PEDRO (COL. ABASOLO) [ESTABLO]	13	2167	FAM. GUERRERO (EJ. PACHUCA)	4
1474	RANCHO ESCONDIDO (COL. COLORADO NÚMERO TRE)	12	2752	FAM. TORRES (VERACRUZ MARÍTIMO)	4
2355	FAM. MARTÍNEZ (COL. PÓLVORA)	12	1664	FAM. SÁNCHEZ (COL. COLORADO NÚMERO UNO)	3
2851	FAM. ZÚÑIGA (COL. GRUPO REFORMA)	12	1916	FAM. CONTRERAS COVARRUBIAS (EJ. NAYARIT)	3
1472	FAM. BLANCO YÁÑEZ (COL. COLORADO NÚMERO)	11	2583	FAM. REGALADO (CAMPOS NUEVOS EJ. SONORA)	3
2088	FAM. GARCÍA (COL. BAJA CALIFORNIA)	11	2642	FAM. ROMO (PARCELA SETENTA Y OCHO EJ. SO)	3
2944	FAM. ESPINOZA (COL. COLORADO 3)	11	2733	FAM. SOTO (COL. PRIMAVERA)	3
3116	RANCHO EL PELIGRO (COL. PÓLVORA)	10	3284	LOS ROMO (COL. OLACHEA)	3
3536	NINGUNO	10	2309	FAM. LÓPEZ RUIZ (COL. COLORADO NÚMERO C)	2
1574	LOS AGUILAR (VERACRUZ MARÍTIMO)	9	2680	FAM. SALGADO (COL. ORIVE DE ALBA)	2
1676	SAN JOSÉ (COL. COLORADO NÚMERO CINCO)	9	3179	LOS ARGUEYES (COL. PÓLVORA)	2
2421	FAM. MONGE (COL. ORIVE DE ALBA)	9	3251	SANTA FE (COMUNIDAD INDÍGENA TRIBU KILIWAS)	2
1473	FAM. MENA (COL. COLORADO NÚMERO TRES)	8	4843	EL VENADO	2
1303	T DEL NAYARIT (EJ. NAYARIT FAM. RIVERA)	7	1656	LAGUNA MÉXICO	1

Tabla 12. (Continuación).

1540	FAM. TORRES DAVIS (EJ. SINALOA)	7	2715	FAM. SIORDIA (EJ. AGUASCALIENTES)	1
1934	FAM. COTA (COL. ORIVE DE ALBA)	7	3159	LA MORITA (EJ. TRIBU KILIWAS)	1
3168	LAS PALMAS (EJ. JALAPA)	7	4845	NINGUNO	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Localidades en zona de afectación de 1000 m por fallas.

NO.	NOMBRE	POBLACIÓN	NO.	NOMBRE	POBLACIÓN
231	CIUDAD MORELOS (CUERVOS)	8243	2274	FAM. LIMÓN (COL. PRIMAVERA)	7
282	EJ. SALTILLO	1560	1498	LAS PALMAS (COL. ABASOLO)	6
141	EJ. TAMAULIPAS (ESTACIÓN CUCAPĀ)	598	1903	FAM. CHÁVEZ OCHOA (COL. BAJA CALIFORNIA)	6
309	COL. FRANCISCO SANTANA PERALTA	578	2395	FAM. BAÑUELOS (EJ. SONORA 2)	6
1174	COL. MARIANO ABASOLO	460	2717	FAM. SOLANO (COL. TRIÁNGULO)	6
4695	NUEVO MILENIUM	388	3308	NINGUNO (RODRIGO Y PÉREZ)	6
1344	GONZÁLEZ ORTEGA 1 (COL. BAJA CALIFORNIA)	349	2472	FAM. NORIEGA (EJ. CULIACÁN)	5
272	COL. GRANADOS (RECURSOS HIDRÁULICOS)	268	2769	FAM. VALDEZ (COL. GRUPO REFORMA)	5
3552	OASIS CAMPESTRE (EJ. ISLAS AGRARIAS A)	267	3555	RANCHO VICTORIA	5
252	RANCHO EL PELIGRO (COL. PÓLVORA)	174	4869	FAM. GARCÍA LOZA	5
165	POBLADO TORCHOZA	85	4875	GRANJA CAMPESTRE RÚSTICA	5
3228	COL. CUATRO CERRO PRIETO	74	1478	CERRO PRIETO 2 (FAM. ESPINOZA)	4
1341	CAMPO NUEVO (EJ. JALAPA)	49	1595	FAM. BARAJAS (COL. CHAPULTEPEC)	4
1838	FAM. CAMARGO H. (EJ. MICHOACÁN DE OCAMPO)	41	2183	FAM. GUZMÁN (COL. PÓLVORA)	4
3140	RANCHO GODÍNEZ (COL. COLORADO NÚMERO UNO)	32	2573	LA ZACATECAS	4
3146	RANCHO GUTIÉRREZ (COL. ABASOLO)	28	2631	FAM. RODRÍGUEZ LARA (EJ. SONORA 2)	4
3118	EL QUINCE (COL. COLORADO NÚMERO CUATRO)	27	3327	NINGUNO (COL. PÓLVORA)	4
2202	FAM. HERNÁNDEZ (VERACRUZ MARÍTIMO)	26	4852	FAM. SÁNCHEZ	4
4741	HACIENDA DE GUADALUPE	19	1985	FAM. ESCARPITA (COL. COLORADO NÚMERO CI)	3
1523	RANCHO GARCÍA (COL. CASTRO)	18	2837	FAM. VILLEGAS (COL. PRIMAVERA)	3
2655	FAM. RUIZ (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	17	4677	EL PALOMAR	3
2131	EL CINCO	16	586	VILDÓSOLA (COL. ABASOLO)	2
2666	FAM. SALAZAR (EJ. SONORA 2 PARCELA SETEN)	16	1544	COL. ASTORGA	2

Tabla 13. (Continuación).

1475	CERRO PRIETO 3 (LOS MENA)	15	1877	FAM. CASTRO RUVALCABA (EJ. ZACATECAS)	2
1996	FAM. ESTAVILLO (EJ. ISLAS AGRARIAS B)	14	2509	FAM. PANTOJA (COL. EL TRIÁNGULO LOTE VE)	2
2726	FAM. SOLORIO (VERACRUZ MARÍTIMO)	14	2643	FAM. ROMO (COL. OLACHEA)	2
1689	LOS DELGADILLO (VERACRUZ MARÍTIMO)	13	2758	FAM. TRIGO (EJ. TAMAULIPAS)	2
2700	FAM. SANDOVAL (EJ. AGUASCALIENTES)	13	3057	RANCHO AMADOR (EJ. SONORA 2 PARCELA CINCUEN)	2
1730	FAM. ALDANA (COL. ORIVE DE ALBA)	11	3288	LOS SALDAÑA (COL. PÓLVORA)	2
1907	FAM. CIFUENTES (EJ. ISLAS AGRARIAS B)	10	3438	FAM. SOTO (COL. CHAPULTEPEC)	2
1577	LOS ALONSO (VERACRUZ MARÍTIMO)	9	1456	LOS GALLEGOS (COL. COLORADO NÚMERO DOS)	1
2203	FAM. HERNÁNDEZ (COL. PRIMAVERA)	9	1966	FAM. DÍAZ (COL. BAJA CALIFORNIA)	1
2893	KILÓMETRO SIETE (COL. COLORADO 1)	9	1998	FAM. ESTRADA (COL. PÓLVORA)	1
2020	FAM. FIERRO HUERTA (EJ. JALAPA)	8	2098	FAM. GARCÍA MONTOYA (SOMBRETE UNO)	1
3492	FAM. CENDEJAS	8	2317	FAM. LUNA RAMÍREZ (EJ. SONORA)	1
2036	FAM. FLORES (COL. ABASOLO)	7	2849	FAM. ZAZUETA (COL. ORIVE DE ALBA)	1
2157	FAM. GONZÁLEZ MACIEL (COL. EL TRIÁNGULO)	7	4844	FAM. CORDERO	1
2223	FAM. HURTADO (EJ. AGUASCALIENTES)	7	4882	LUIS HERNÁNDEZ	1

Fuente: Elaboración propia.

Un acercamiento al trazo de las fallas próximas a la ciudad, permite observar (ver figura 12) que posiblemente una franja de la zona poniente se encuentre expuesta a fallas geológicas (falla Michoacán sugerida por Lira, 2005), como también que las zonas de expansión urbana al oriente tienden a aproximarse a la falla Imperial. Esta situación marca la necesidad de establecer ciertos criterios de crecimiento urbano que garanticen evitar asentamientos humanos sobre zonas de afectación.

Figura 12. Zonificación de fallas en la ciudad y zona de expansión.



Fuente: Elaboración propia.

La mayoría (90%) de las AGEB expuestas a fallas pertenecen a la ciudad y 10% de las AGEB afectadas pertenecen a las localidades urbanas del valle (Ciudad Morelos y Michoacán de Ocampo). En conjunto abarcan aproximadamente 22% de los habitantes del municipio.

Tabla 14. AGEB en zona de afectación de fallas.

AGEB	LOCALIDAD	POBLACIÓN	AGEB	LOCALIDAD	POBLACIÓN	AGEB	LOCALIDAD	POBLACIÓN
559-4	MEXICALI	5362	016-5	MEXICALI	2821	300-9	MEXICALI	1533
473-6	MEXICALI	5067	286-7	MEXICALI	2805	447-3	MEXICALI	1425
298-A	MEXICALI	4640	017-A	MEXICALI	2716	574-9	MEXICALI	1379
601-8	MEXICALI	4639	475-5	MEXICALI	2592	448-8	MEXICALI	1301
578-7	MEXICALI	4477	279-7	MEXICALI	2563	676-6	MEXICALI	1233
018-4	MEXICALI	4220	040-9	MEXICALI	2368	445-4	MEXICALI	1213
579-1	MEXICALI	4186	552-2	MEXICALI	2350	576-8	MEXICALI	1109
455-8	MEXICALI	4154	029-2	MEXICALI	2346	382-7	MEXICALI	1076
598-4	MEXICALI	4100	462-8	MEXICALI	2303	675-1	MEXICALI	986
065-9	MEXICALI	4037	283-3	MEXICALI	2292	318-9	MEXICALI	967
602-2	MEXICALI	3972	477-4	MEXICALI	2237	577-2	MEXICALI	955

Tabla 14. (Continuación).

531-0	MEXICALI	3910	460-9	MEXICALI	2191	438-4	MEXICALI	938
600-3	MEXICALI	3679	551-8	MEXICALI	2155	549-0	MEXICALI	774
028-8	MEXICALI	3645	280-A	MEXICALI	2119	667-7	MEXICALI	714
593-1	MEXICALI	3634	484-4	MEXICALI	2091	566-4	MEXICALI	679
597-A	MEXICALI	3617	583-8	MEXICALI	2085	651-6	MEXICALI	649
282-9	MEXICALI	3562	281-4	MEXICALI	2067	322-5	MEXICALI	476
599-9	MEXICALI	3494	603-7	MEXICALI	2020	565-A	MEXICALI	450
287-1	MEXICALI	3475	652-0	MEXICALI	1935	595-0	MEXICALI	381
554-1	MEXICALI	3448	459-6	MEXICALI	1934	393-5	MEXICALI	43
457-7	MEXICALI	3287	469-A	MEXICALI	1921	530-6	MICHOACAN DE OCAMPO	3065
674-7	MEXICALI	3226	288-6	MEXICALI	1841	641-2	CIUDAD MORELOS	1681
470-2	MEXICALI	3155	553-7	MEXICALI	1816	640-8	CIUDAD MORELOS	1575
408-3	MEXICALI	3072	417-2	MEXICALI	1797	521-7	CIUDAD MORELOS	1102
278-2	MEXICALI	3019	580-4	MEXICALI	1770	520-2	CIUDAD MORELOS	957
041-3	MEXICALI	2977	384-6	MEXICALI	1738	522-1	CIUDAD MORELOS	645
284-8	MEXICALI	2948	458-1	MEXICALI	1648	523-6	CIUDAD MORELOS	630
285-2	MEXICALI	2929	446-9	MEXICALI	1619	642-7	CIUDAD MORELOS	196
485-9	MEXICALI	2852	299-4	MEXICALI	1560	681-7	CIUDAD MORELOS	28
677-0	MEXICALI	2845	575-3	MEXICALI	1535			

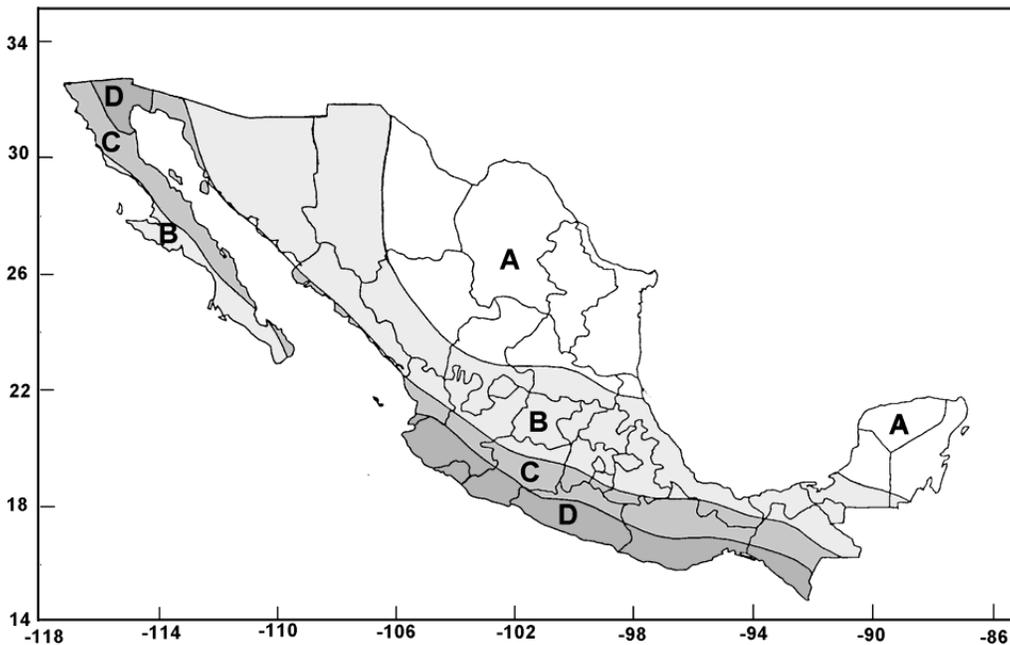
Fuente: Elaboración propia.

1.2. Peligro por sismos

De acuerdo con la regionalización sísmica de México³ elaborada por la Comisión Federal de Electricidad (2008) y Cenapred (2001a), el municipio de Mexicali se sitúa en una región con categoría D (ver figura 13). En las zonas con esta categoría han ocurrido con frecuencia grandes temblores (sismos mayores a 7) y las aceleraciones del terreno pueden ser superiores al 70% de gravedad (Cenapred, 2001a) por ello se consideran zonas de muy alto peligro sísmico⁴.

La alta actividad sísmica en Mexicali, se debe principalmente a las fallas activas localizadas en la región, generadas por el desplazamiento de la placa tectónica del Pacífico con respecto a la de Norteamérica. Al respecto, Glowacka, González y Fabriol (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 que los sismos de gran intensidad (de magnitud $M \geq 6$), se producen a lo largo de las trazas de estas dos fallas (Rodríguez, 2002).

Figura 13. Regionalización sísmica de México.



Fuente: Tomado de Cenapred (2006b).

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

³ Esta regionalización está 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.

⁴ Para el municipio de Mexicali CFE recomienda realizar estudios de sismicidad local y, para fines de diseño, no tomar aceleraciones máximas de terreno menores a 0.7 g.

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 ocurren entre los 4 y 6 km de profundidad (Glowacka y cols., 1999). En este sentido, cabe señalar 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.

Con respecto a la condición del sitio, cabe señalar que los suelos de la región, formados por sedimentos deltaicos no consolidados, no sólo facilitan el movimiento del suelo sino que 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 y el valle de Mexicali se encuentran asentados sobre este tipo de sedimentos, por lo tanto están sujetos a experimentar el colapso de las edificaciones por la pérdida pasajera de resistencia y estabilidad del suelo (Suárez-Vidal, 1999), así como por inundaciones por afloramiento de agua del subsuelo. Munguía y cols., (2010) encontraron aceleraciones pico diez veces mayores en zonas de sedimentos que en sitios rocosos a 12 km del epicentro del sismo del 4 de abril de 2010, con una aceleración pico de 0.81 g en dicha zona.

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)⁵, 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 y cols., 2000 y Suárez-Vidal y cols., 2001).

1.2.1. Sismos históricos

El municipio de Mexicali se localiza en una región de 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 efectos que se han presentado tiempo atrás.

En 1932 fue instalada la Red Sismológica del Sur de California (SCEC, por sus siglas en inglés), la cual ha registrado entre 1950 y 2000 aproximadamente 1301 sismos de magnitud mayor de 3 en la escala de Richter, próximos a Mexicali. De esta red se obtienen los sismos de magnitud igual o mayor que 5 reportados en la tabla 15.

Por su parte 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 y se instaló en 1977, el registro efectivo de temblores inició en 1980⁶. Mientras que para el estudio de la propagación de ondas sísmicas y los efectos de atenuación o amplificación del movimiento del terreno se cuenta con la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México la cual consta de 20 estaciones acelerográficas y una red urbana instalada en la ciudad de Mexicali.

⁵ Este campo es considerado el segundo más importante del mundo en la generación de electricidad, utilizando la energía calorífica localizada en el subsuelo (Lira, 2005).

⁶ Para más información consultar: <http://sismologia.cicese.mx/resnom/principal/informacion.php>

Tabla 15. Sismos históricos de magnitud ≥ 5 en Mexicali 1932-2000.

FECHA D/M/A	HORA (GMT ⁷)			MAGNITUD ⁸		FECHA D/M/A	HORA (GMT)			MAGNITUD	
	HR	MIN	SEG	M	TIPO		HR	MIN	SEG	M	TIPO
25/11/1934	08	18	29.19	5.1	l	15/02/1956	01	20	35.269	6.52	l
30/12/1934	13	52	02.69	6.33	l	15/02/1956	07	07	47.630	5.21	l
31/12/1934	18	45	54.39	6.42	l	15/02/1956	08	35	53.539	5.06	l
24/02/1935	01	44	57.99	5.65	l	16/02/1956	08	12	28.349	5.06	l
20/12/1935	07	45	31.86	5.27	l	03/03/1956	18	23	15.480	5.04	l
19/05/1940	04	36	40.5	6.9	w	10/03/1956	14	12	54.309	5.09	l
19/05/1940	04	54	56.18	5.15	l	25/08/1956	15	57	39.459	5.02	l
19/05/1940	05	51	38.13	5.41	l	01/12/1958	03	21	17.620	5.75	l
19/05/1940	06	33	21.39	5.18	l	01/12/1958	06	02	29.880	5.39	l
19/05/1940	06	35	33.45	5.18	l	27/05/1962	01	45	40.740	5.1	h
21/10/1942	16	22	19.79	6.6	w	11/06/1963	15	23	41.670	5.6	l
15/08/1945	17	56	18.39	5.77	l	20/10/1963	13	29	32.639	5	h
28/07/1950	17	50	46.29	5.33	l	21/09/1967	00	01	52.740	5.01	l
29/07/1950	14	36	31.93	5.42	l	09/04/1968	03	03	50.909	5.2	h
24/01/1951	07	16	52.62	5.95	l	30/09/1971	22	46	10.869	5.02	l
14/06/1953	04	17	26.7	5.47	l	17/07/1975	18	24	44.710	5.19	l
01/02/1954	13	05	10.16	5.36	l	07/12/1976	12	59	48.719	5.45	l
24/10/1954	09	44	10.03	5.92	l	05/05/1978	21	03	15.770	5.03	l
12/11/1954	12	26	53.75	6.09	l	15/10/1979	23	16	53.909	6.4	w
26/11/1955	17	36	00.290	5.31	l	15/10/1979	23	19	29.980	5.2	h
17/12/1955	06	07	27.900	5.26	l	16/10/1979	05	49	10.830	5.06	l
09/02/1956	14	32	41.910	6.8	s	16/10/1979	06	19	49.490	5.04	l
09/02/1956	14	34	15.770	5.6	h	16/10/1979	06	58	43.449	5.8	l
09/02/1956	15	24	24.159	6.2	l	09/06/1980	03	28	19.139	6.3	w
09/02/1956	16	29	49.019	5.89	l	26/04/1981	12	09	28.290	5.75	l
09/02/1956	16	59	53.859	5.58	l	07/02/1987	03	45	14.850	5.38	l
09/02/1956	18	48	44.900	5.56	l	24/11/1987	01	54	14.659	6.2	w
10/02/1956	04	18	16.790	5.02	l	24/11/1987	13	15	56.709	6.6	w
10/02/1956	18	12	54.510	5.43	l	25/01/1988	13	17	51.170	5.49	l
11/02/1956	06	24	28.089	5.37	l	31/08/1988	16	45	17.219	5.25	l
14/02/1956	14	45	31.659	5.09	l	03/12/1991	17	54	36.380	5.32	l
14/02/1956	18	33	28.319	6.43	l	23/03/1994	02	59	14.460	5.27	l

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCEC.

A continuación se describen algunos sismos que han afectado al municipio de Mexicali de manera considerable⁹:

Previo a la instalación de instrumentos de medición, existen reportes de sismos en fuentes hemerográficas, como es el caso del sismo del **29 de noviembre de 1852** o Laguna Vulcano registrado a mediodía con $M_w=6.5$ y epicentro al oriente del valle de Mexicali. De acuerdo con SCEC, este sismo provocó agrietamiento en la arcilla de la zona cercana al Río Colorado y generó volcanes de lodo y géiseres en las proximidades al epicentro.

⁷ GMT: Greenwich Mean Time, Tiempo del meridiano de Greenwich.

⁸ Tipos de magnitud registrados: L= local, W=momento, H= helicorder S=onda superficial.

⁹ Esta información fue obtenida de los proyectos de investigación: "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 el texto se reporta la fecha según la hora local.

El 15 noviembre de 1875 se presentó un sismo de magnitud 6.2 con epicentro al suroeste de la actual ciudad de Mexicali, entre las colonias agrícolas Progreso y Ahumadita, mientras que el **30 de julio de 1891** se presentó un sismo de magnitud 6 en la zona Delta del Río Colorado.

El **23 de febrero de 1892**, con epicentro en la Laguna Salada, se presentó uno de los sismos más fuertes registrados en la región, con una magnitud estimada de 7.2 (aunque SCEC lo registra con $M_w=7$ y NEIC¹⁰ con magnitud de 7.8). En estudios recientes, este evento ha sido asociado a la ruptura de la falla Laguna Salada (Mueller y Rockwell, 1995). Debido a que la zona se encontraba inhabitada, no existen reportes de daños o afectaciones, pero se señala que Ensenada, El Álamo y San Quintín fueron sacudidas fuertemente.

Frez y González (1991) reportan que el **24 de enero de 1903** se presentó un sismo de magnitud 6.6 en la zona del Delta del Río Colorado y el **19 de abril de 1906** ocurrió un sismo de $M_w=6.2$ en el valle Imperial a 26 km al norte de la ciudad de Mexicali, de estos sismos no se cuenta con registro de daños.

El **22 de junio de 1915** ocurrieron una serie de sismos subsecuentes cuyo epicentro estuvo localizado en el valle Imperial con una magnitud estimada de 6 y 5.9. La Sociedad Sismológica de América reportó el epicentro entre El Centro y Caléxico (Basich, 1983). De este evento resultaron afectadas las ciudades de Mexicali, Caléxico y El Centro, California con serios daños en las construcciones (sobre todo en la sección comercial y de negocios), hubo seis muertos en Mexicali y algunos heridos. En el Centro y Caléxico, California se estimaron daños por cientos de miles de dólares¹¹. En Caléxico se presentaron numerosos incendios. (Caléxico, Chronicle, 24 de junio 1915).

El **20 de noviembre de 1915**, a las 00:30 horas se registró un temblor que ocasionó agrietamientos en el fondo de la Laguna de los Volcanes y una erupción de vapor de corta duración (Basich, 1983). De acuerdo con Frez y González (1991) este temblor tuvo una magnitud $M_w=7.1$ y epicentro en la zona sur del valle de Mexicali.

En las primeras horas del día **primero de enero de 1927** 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) provocando que las paredes dañadas en el primer temblor se derrumbarán. Los daños reportados en Mexicali fueron más graves que en Caléxico. En Mexicali¹² 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 dos millones de dólares (Basich, 1983).

En **diciembre 30 de 1934** se presentaron una serie de temblores antes de las seis de la mañana (hora local), el epicentro se localizó en la sierra El Mayor por la zona de la Laguna Salada con magnitud de 6.33. Casi simultáneamente hubo otro sismo al sur de San Francisco, Estados Unidos. En este temblor se vio de nuevo la columna de vapor y agua de 45 m de altura en la Laguna de los Volcanes. Con el temblor se rompió el bordo izquierdo del Canal Solfataras y causó daños en el canal Álamo. Hubo una sucesión de grietas superficiales, algunas hasta de

¹⁰ National Earthquake Information Center del United States Geological Survey.

¹¹ Aproximadamente un millón en El Centro y de 100 mil a 250 mil dólares en Caléxico.

¹² La Cervecería Azteca fue destruida por el fuego después del primer sismo, con una pérdida de 200,000 dólares.

15 cm de profundidad. Estas grietas fueron observadas desde Cerro Prieto hasta el actual Ejido Independencia, en la margen izquierda del Río Colorado donde 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 $MW=6.9$ (con réplicas de magnitud de 5 o más). 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 de los valles de Mexicali e Imperial. El canal Solfatará sufrió rupturas en sus bordes en una longitud de 11 km y el canal del Álamo sufrió ocho rupturas provocando 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, y 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, a las 15:16 horas, se presentó un fuerte y prolongado sismo seguido de una serie de temblores cuyo epicentro fue localizado a 23 km al este de la ciudad de Mexicali rumbo al aeropuerto Sánchez Taboada, con una magnitud de 6.5 y una profundidad de 15 kilómetros. De acuerdo con los registros, el temblor se sintió en todo Baja California, Sonora y Sur de California. Una persona falleció en El Centro, California, mientras que 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 la colonia Carvajal. Se presentaron algunos daños en tuberías de gas en viviendas localizadas en la 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 presentó 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, sin embargo 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 un 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 y tuvo una magnitud de 6.3. 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 hubo pérdidas por más de 150 millones de pesos en la red hidráulica del Distrito de Riego y en las obras de defensa 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 consecuencia de los sismos (La Voz de la Frontera, 10 y 11 de junio de 1980). Este temblor causó serios daños en la Estación Victoria y en la vía del ferrocarril Sonora-Baja California, asimismo, afectó la Estación Delta y la vía y el 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 y 11 de junio de 1980). Según Wong, Frez y Suárez (1997) los daños más severos se observaron en los poblados de Olachea y Pescaderos con gran número de viviendas con daños mayores y algunos canales de riego completamente destruidos.

Los temblores de 1940 y 1980 produjeron daños mayores en estructuras civiles en la ciudad y en el valle, 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. En el sismo de 1980 la aceleración del suelo en Guadalupe Victoria (a una distancia epicentral de 10 km) excedieron 1.0 g en direcciones horizontal y vertical (Simons en Wong, Frez y Suárez, 1997). En este sentido, 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 $M=6.6$.

En el año de 1987 Mexicali fue sacudido por varios sismos con magnitudes superiores a 5. El **7 de febrero de 1987** ocurrió un sismo con magnitud de 5.38 que generó aceleraciones de hasta 1.4 g (Suárez y cols., 2001) y causó pánico en la población y algunos daños, como los sufridos por las instalaciones del Congreso de la Unión en el Centro Cívico. El **24 de noviembre** se presentaron sismos con magnitudes de 6.2 y 6.6 con epicentro al sur del mar de Salton.

1.2.2. Sismos recientes

A continuación se presentan algunos datos sobre los sismos manifestados en los últimos diez años en el municipio de Mexicali (ver tabla 16).

El **2002** se destacó como un año de gran actividad sísmica de 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, destacando uno de magnitud $M_w=5.7$, registrado en el día 22 de febrero cuyo epicentro se localizó al sur de la ciudad de Mexicali.

En el año **2003**, en el mismo radio se registraron 578 sismos de los cuales poco más del 90% fueron microsismos. La mayor parte de la actividad sísmica se presentó en los meses de enero, marzo, abril y octubre. El sismo de mayor intensidad fue de 4.2 grados y se registró en el mes de mayo. Mientras que en el año **2004** se registraron 476 sismos, la mayoría de los cuales fueron microsismos, presentándose la mayor actividad en los meses de marzo, julio y

septiembre. Al igual que en el año anterior, en el 2004 el sismo de mayor intensidad fue de 4.2 grados y se registró en el mes de agosto.

Tabla 16. Sismos recientes de magnitud ≥ 5 en Mexicali (2000-2010).

FECHA	HORA (GMT ¹³)			MAGNITUD ¹⁴		FECHA	HORA (GMT)			MAGNITUD		
	D/M/A	HR	MIN	SEG	M		TIPO	D/M/A	HR	MIN	SEG	M
08/12/2001	23	36	10.109	5.7	w	04/04/2010	22	40	41.770	7.2	w	
22/02/2002	19	32	41.750	5.7	w	04/04/2010	22	50	17.120	5.7	w	
24/05/2006	04	20	26.009	5.37	w	04/04/2010	23	15	14.240	5.43	w	
09/02/2008	07	12	04.549	5.1	w	04/04/2010	23	25	07.190	5.38	w	
11/02/2008	18	29	30.529	5.1	w	05/04/2010	00	07	07.919	5.22	l	
19/02/2008	22	41	29.660	5.01	w	08/04/2010	16	44	25.120	5.29	w	
19/09/2009	22	55	17.839	5.08	w	15/06/2010	04	26	58.480	5.72	w	
30/12/2009	18	48	57.330	5.8	w							

Fuente: Red Sismológica del Sur de California (SCEC).

En el año **2005** se registraron 623 sismos principalmente microsismos, de los cuales el sismo de mayor magnitud fue de 4 grados y ocurrió en el mes de enero. De similar actividad sísmica, el año **2006** registró 526 sismos con epicentros dentro de los límites del municipio de Mexicali cuya mayor magnitud fue $M_w = 5.37$ grados, en cuanto a daños, no se reportaron víctimas, sólo el levantamiento en un tramo de la vía del ferrocarril.

En el año **2007**, en el municipio de Mexicali se localizaron aproximadamente 346 epicentros de los cuales ninguno sobrepasó los cinco grados en la escala Richter. Mientras que en el año **2008** se intensificó la actividad sísmica con 1427 epicentros en el municipio de Mexicali de los cuales dos presentaron una magnitud mayor a cinco grados y, en el año **2009** se registraron 823 epicentros de los cuales tres presentaron una magnitud mayor a 5 grados.

El sismo del 4 de abril de 2010

El **4 de abril de 2010**, a las 15:40 (hora local) se presentó un sismo con magnitud $M_w = 7.2$, profundidad de 10 km y duración de 89 segundos, seguido de más de 13 mil réplicas (del 4 de abril al 31 de agosto), seis de las cuales alcanzaron magnitudes de 5 a más grados. Este sismo es el evento de mayor magnitud ocurrido en la zona desde 1892 y tuvo su epicentro en el valle de Mexicali, a 47 kilómetros al sureste de la ciudad. El temblor se sintió en Baja California y en el sur de California, Arizona y Nevada (Meneses, 2010)

Dadas las condiciones del sitio señaladas en párrafos precedentes, se presentaron movimientos fuertes de suelo derivados de una aceleración horizontal pico de más de 0.5 g en la zona más cercana al epicentro y disminuyendo uniformemente con el incremento en la distancia con respecto al trazo de la falla (ver figura 14) y de la amplificación por efecto del sitio que, según Meneses (2010) en el ejido Michoacán de Ocampo alcanzó 1.1 g.

¹³ GMT: Greenwich Mean Time, Tiempo del meridiano de Greenwich

¹⁴ Tipos de magnitud registrados: L= local, W=momento, H=helicorder S=onda superficial.

Figura 14. Distribución de la aceleración pico en % de g del sismo 4 de abril de 2010.



Fuente: SCEC (2010).

Los primeros reportes sobre los efectos del sismo indican la pérdida de 2 vidas humanas y la presencia de 254 heridos, además de la suspensión de los servicios básicos en la ciudad y valle de Mexicali, daños en la infraestructura urbana y rural, en edificios (hospitales, escuelas y edificios públicos) de la ciudad, así mismo gran número de viviendas urbanas y rurales sufrieron daños o se derrumbaron. El Indivi (2010) realizó un inventario de los daños en viviendas de trabajadores y de familias de bajos ingresos y obtuvo que las viviendas de 31 colonias urbanas y de 61 localidades rurales presentaron algún tipo de daño (ver tabla 17) y, al menos, una tercera parte de ellas sufrió daño total.

Tabla 17. Número de viviendas dañadas.

Lugar	Ciudad	Valle	Suma
Daño mínimo	23	183	206
Daño menor	182	666	848
Daño parcial	174	623	797
Daño total	193	774	967
Suma	572	2246	2818

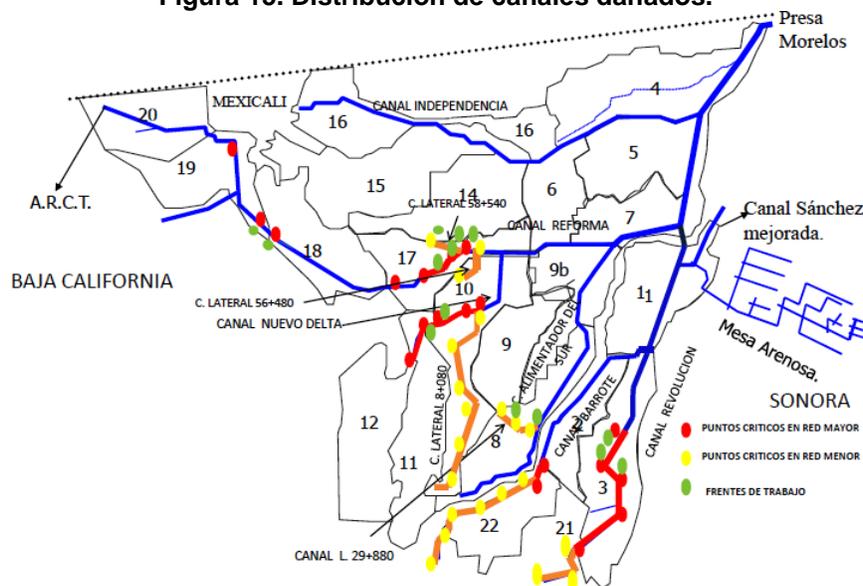
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Indivi (2010).

Adicional al registro del Indivi, algunas fuentes hemerográficas reportaron viviendas afectadas en al menos 11 fraccionamientos urbanos de familias con ingreso medio, varios de ellos habían sido construidos recientemente por promotores inmobiliarios privados (Ley, en prensa).

Las ondas sísmicas generaron presión en el subsuelo provocando que el sedimento y el agua del manto freático fluyeran a la superficie, por lo que se generaron inundaciones locales, asentamientos y acumulación de sedimentos en las viviendas (Grupo técnico, 2010). Tal como se había observado en el sismo de 1980, en el sismo del 4 de abril de 2010 se presentó también la licuefacción del suelo que produjo afectaciones en parcelas agrícolas y en algunos poblados cercanos al epicentro con la presencia de lodo a más de 50 cm de altura (en las viviendas), mientras que la ruptura de canales ocasionó la inundación de ciertas áreas del valle, multiplicándose las afectaciones derivadas de sismo. Los daños principales se registraron en

las zonas aledañas al epicentro, en los ejidos Delta, Oaxaca, Zacamato, Nayarit, Cucapá y La Puerta (Meneses, 2010) donde se presentaron inundaciones producto de la licuefacción o de la fractura de infraestructura hidroagrícola (ver figura 15).

Figura 15. Distribución de canales dañados.



Fuente: Conagua (2010).

El Gobierno del Estado de Baja California (2010) reportó que el monto requerido para la recuperación por daños era de 7 mil 281 millones 966 mil pesos, de los cuales, más de la mitad se destinaría a la rehabilitación de la infraestructura hidroagrícola y a la mejora de los suelos del valle (ver tabla 18).

Tabla 18. Daños del sismo del 4 de abril de 2010 e inversión requerida.

INFRAESTRUCTURA	% INVERSIÓN	DAÑO
Hidráulica (agua potable y drenaje)	1.06%	Ruptura de líneas de conducción, fugas en redes de distribución y tomas domiciliarias, colapso y ruptura de muros de cárcamos de bombeo y tanques de almacenamiento, daños en edificios de plantas potabilizadoras y de tratamiento, colapso de emisores, descargas domiciliarias y colapso de la bóveda de drenaje pluvial de la zona Río Nuevo, 297m)
Carretera	5.51%	18 comunidades del valle fueron afectadas con 11 caminos alimentadores dañados (por agrietamientos, deslizamientos y asentamientos en la superficie de rodamiento y estructura del pavimento asfáltico), daños en obras de drenaje y un puente. Daños en 20,439 metros cuadrados de las vialidades de acceso a los ejidos Cucapá Indígena, Cucapá Mestizo, Nayarit y Durango. Carretera federal: 32 puentes y 18.6 km de carreteras.
Hidroagrícola	52.76%	737 km daños en canales (57 km Reforma, Nuevo Delta y Revolución; 300 km de la red menor y 380 km de drenaje a cielo abierto)
Eléctrica	5.15%	
Vialidades urbanas	1.06%	88,936 metros cuadrados de vialidades primarias dañadas.
Salud	5.55%	Zona rural: 14 centros de salud dañados. Zona urbana: daños estructurales en el Hospital General, Hospital del Niño y la Mujer, laboratorio estatal y la Unidad de Especialidades Médicas. Hospital General y 17 Unidades Médico-Familiares

Tabla 18. (Continuación).

Cultura	0.80%	7 instalaciones afectadas (teatro, biblioteca, centro estatal de las artes)
Deporte	0.28%	13 instalaciones deportivas
Educación	5.96%	148 planteles educativos estatales dañados y 6 edificios de la UABC; 153 planteles educativos federales dañados y 5 edificios del Instituto Tecnológico de Mexicali; en 38 comunidades rurales y colonias urbanas.
Vivienda	6.12%	2818 apoyos para acciones de vivienda: 646 paquetes de materiales, 272 acciones de reconstrucción y 900 viviendas para reubicación en los ejidos Oaxaca, Guadalupe Victoria y La Puerta (pie de casa), 701 acciones de vivienda adicionales (Conavi, Fonhapo)
Productiva (Agropecuaria)	15.75%	Diagnóstico, nivelación, mejoras de suelo, etc.

Fuente: Gobierno del Estado de Baja California (2010).

1.2.3. Zonificación de peligro por sismos

Como se muestra en la tabla 19, en el año 2010 se presentaron un gran número de epicentros dentro de los límites del municipio. Es importante mencionar que las diferencias en el número de registros entre los diferentes períodos presentados no deben ser interpretadas como un aumento de los epicentros en la región o de la actividad sísmica local porque, como se mencionó anteriormente, el municipio es relativamente joven y es escasa la información anterior a la llegada de los primeros asentamientos humanos (que datan de inicios del siglo XX), y porque en los últimos años el alcance de la red de monitoreo sísmico ha crecido y ha alcanzado una mayor cobertura que en sus inicios.

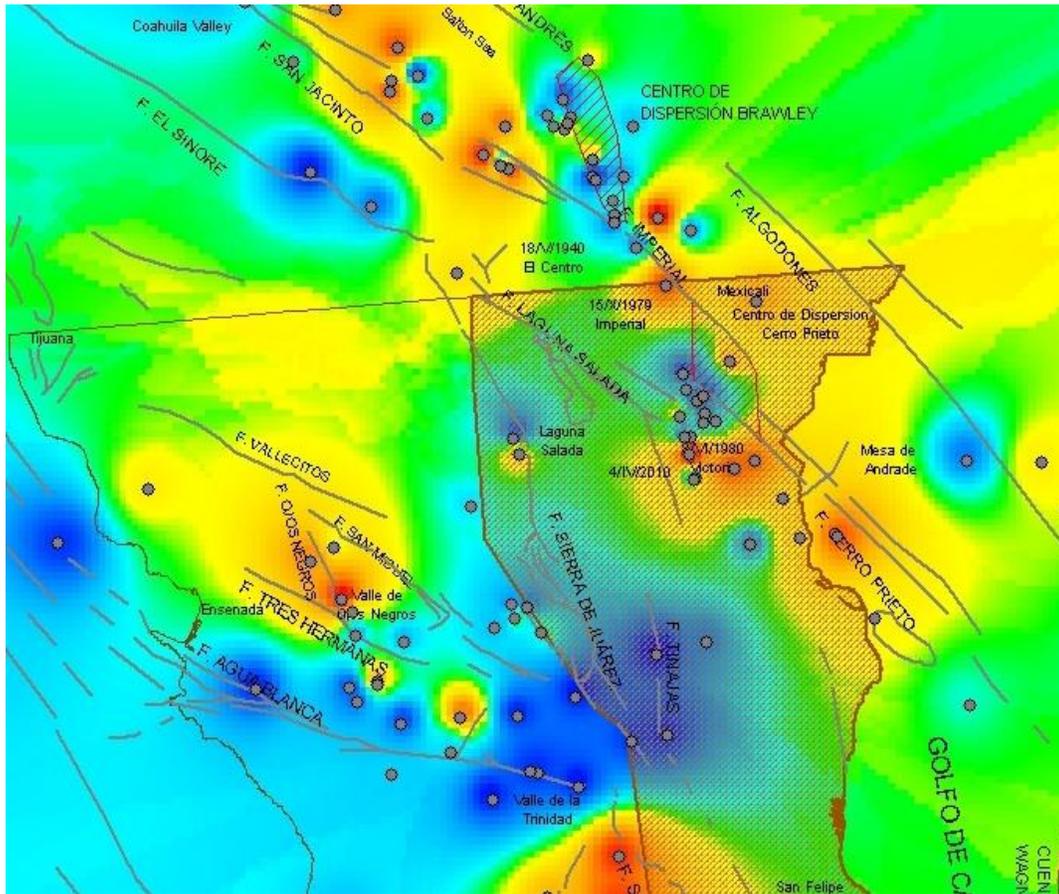
Tabla 19. Registro de epicentros por periodo en el municipio.

Período	Total de epicentros en el periodo	No. de epicentros ≥ 5
1932-1940	162	1
1941-1950	25	0
1951-1960	122	5
1961-1970	121	2
1971-1980	2473	2
1981-1990	2424	1
1991-2000	5457	0
2001-2010	14313	15

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente figura muestra la interpolación de los epicentros de los sismos que han afectado históricamente al municipio de Mexicali y en general a la región. Las áreas de color rojo incluyen los epicentros mayores a 5 grados (escala de Richter), también se puede identificar la relación de los epicentros con la fallas que integran la región. Las zonas que han presentado sismos mayores incluyen la ciudad de Mexicali y las distintas localidades que integran el valle de Mexicali. El sur del municipio, donde se localiza la localidad de San Felipe, no presenta la misma actividad sísmica en términos de epicentros que la parte norte del municipio.

Figura 16. Interpolación de magnitud de sismos de magnitud de 5 a más (1932-2010).



Fuente: Elaboración propia con datos de SCEC (2011).

1.2.4. Índice de vulnerabilidad física por sismo

El índice de vulnerabilidad física (IVF) pretende medir la fragilidad de las viviendas ante los sismos, tomando en cuenta el material con que éstas fueron construidas. El IVF se calcula con base en la tipología de vivienda especificada en la metodología de Cenapred la cual contempla cinco tipos (ver tabla 19) que representan niveles distintos de resistencia a los sismos.

A partir de los datos de la muestra censal 2010 de INEGI se obtuvo que, en general, las viviendas del municipio de Mexicali presentan una vulnerabilidad media (IVF=0.49) ante sismos, éste se integra por viviendas con fragilidad media (IVF=0.45) en la ciudad, así como con viviendas de fragilidad alta en el valle y San Felipe (IVF=0.64).

Del total de viviendas en el municipio 45% presentan una vulnerabilidad física baja (tipo 1), mientras que 35.3% tienen una vulnerabilidad física media (tipo 2) y 19.7% de las viviendas presentan vulnerabilidad muy alta (tipo 3, 4 y 5). Esto significa que durante un sismo muy fuerte más de la mitad de las viviendas en el municipio pueden resultar con daños parciales o totales (ver tabla 19).

Tabla 19. Tipología de vivienda y grado de vulnerabilidad física.

TIPO	CARACTERÍSTICAS	% DE VIVIENDAS MUNICIPIO	% DE VIVIENDAS CIUDAD	% DE VIVIENDAS RESTO	GRADO DE VF
1	Muros de mampostería con techo rígido. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.	45.0%	55.5%	15.7%	B
2	Muros de mampostería con techo flexible. Normalmente cuenta con cimentación, construida con una zapata corrida de concreto o mampostería.	35.3%	31.3%	46.5%	M
3	Muros de adobe con techo rígido. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.	0.1%	0.1%	0%	MA
4	Muros de adobe con techo flexible. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.	6.3%	3.6%	13.9%	MA
5	Muros de materiales débiles con techo flexible. Generalmente no cuenta con cimentación.	13.2%	9.4%	23.9%	MA

Fuente: Elaboración propia.

La fragilidad de las viviendas se manifiesta de manera distinta en la ciudad y en el resto del municipio (valle y San Felipe), en éste último menos de una quinta parte de las viviendas presentan vulnerabilidad baja ante sismos, por lo que se espera que en un temblor fuerte, gran parte de las viviendas sufran daños parciales o totales. Por su parte, en la ciudad más de la mitad de las viviendas presentan esta característica. Cabe señalar que del 2000 al 2010, aumentó el porcentaje de viviendas resistentes en la ciudad en 17 puntos.

Con base en el ajuste metodológico propuesto por Ley y cols., (2007) se realizó el cálculo por Área de Gestión Estadística Básica (AGEB) del INEGI¹⁵ de las localidades urbanas del municipio y se obtuvo que, de la superficie que abarcan las AGEB del municipio, 24% contiene viviendas con vulnerabilidad alta o muy alta, mientras que 47% presentan vulnerabilidad media y 29% baja o muy baja (ver tabla 20).

Tabla 20. Superficie municipal por grado de vulnerabilidad.

LUGAR	MB	B	M	A	MA	TOTAL
Ciudad	0%	36%	42%	18%	3%	100%
San Felipe	0%	0%	91%	9%	0%	100%
Valle	0%	0%	59%	32%	9%	100%
Municipio	0%	29%	47%	20%	4%	100%

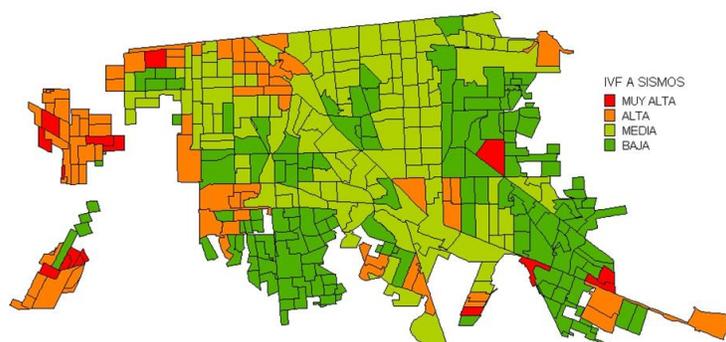
Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de la ciudad de Mexicali se integraron las localidades de Mexicali, Santa Isabel, Progreso y Puebla las cuales se encuentran conurbadas o han sido absorbidas por el crecimiento de la ciudad.

¹⁵ Se utilizaron las AGEB generadas por INEGI para el levantamiento del Censo 2010, como éstos no disponen de información específica sobre materiales constructivos de la vivienda, fue necesario tomar en cuenta los datos del censo 2000, del conteo 2005 y realizar visitas de campo para establecer la tipología constructiva.

Las AGEB periféricas de la ciudad (ver figura 17), así como algunas de las zonas antiguas presentan una vulnerabilidad alta o muy alta esto constituye poco más de una quinta parte de la superficie urbana (21.6%), mientras que gran parte de la ciudad presenta una vulnerabilidad media (42%) y una tercera parte presenta vulnerabilidad baja o muy baja (36.6%). Cabe señalar que la superficie desarrollada con viviendas de alta o muy alta fragilidad disminuyó en 8 puntos porcentuales con respecto al año 2000, mientras que las viviendas de baja o muy baja vulnerabilidad aumentaron en aproximadamente 13%.

Figura 17. Índice de vulnerabilidad física por AGEB



Fuente: Elaboración propia.

Para el puerto de San Felipe se observó que gran parte de la superficie urbana presenta una vulnerabilidad física media ante sismos, esto constituye 91% del total. Mientras que la superficie con vulnerabilidad alta y muy alta representa sólo 9% del total y se distribuye al noreste de la localidad.

Con respecto al valle de Mexicali, 59% de la superficie que abarcan las once localidades urbanas identificadas por INEGI presenta vulnerabilidad media y el 41% restante tiene vulnerabilidades alta o muy alta. Donde Guadalupe Victoria presenta vulnerabilidad que va de media a muy alta, las localidades Oviedo Mota, Hermosillo, Delta, Ciudad Coahuila y Benito Juárez presentan vulnerabilidad media a alta y el resto, sólo vulnerabilidad media.

1.2.5. Percepción del sismo como peligro local

La percepción acerca del peligro sísmico en el municipio de Mexicali es muy alta sobre todo en la ciudad donde se observa que 97% de los encuestados identifican el peligro sísmico en el lugar donde habitan, mientras que en el valle 93% perciben este peligro (ver tabla 21). Esto significa que si bien, el peligro sísmico es alto en el municipio, los habitantes están enterados de la existencia de este peligro. El nivel de percepción del peligro sísmico se incrementó al menos en 80% con respecto a la encuesta aplicada en el año 2006.

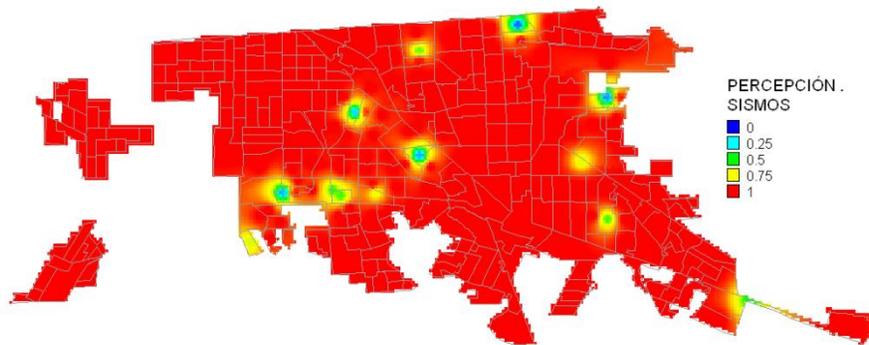
Tabla 21. Percepción del sismo como peligro .

Peligro identificado	Ciudad		Valle y San Felipe	
	No	Si	No	Si
Sismos	3%	97%	7%	93%

Fuente: Elaboración propia.

La distribución espacial de la percepción del peligro sísmico es homogénea en la ciudad (ver figura 18) y sólo resaltan algunos puntos de invisibilidad del peligro dispersos en la mancha urbana.

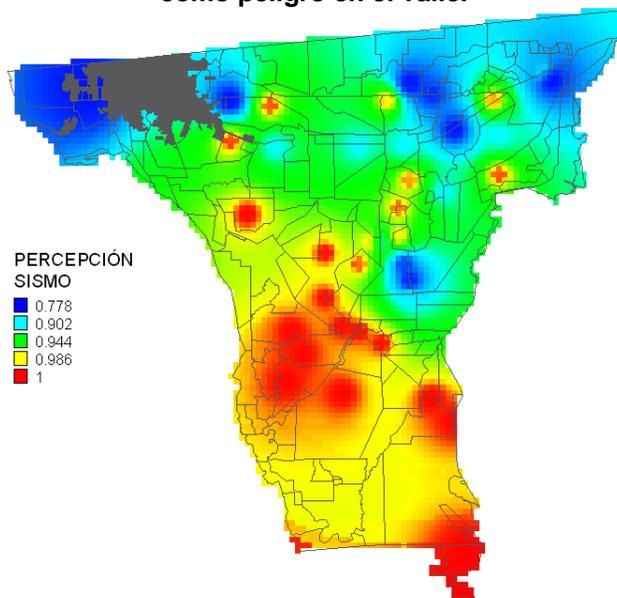
Figura 18. Distribución espacial de la percepción del sismo como peligro en la ciudad.



Fuente: Elaboración propia.

En cambio en el valle de Mexicali (ver figura 19), el nivel de percepción más alto se encuentra en la zona sur, situación que resulta evidente debido a que ésta zona fue la más afectada por el sismo del 4 de abril de 2010 en el municipio.

Figura 19. Distribución espacial de la percepción del sismo como peligro en el valle.



Fuente: Elaboración propia.

1.2.6. Índice de riesgo físico por sismos

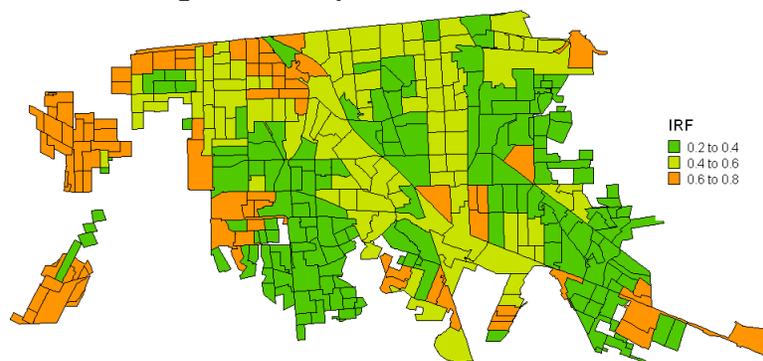
La metodología de Cenapred (2006a) considera el cálculo el Índice de Riesgo Físico (IRF) a partir del Índice de vulnerabilidad física (IVF) y el índice de vulnerabilidad social (IM), el primero como indicador de la resistencia de las viviendas, el segundo como resumen de las condiciones socioeconómicas, la percepción local el riesgo y la capacidad de prevención y respuesta de las autoridades locales.

Con base en esta metodología se obtuvo el IRF a partir de los datos de la muestra censal de INEGI (2010) y de la información recabada en campo sobre la percepción local del riesgo y la capacidad de prevención y respuesta, resultando que el municipio de Mexicali presenta un nivel de riesgo físico medio (IRF=0.49). Si bien el nivel de riesgo es medio en todo el municipio el IRF de la ciudad es menor (0.38) que el IRF del valle y San Felipe (0.57).

El cálculo por AGEB del IRF permitió identificar que 36% de la superficie de las AGEB presenta un nivel de riesgo físico bajo, 40% nivel medio y 24% un nivel de alto. Adicionalmente se observó el comportamiento espacial de este indicador para las principales localidades urbanas. En la ciudad se presenta un nivel de riesgo físico alto principalmente en la zona poniente y bajo en las zonas de expansión al sur y oriente. Mientras que en el resto del municipio se presentan sólo los niveles medio, con excepción de San Felipe, donde el nivel de riesgo físico que predomina en el bajo.

La distribución espacial del IRF en la ciudad se muestra en la figura 20 donde se observa que las AGEB de la zona poniente presentan un nivel de riesgo medio, mientras que las zonas de reciente expansión urbana al sur y oriente presentan un nivel muy bajo de IRF.

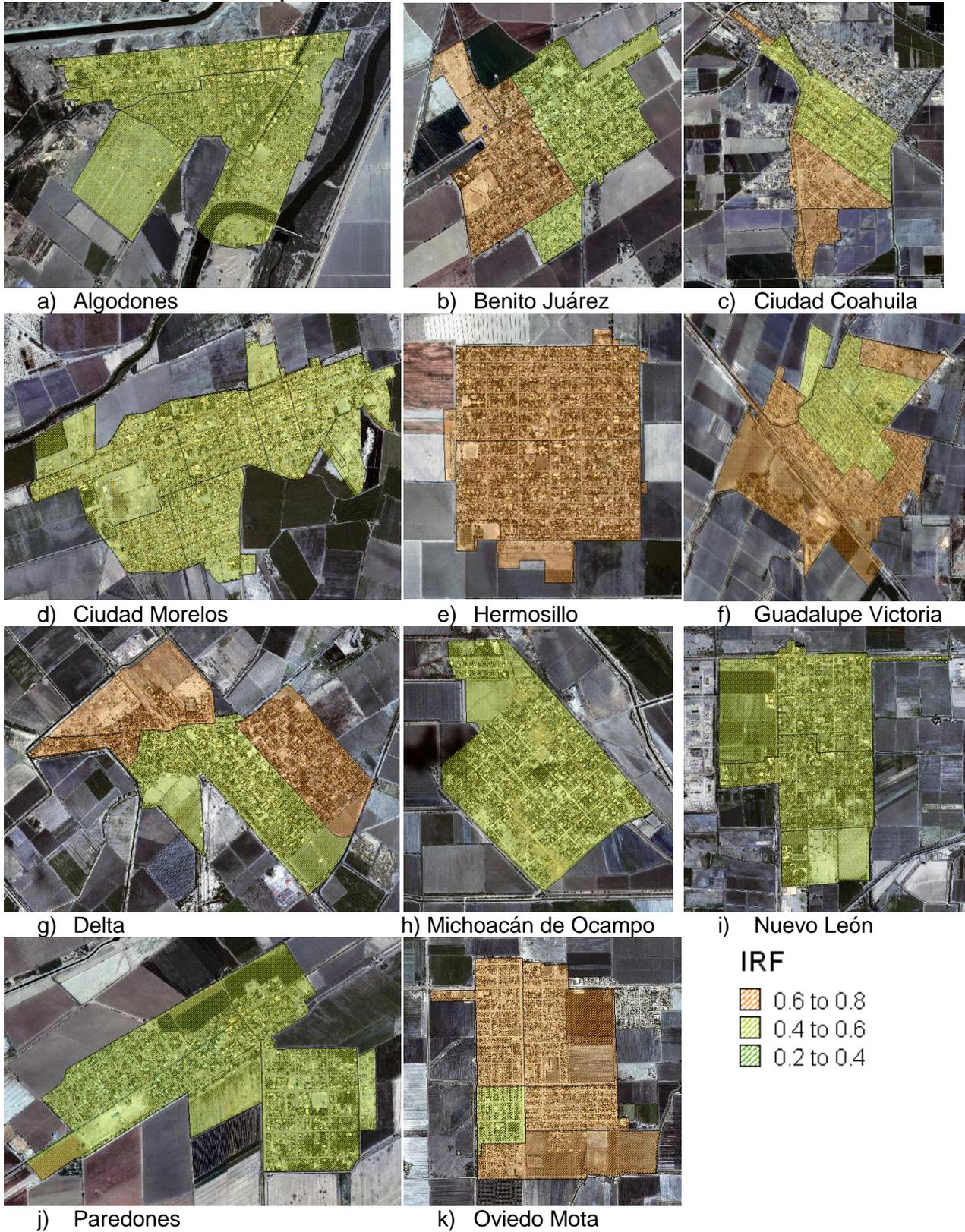
Figura 20. IRF por sismo en la ciudad.



Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, las AGEB de las localidades urbanas del valle se muestran en la figura 21 donde puede observarse que los poblados de los ejidos Hermosillo (inciso e), Oviedo Mota (inciso k), Benito Juárez (inciso b), Guadalupe Victoria (inciso f), Delta (inciso g) y Ciudad Coahuila (inciso c) presentan niveles de riesgo mayores que el resto de las localidades.

Figura 21. IRF por sismo en localidades urbanas del valle de Mexicali



Fuente: Elaboración propia.

1.3. 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 porque 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).

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 (ver figura 22, a).

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 (ver figura 22, b).

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 (ver figura 22, c).

Figura 22. Principales tipos de deslizamiento de laderas.



a) Caídos o derrumbes

b) Deslizamientos

c) Flujos

Fuente: Tomado de Cenapred (2006b).

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).

Los factores externos que propician la inestabilidad de laderas son aquellos sistemas ajenos a la ladera que perturban su estabilidad; usualmente producen un incremento de los esfuerzos cortantes actuantes, aunque de manera indirecta pueden producir un cambio en la resistencia al esfuerzo cortante del material que compone el talud. Los factores externos pueden ser

originados ya sea por fenómenos naturales, tales como las lluvias intensas y prolongadas, los sismos fuertes y la actividad volcánica; o bien por actividades humanas (Cenapred, 2006b).

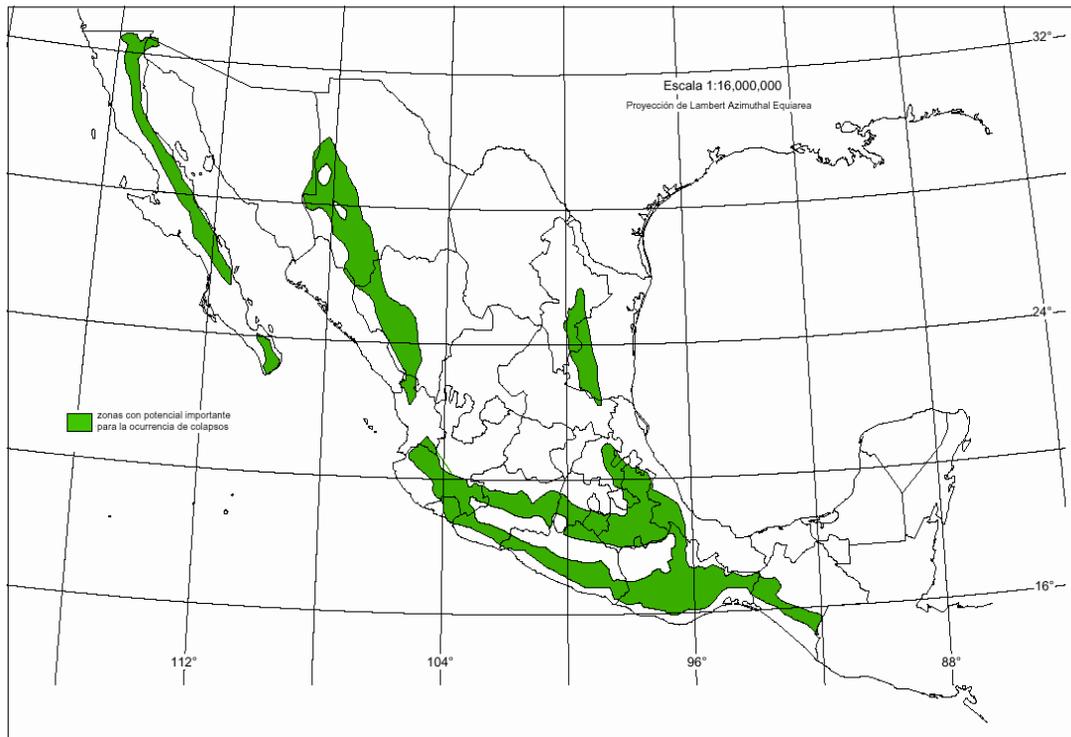
1.3.1. Zonificación del peligro por taludes inestables

De acuerdo con la zonificación de laderas inestables de Cenapred (2001a) el municipio de Mexicali se encuentra en una zona con potencial para la ocurrencia de colapsos, esto ocurre a lo largo de las formaciones serranas de la península (ver figura 23) y, en particular, por la presencia de las sierras de Juárez, Las Tinajas, Cucapá, El Mayor, La Pintas, San Felipe, San Pedro Mártir y Abandonada, en el municipio.

Para que un talud se considere inestable debe estar formado con material frágil, es decir, de baja resistencia a la movilidad y encontrarse depositado en pendientes pronunciadas que originen o faciliten su desplazamiento o desprendimiento (flujo, deslizamiento o derrumbe). Por lo anterior, en la evaluación de los taludes se tomó en cuenta las formaciones geológica y edafológica así como las pendientes del terreno.

En el Municipio de Mexicali las formaciones geológicas frágiles son aquellas unidades de materiales poco consolidados, entre ellas se encuentran las unidades sedimentarias de conglomerados y areniscas, y los suelos, cuyo proceso de formación las convierte en estructuras de baja cohesión y por ello presentan poca resistencia a la movilidad y dispersión por acción de la gravedad o de una fuerza específica.

Figura 23. Zonas con potencial importante para la ocurrencia de colapsos.

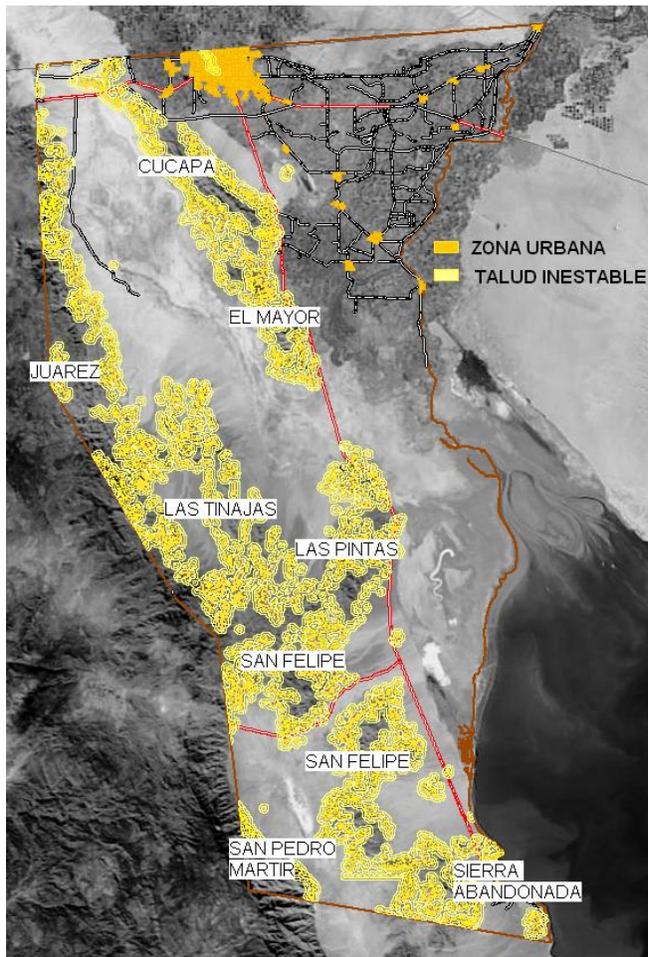


Fuente: Tomado de Cenapred (2001a:89).

Las unidades de conglomerados en el municipio de Mexicali se formaron principalmente a partir de rocas metamórficas e intrusivas, contenidos en una matriz areno-arcillosa, resultando en acumulaciones en forma de terrazas fluviales y abanicos aluviales, los cuales se distribuyen al pie de las sierras de Juárez y Cucapá y en los flancos de la sierras San Felipe y Las Pintas. Mientras que las areniscas se presentan como secuencias arcillo-arenosa distribuidas principalmente en el flanco de la sierra Cucapá, rodeando la parte oriente y sur de la sierra Juárez, Laguna Salada y La Salada.

Entre los suelos del cuaternario, presentan mayor movilidad los suelos eólicos, lacustres y aluviales, éstos se describen brevemente a continuación:

Figura 24. Zonificación de taludes inestables.



Fuente: Elaboración propia.

Los suelos eólicos se manifiestan como cordones de dunas en la porción oriental del municipio, donde se han acumulado a partir de la planicie del delta del Río Colorado y migran hacia el noroeste; también aparecen como franjas angostas rodeando a la Laguna Salada y a la depresión La Salada. Los suelos aluviales se encuentran formando abanicos aluviales al pie de la sierra o en planicies, se distribuyen principalmente en la zona del Río Colorado a los largo de la costa del Golfo de California.

Los suelos lacustres son producto de la invasión intermitente de aguas marinas, se caracterizan por su gran contenido de sales y estructura de arena fina. Estos suelos se encuentran en planicies alimentando a cordones de dunas y en la zona de la Laguna Salada, en la zona de inundación del Río Colorado y en la depresión La Salada.

En cuanto a la edafología, de los suelos del municipio, los regosoles y fluvisoles son poco desarrollados y por su constitución se consideran frágiles. Los regosoles son considerados como la etapa inicial de los suelos, formados a partir de material no consolidado, presentan poca

resistencia a la movilidad por efecto de agentes externos como el agua y movimientos telúricos. Mientras que los fluvisoles, desarrollados a partir de depósitos aluviales recientes, están constituidos de material suelto (depositado en zonas de flujo de corrientes de agua) son suelos sumamente móviles. Estos suelos se distribuyen en gran parte del territorio municipal en torno a los cuerpos de agua y a pié de monte.

Gran parte de las formaciones geológicas y los suelos del municipio son frágiles o tienen poca cohesión, sin embargo éstos no se encuentran depositados en pendientes pronunciadas, porque la topografía del territorio presenta pendientes muy suaves. Por lo que las zonas con taludes inestables son escasas y se distribuyen bordeando las sierras de Juárez, San Pedro Mártir, Cucapá, Las Tinajas, Las Pintas, El Mayor y San Felipe (ver figura 24).

El trazo de las distancias de afectación posible, de acuerdo con la metodología de Sedesol-Coremi (2004a), y la superposición de éstas a las localidades de INEGI (2010) permitió identificar 36 localidades expuestas a taludes inestables (ver tablas 22,23 y 24).

Tabla 22. Localidades a 100 m de taludes inestables.

NO.	NOMBRE	POBLACIÓN	NO.	NOMBRE	POBLACIÓN
1637	LA CASA DE LAS CURVAS (COLONIA EL MAYOR)	4	4675	CAÑÓN DE GUADALUPE	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Localidades a 500 m de taludes inestables .

NO.	NOMBRE	POBLACIÓN	NO.	NOMBRE	POBLACIÓN
0176	EL FARO	97	3039	PUERTO DE TOPOLOBAMPO (COL. LA PUERTA)	2
1824	FAM. BRITO PRADO	12	3251	SANTA FE (COMUNIDAD INDÍGENA TRIBU KILIWAS)	2
3553	RANCHO TORRES	6	4905	LA JOYA DEL MAR	2
0221	RÍO EL MAYOR SOLANO (LA CARPA)	4	1419	EL PESCADOR	1
3287	FAM. SÁINZ DOMÍNGUEZ (COL. EL MAYOR)	4	2301	FAM. LÓPEZ	1
4677	EL PALOMAR	3	2887	CALIZAS [INDUSTRIAS]	1
4685	EL SACRIFICIO	3	3159	LA MORITA (EJ. TRIBU KILIWAS)	1
4907	CAMPO LOBOS	3	3413	NINGUNO (EJ. PLAN NACIONAL AGRARIO)	1
1614	CANTÚ COVE (COL. FRANCISCO VILLA)	2			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Localidades a 1000 m de taludes inestables.

NO.	NOMBRE	POBLACIÓN	NO.	NOMBRE	POBLACIÓN
0284	SAN FELIPE ¹⁶	16702	0408	CAMPO SONORA (COL. TERRENOS INDIOS)	4
0412	EJ. PLAN NACIONAL AGRARIO	692	4803	MISIÓN LOS SAHUAROS	4
1119	COMUNIDAD INDÍGENA CUCAPÁ EL MAYOR	173	0409	EL MEDANITO (COL. TERRENOS INDIOS)	3

¹⁶ La parte norte de la localidad se encuentra en la distancia de afectación por taludes, particularmente se trata de los AGEB 304-7, 303-2, 403-0, 644-6, 302-8, 525-5, 524-0, 539-7, 573-4 que en conjunto representan una población de 11,691 habitantes.

Tabla 24. (Continuación).

1687	LA CURVA	19	2224	PUNTA ESTRELLA	3
1088	LAS CABAÑAS (COL. EL MAYOR)	13	1615	CAMPO DEL PRADO (COL. EL MAYOR)	2
2918	FAM. CRUZ (COL. LA PUERTA)	10	2269	FAM. LEYVA (COL. FRANCISCO VILLA)	2
3023	DEL VALLE [CONSTRUCCIONES Y TRITURADOS]	9	2886	MAR DE CORTEZ [INDUSTRIAL]	2
2186	FAM. GUZMÁN (COL. TERRENOS INDIOS)	8	4909	PERLA DEL MAR	1
3459	FAM. CÁRDENAS	5			

Fuente: Elaboración propia.

La zona del Río Nuevo

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, las cuales provocaron el estancamiento de agua frente al entonces poblado de Mexicali, por lo que fue necesario dinamitar algunas zonas para ampliar su cauce y profundidad y darle salida al agua estancada hacia el Mar de Salton (Aguirre, 1983:79).

Figura 25. Zonificación de deslizamiento.



Fuente: Elaboración propia.

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. A lo largo del proyecto se manifiesta un corte de terreno (terrazas aluviales con diferencias de nivel que van de 4 a 8 metros y con pendientes que van de moderadas a pronunciadas) que separa las colonias próximas al río de la zona del proyecto (Ley y cols., 2007).

Los taludes del Río Nuevo resultan frágiles por el perfil y el material que los constituyen, además la ausencia de vegetación los hace susceptibles a erosión, manifestándose agrietamientos y derrumbes de diversas dimensiones a lo largo de la zona, por lo que los taludes resultan peligrosos particularmente para la población asentada en la zona colindante a éstos, tanto en la parte alta como en la zona baja del talud.

La asignación de distancias de afectación a partir del eje del antiguo río (ahora bulevar) y la superposición de esta información con las AGEB de INEGI (2005) permitió identificar 36 AGEB parcial o totalmente expuestas al peligro (ver figura 25). En conjunto, las AGEB localizadas en las zonas de afectación por taludes registran 69,011 habitantes (ver tabla 25).

Tabla 25. AGEB próximas a la zona del Río Nuevo.

NO.	POBLACIÓN	NO.	POBLACIÓN	NO.	POBLACIÓN	NO.	POBLACIÓN
273-A	6018	280-A	2119	448-8	1301	273-A	6018
282-9	3562	281-4	2067	437-A	1239	282-9	3562
287-1	3475	030-5	1917	445-4	1213	287-1	3475
278-2	3019	288-6	1841	439-9	1207	278-2	3019
051-7	2833	461-3	1633	420-4	1206	051-7	2833
478-9	2569	423-8	1629	421-9	1174	478-9	2569
279-7	2563	446-9	1619	440-1	1164	279-7	2563
005-7	2439	004-2	1618	576-8	1109	005-7	2439
029-2	2346	031-A	1577	274-4	1062	029-2	2346
462-8	2303	447-3	1425	419-1	998	462-8	2303
283-3	2292	043-2	1398	438-4	938	283-3	2292
477-4	2237	272-5	1390	422-3	511	477-4	2237

Fuente: Elaboración propia.

1.3.2. Percepción del talud como peligro local

A partir de la encuesta aplicada a los habitantes de la ciudad y del resto del municipio fue posible identificar que, en la ciudad, un porcentaje muy bajo de las personas encuestadas identifica el peligro de deslizamientos o derrumbes de suelo, mientras que un porcentaje bajo de los habitantes del valle y San Felipe perciben este peligro en el lugar (ver tabla 26).

Tabla 26. Percepción del talud como peligro.

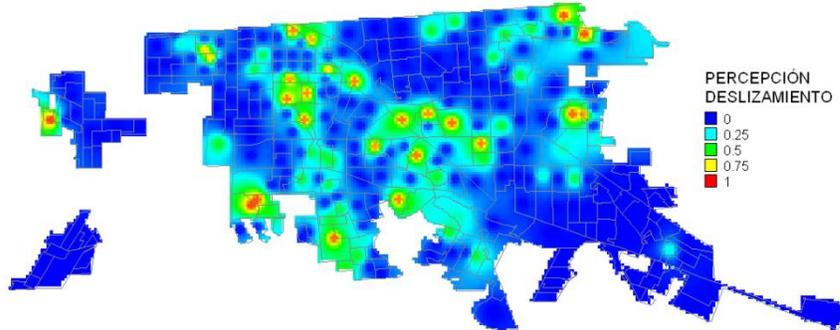
Peligro identificado	Ciudad		Valle y San Felipe	
	No	Si	No	Si
Deslizamientos o derrumbes de suelo	84%	16%	100%	0%

Fuente: Elaboración propia.

La distribución espacial de la percepción del peligro de deslizamiento o derrumbe de suelo en la ciudad se muestra en la figura 26 donde se aprecia que ésta sigue la línea que traza el Río

Nuevo, y de algunos canales agrícolas atrapados por el crecimiento urbano. En este sentido, la percepción del peligro es en cierta forma congruente con la distribución espacial de la amenaza.

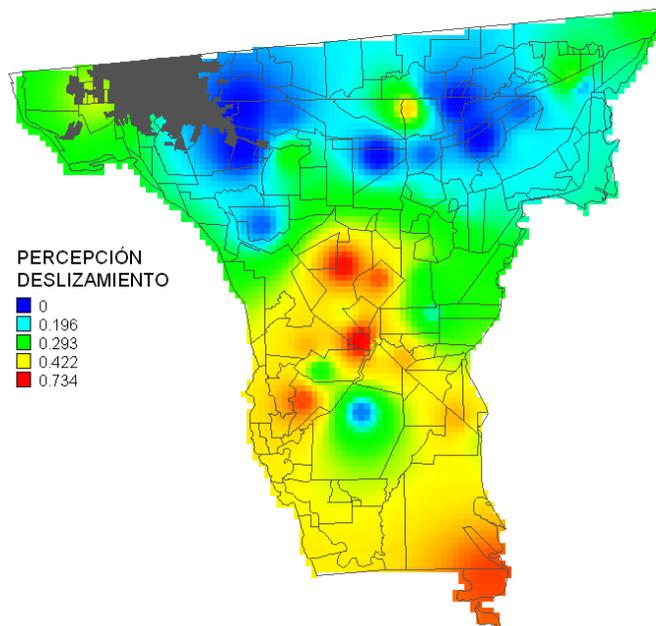
Figura 26. Concentración de la percepción de deslizamiento o derrumbe de suelo como peligro en la ciudad.



Fuente: Elaboración propia.

La percepción del peligro de deslizamiento o derrumbe de suelo en el valle de Mexicali se muestra en la figura 27 donde se observa un nivel alto de percepción en la zona central y sur del territorio. Mientras que en San Felipe la percepción es muy baja.

Figura 27 Concentración de la percepción de deslizamiento o derrumbe de suelo como peligro en el valle.



Fuente: Elaboración propia.

1.4. Otras amenazas geotécnicas

La inestabilidad de laderas no es de modo alguno la única amenaza geotécnica sobre la población y sus bienes. Existen otros fenómenos de naturaleza geotécnica que impactan a la población, a las construcciones e infraestructura en México, por lo que es importante incorporarlos en el presente estudio. Entre este tipo de amenazas Cenapred (2004a) sugiere la revisión de las siguientes:

- 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.
- 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, etcétera.
- La presencia de suelos expansivos, o bien, la de suelos susceptibles a colapsarse, 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 perforación y construcción de túneles para la 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.

En el municipio de Mexicali no se identificó el peligro por presencia de cavidades, en cambio, la licuefacción, presencia de suelos expansivos, agrietamientos y hundimientos son parte del mosaico de amenazas del lugar y, aunque han sido analizadas brevemente en secciones previas de este documento asociadas al peligro sísmico, en esta sección serán analizadas a más detalle dos de ellas: la licuefacción y el hundimiento.

1.4.1. Licuefacción del terreno

La licuación o licuefacción del terreno es el fenómeno en el cual la resistencia y la rigidez de ciertos suelos son reducidas por la acción sísmica u otro tipo de carga cíclica rápida. Esto ocurre en suelos saturados, es decir, en suelos donde los espacios entre las partículas individuales que lo componen están llenos de agua.

Entre los principales elementos que influyen en la ocurrencia del fenómeno de licuefacción son las características de la carga aplicada y las propiedades de los suelos. Es conocido que los temblores pueden producir estrés cíclico en los suelos fundadores y por lo tanto presiones en los poros de agua en el suelo, particularmente en los suelos granulares finos, provocando cambios de volumen y la reducción de la resistencia al esfuerzo cortante (Chern y Chang, 1995).

La aplicación de una carga en el suelo provoca la contracción o densificación volumétrica y el reacomodo de los granos del suelo, incrementando la presión en los poros del suelo. Si éstos no están del todo saturados se producen fallas parciales o totales (grietas) en el suelo. En cambio, si los poros están saturados la presión en ellos produce la expulsión del agua hacia zonas superficiales y la licuefacción. Por lo anterior, las evidencias superficiales más comunes de la ocurrencia del fenómeno de licuefacción son los volcanes de arena, las grietas en el

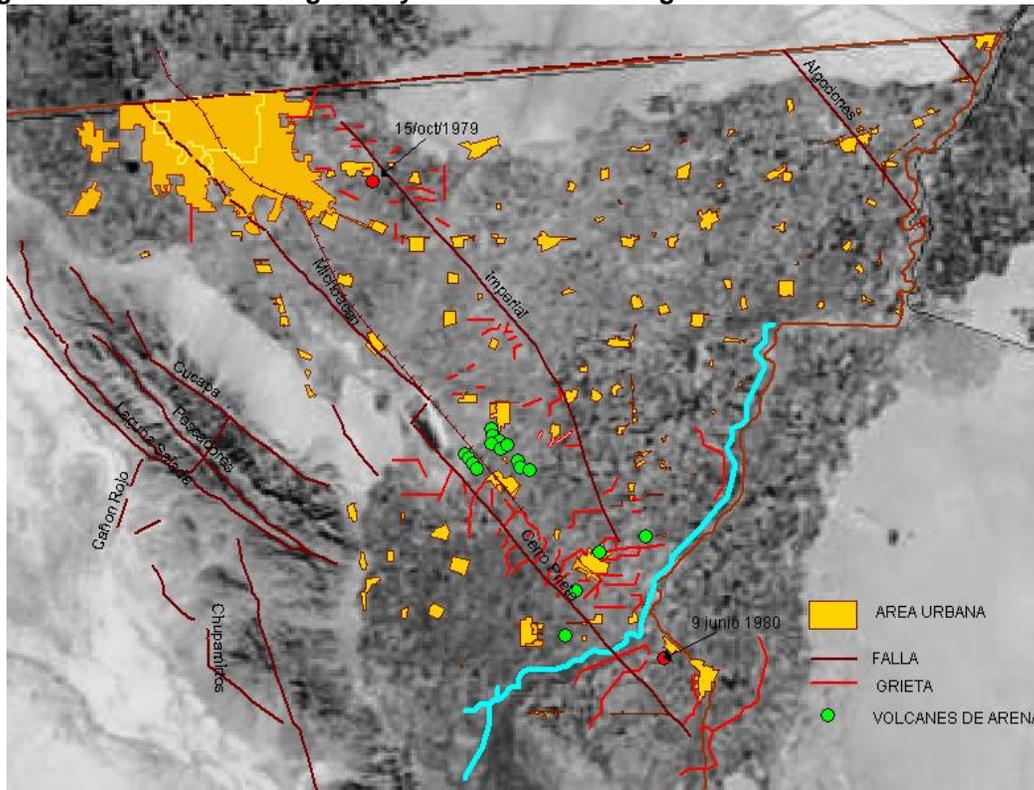
terreno, las pérdidas de capacidad portante, los movimientos laterales, las oscilaciones horizontales del terreno y las fallas de taludes por flujo del terreno (Henríquez,2007).

Entre los factores más importantes que influyen directamente en la ocurrencia del fenómeno de licuefacción son¹⁷: el tipo de suelo, la forma de las partículas, el tamaño de las partículas, el estado de compactación de los suelos, la estructura de los suelos, el lapso de esfuerzo sostenido y la magnitud del esfuerzo repetido.

Zonas con incidencia de licuefacción

Las características del suelo de la región cuya formación es por sedimentos deltaicos no consolidados aunado a la presencia de niveles freáticos poco profundos, hacen del valle de Mexicali en general una zona susceptible de licuefacción ante la presencia de sismos de cierta magnitud. Al respecto, Suárez-Vidal (1999) señala que el proceso de licuefacción en el valle Mexicali se puede manifestar a partir de sismos de magnitud y aceleraciones por lo menos equivalentes a las registradas durante el temblor de Imperial de octubre de 1979 de $M=6.6$.

Figura 28. Distribución de grietas y volcanes de arena generados con el sismo de 1980.



Elaboración propia a partir de Díaz-Rodríguez (1984)

¹⁷ En general los suelos uniformemente graduados son más susceptibles a licuarse que los bien graduados, dentro de los primeros, las arenas finas se licuan más fácilmente que las gravas o suelos arcillosos aluviales. Una arena suelta es más susceptible que una densa. Al parecer, suelos con densidades relativas del 75% no se licuarán. Difícilmente se presenta en profundidades mayores a 20m. La edad del depósito es un factor importante; la historia previa de deformaciones (más perturbaciones previas de bajo nivel incrementan la resistencia a licuefacción); y el historial previo de tensiones (una muestra que ha licuado es susceptible de volver a licuar). Según Seed e Idriss (1970) Arenas sueltas han resistido sismos de poca intensidad $a=0.05g$ y han licuado ante sismos intensos $a=0.16g$.

En sismos anteriores se habían presentado géiseres y volcanes de lodo¹⁸, sin embargo es hasta el sismo de 1980 cuando se identificó de manera más precisa el proceso de licuefacción que afectó a varios poblados del valle de Mexicali. Por ejemplo, Díaz-Rodríguez (1984) reportó la distribución de la licuefacción en forma de cráteres en la zona cercana a los poblados Delta y Chimí, y el afloramiento de grietas perpendiculares a las fallas Cerro Prieto e Imperial, sobre todo en los ejidos Guadalupe Victoria (km.43), Ciudad Coahuila (km.57) Delta-Oaxaca y al este de la ciudad de Mexicali (ver figura 28). Este suceso también fue reportado por Wong, Frez y Suárez (1997) quienes observaron el surgimiento de fracturas de origen no tectónico relacionadas muy probablemente con la licuefacción.

Con el sismo del 4 de abril de 2010 la licuefacción fue más intensa pero ocurrió en aproximadamente la misma zona que en el sismo de 1980, es decir, entre las fallas Cerro Prieto y Laguna Salada como reportan Wei y Sandwell (2010). Los daños principales se registraron en las zonas aledañas al epicentro, en los ejidos Delta, Oaxaca, Zacamoto, Nayarit, Cucapá y La Puerta (Meneses, 2010) donde se presentaron inundaciones producto de la licuefacción o de la fractura de infraestructura hidroagrícola.

Figura 29. Volcanes de lodo en el valle de Mexicali.

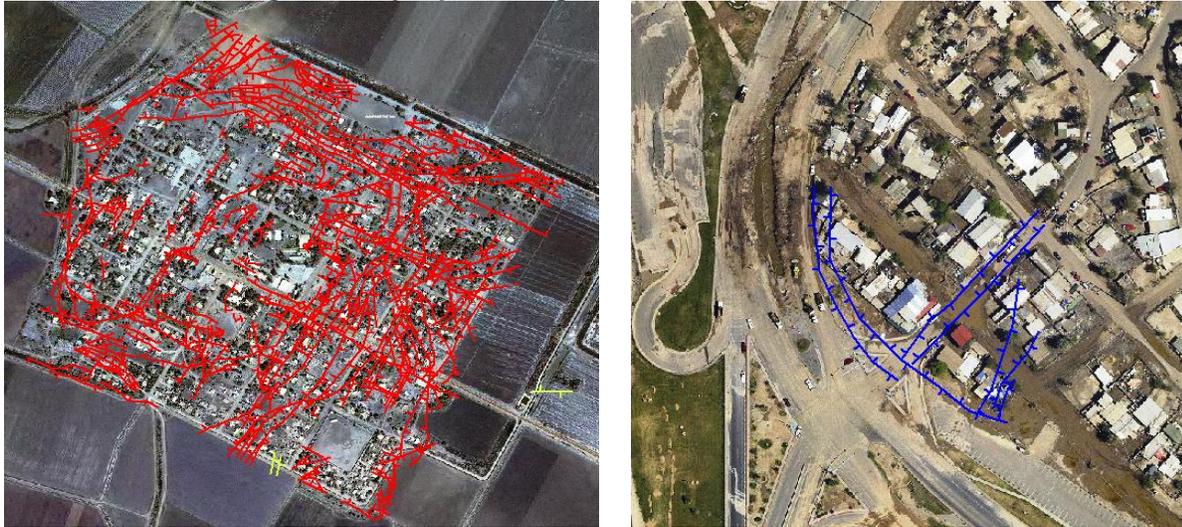


Fuente: Conagua (2010).

Producto de la revisión por parte de Protección Civil del Estado, CICESE y la Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano del Estado (SIDUE) de algunos poblados, se detectaron grietas en el suelo en las localidades Delta, Oaxaca, Nayarit, Durango, Nuevo León, Zacamoto, Cucapá Indígena, Chimí y Carrancita (Sombrerete). Algunas colonias urbanas próximas al Río Nuevo presentaron agrietamiento (colonias Hidalgo, Solidaridad, Agualeguas, Aurora y El Vidrio).

Si bien, los suelos de todo el valle de Mexicali (incluyendo a la ciudad) son susceptibles de licuefacción se puede identificar como zona de alto peligro la comprendida entre las fallas Cerro Prieto y Laguna Salada (así como en las franjas inmediatas a esta zona), donde históricamente se han presentado evidencias de este fenómeno. Cabe aclarar que la localización del epicentro del sismo, el estado de riego de las parcelas agrícolas (nivel de saturación del suelo superficial), la proximidad a los cuerpos de agua, entre otros factores, puede incidir en la presencia e intensificación de la amenaza.

¹⁸ Consultar las secciones de sismos históricos y recientes en este documento.

Figura 30. Ejemplos de agrietamiento en el valle y la ciudad.

Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por SIDUE.

1.4.2. Subsistencia

El fenómeno de subsidencia o de hundimiento diferencial del terreno se asocia principalmente a la extracción de material en minas, de agua subterránea (en acuíferos someros y profundos) y de fluidos geotermales. En el municipio de Mexicali se presentan dos de los casos anteriores, estos son la extracción de agua subterránea a través de pozos para riego agrícola y la extracción de fluidos geotermales en el Campo Geotérmico Cerro Prieto (CGCP) donde la extracción del fluido es mayor a la capacidad de recarga.

La extracción continua de agua del subsuelo cuando éste está constituido por material granular poroso tiene como consecuencia la generación de hundimientos graduales del suelo por consolidación. Debido a que los hundimientos pueden ser de unos cuantos centímetros al año, estos son casi imperceptibles pero al cabo de algunos años los asentamientos tienden a presentar problemas como cambios en el drenaje natural de la zona en hundimiento, como también agrietamientos o desplazamientos verticales del terreno que afectan a la infraestructura civil y a las actividades agrícolas (Pacheco-Martínez y Arzate-Flores, 2007).

Por su parte, las deformaciones del terreno relacionadas con la explotación¹⁹ del CGCP han sido estudiadas por Sarychikhina y cols., (2011), quienes señalan que la subsidencia antropogénica causada por la extracción profunda de fluidos en el CGCP y las rupturas relacionadas a ello, están afectando la infraestructura civil y social en las proximidades del campo. Reconocimientos geotectónicos sugieren que el área afectada por subsidencia está limitada a la zona comprendida entre las fallas Imperial, Saltillo, Cerro Prieto y Morelia, zona también conocida como cuenca Cerro Prieto (Suárez-Vidal y cols., 2008).

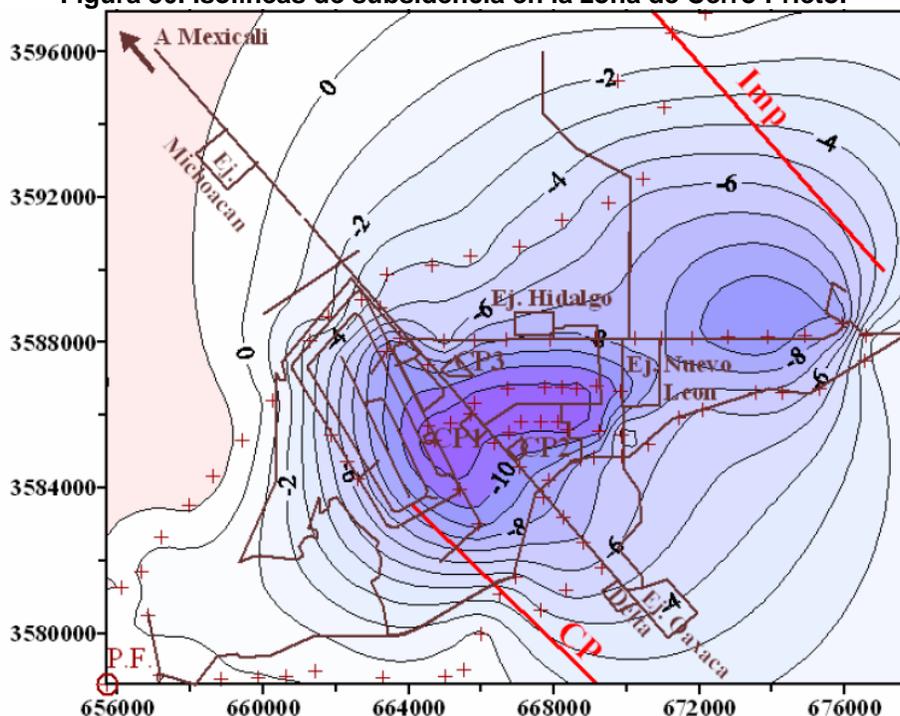
En la zona que engloba el CGCP, hasta los años noventa, las deformaciones observadas se atribuían solamente al tectonismo regional. Actualmente, tras 30 años de extracción de fluidos, por medio de estudios de nivelación y monitoreo sísmico, se ha podido determinar que los desplazamientos del terreno se deben tanto al movimiento tectónico regional como a la

¹⁹ En 1973 inició la extracción de fluido en el Campo Geotérmico Cerro Prieto de una profundidad entre 1500 y 3000 m y en 1989 se inició la inyección de salmuera al subsuelo profundo.

explotación de los fluidos del yacimiento (Glowacka y cols., 1997; Glowacka y cols., 1999), pero la subsidencia antropogénica, de acuerdo con Sarychikhina y cols., (2011) es responsable del 94% al 96% de la subsidencia observada.

En un estudio de Glowacka y cols., (1999) se señala que la zona tiene dos centros de subsidencia con velocidades máximas de 12 y 9 cm/año, donde la zona de máxima subsidencia coincide con la zona del campo geotérmico, mientras que el segundo centro de subsidencia²⁰ se sitúa entre el área de pozos y la Falla Imperial (Glowacka y cols., 1999) (ver figura 30). En un estudio más reciente se encontró que la subsidencia causada por extracción de fluidos geotermales en el CGCP alcanza una tasa de 18 cm por año (Sarychikhina y cols., 2011). Es decir, la tasa de subsidencia aumentó en toda la zona de dispersión con respecto a los años noventa²¹ y puede estar relacionado con el aumento en el volumen de fluido extraído (Sarychikhina y cols., 2011) cambiando la dinámica de la zona.

Figura 30. Isolíneas de subsidencia en la zona de Cerro Prieto.



Fuente: Sarychikhina y cols., (2007).

Si bien, el hundimiento no es un fenómeno con potencial catastrófico, las pérdidas en la productividad agrícola de la zona, en infraestructura civil y en bienes de las personas que habitan en esta zona en el mediano y largo plazo pueden ser muy altas y de difícil recuperación.

La superposición de la zona de subsidencia con las localidades de INEGI (2010) permitió identificar a 199 localidades expuestas a este proceso de deformación del terreno (ver tabla 27).

²⁰ Esta zona puede estar relacionada con el área del acuífero de agua fría que es una fuente de recarga para el yacimiento geotérmico.

²¹ En el comparativo comprende los períodos de 1994-1997 y de 2006-2007 se observó que el mayor aumento se presentó en la parte noreste del área (pasó de 9 a 18 cm/año) fuera del campo geotérmico, mientras que dentro del campo la tasa de subsidencia aumentó (de 12 y 14 a 16 cm/año).

Tabla 27. Localidades en la zona de alto peligro por hundimiento.

NO.	NOMBRE	POBLACIÓN	NO.	NOMBRE	POBLACIÓN
0159	DELTA (ESTACIÓN DELTA)	5180	2754	FAM. TORRES ESPINOZA (EJ. JALAPA)	7
0237	NUEVO LEÓN	3655	2807	FAM. VEGA (EJ. MORELIA)	7
0270	EJ. QUINTANA ROO	2311	3168	LAS PALMAS (EJ. JALAPA)	7
0206	EJ. JIQUILPAN	1681	1601	FAM. SEGURA (EJ. JALAPA)	6
0282	EJ. SALTILLO	1560	1606	LOS BRAVO (VERACRUZ MARÍTIMO)	6
0189	EJ. VICENTE GUERRERO	1463	1716	FAM. AGUILAR CASTRO (EJ. JALAPA)	6
1284	EJ. VERACRUZ DOS	1446	1811	FAM. BELTRÁN (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	6
0253	EJ. TOLUCA	1060	1820	FAM. BONILLA (VERACRUZ MARÍTIMO)	6
0256	ESTACIÓN PESCADEROS (KILÓMETRO TREINTA Y NUEV	1051	2005	FAM. FÉLIX (VERACRUZ DOS)	6
0166	VERACRUZ UNO	1023	2135	FAM. GONZÁLEZ (EJ. QUERÉTARO)	6
0275	EJ. TLAXCALA	851	2158	FAM. GOVEA RUIZ (EJ. JIQUILPAN)	6
0295	EJ. SAN LUIS POTOSÍ	850	2395	FAM. BAÑUELOS (EJ. SONORA 2)	6
0521	POBLADO FRANCISCO SANTANA PERALTA	804	2497	FAM. ORTIZ VÁZQUEZ (EJ. MORELIA)	6
0195	EJ. MIGUEL HIDALGO	799	2669	FAM. SALAZAR PAYÁN (EJ. JALAPA)	6
0202	EJ. JALAPA	671	3087	RANCHO DE CARRANCO (VERACRUZ MARÍTIMO)	6
0158	EJ. CHIHUAHUA	628	3091	RANCHO DE LOS AYALA (VERACRUZ DOS)	6
1555	COMPUERTA 29 (VERACRUZ MARÍTIMO)	240	3330	FAM. HERNÁNDEZ (EJ. JIQUILPAN)	6
0252	RANCHO EL PELIGRO (COLONIA PÓLVORA)	174	0435	COLONIA RENTERÍA	5
1543	EL CHORIZO (EJ. SALTILLO)	155	1630	LOS CANCHOLA (VERACRUZ MARÍTIMO)	5
0531	EL CHIMÍ (EJ. NUEVO LEÓN)	106	1723	FAM. AGUIRRE (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	5
3249	SANTA ADRIANA (EJ. QUINTANA ROO)	92	1780	FAM. AVIÑA (VERACRUZ 2)	5
0165	POBLADO TORCHOZA	85	1965	FAM. DÍAZ (VERACRUZ DOS)	5
1652	CHORIZO MORELIA (EJ. MORELIA)	80	2023	FAM. FIGUEROA (COLONIA ASTORGA)	5
0454	EJ. SAN LUIS POTOSÍ DOS	70	2142	FAM. GONZÁLEZ (EJ. MORELIA)	5
1684	EL CRUCERO (EJ. NUEVO LEÓN)	62	2155	FAM. GONZÁLEZ GONZÁLEZ (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	5
1341	CAMPO NUEVO (EJ. JALAPA)	49	2200	FAM. ZÁRATE (EJ. NUEVO LEÓN)	5
1337	EJ. OTILIO MONTAÑO	47	2619	FAM. RODRÍGUEZ (VERACRUZ DOS)	5
0156	COLONIA CERRO PRIETO SIETE	39	2787	FAM. VAREÑO PERCULI (EJ. AGUASCALIENTES)	5
2540	FAM. POLINA (VERACRUZ DOS)	36	3060	RANCHO AYALA (RANCHO VIEJO VERACRUZ DOS)	5
3254	RANCHO SEDEÑO (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	33	3124	EL SOLITARIO (EJ. CHIHUAHUA)	5
2929	LOS MACHADO (VERACRUZ UNO)	29	3533	FAM. FERNÁNDEZ	5
1854	FAM. CARRASCO (COLONIA GRUPO DOS TUBOS)	28	3558	COLONIA CERRO PRIETO SIETE	5
2406	FAM. MENDOZA (COLONIA GRUPO DOS TUBOS)	27	4869	FAM. GARCÍA LOZA	5

Tabla 27. (Continuación).

0230	EJ. MORELIA	26	1363	FAM. REYES MORENO (EJ. JIQUILPAN)	4
2166	FAM. GUERRERO (VERACRUZ DOS)	26	1602	LOS BONILLA (VERACRUZ MARÍTIMO)	4
2202	FAM. HERNÁNDEZ (VERACRUZ MARÍTIMO)	26	1608	BURCIA (EJ. JALAPA)	4
1306	TLAXCALA 2	20	1655	LOS CISNEROS (VERACRUZ 2)	4
1305	COLONIA BRAVO	19	1715	FAM. AGUILAR RUVALCABA (EJ. JALAPA)	4
1603	LOS BONILLA (VERACRUZ MARÍTIMO)	19	1727	FAM. AHUMADA (EJ. GUERRERO)	4
3071	RANCHO CAMARILLO (VERACRUZ DOS)	19	1939	FAM. COVARRUBIAS (EJ. NAYARIT)	4
3233	RANCHO SALAS (EJ. SALTILLO)	19	2085	FAM. GARCÍA (PARCELA CINCUENTA Y OCHO VERA)	4
1864	FAM. CASTILLO (EJ. MORELIA)	17	2183	FAM. GUZMÁN (COLONIA PÓLVORA)	4
2655	FAM. RUIZ (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	17	2329	FAM. MADRIGAL (EJ. MORELIA)	4
3170	RANCHO LEDESMA (VERACRUZ MARÍTIMO)	17	2383	FAM. MEDINA (EJ. MICHOACÁN DE OCAMPO)	4
3267	RANCHO VERDE (TLAXCALA DOS)	17	2456	FAM. MUÑOZ (EJ. SALTILLO)	4
2949	MORELIA 2	16	2476	FAM. NÚÑEZ (COLONIA BRAVO)	4
1600	LOS BERNAL (VERACRUZ DOS)	15	2747	FAM. TOPETE VALENCIA (EJ. MORELIA)	4
4865	RANCHO VALDIVIA	15	2752	FAM. TORRES (VERACRUZ MARÍTIMO)	4
1585	LOS ARELLANO (EJ. OAXACA)	14	3051	RANCHO AGUIRRE (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	4
2083	FAM. GARCÍA (EJ. JALAPA)	14	3139	RANCHO GLORIA (COLONIA RODRÍGUEZ)	4
2084	FAM. GARCÍA (VERACRUZ MARÍTIMO)	14	3446	LOS TOVAR (PERALTA VERACRUZ MARÍTIMO)	4
2496	FAM. ORTIZ (EJ. TOLUCA)	14	3527	FAM. CORONA	4
2726	FAM. SOLORIO (VERACRUZ MARÍTIMO)	14	1671	COMPUERTA SEIS (EJ. NUEVO LEÓN)	3
2861	LOS GARAVITO (VERACRUZ MARÍTIMO)	14	1710	FAM. ACEVEDO (COLONIA GRUPO DOS TUBOS)	3
3572	COLONIA CERRO PRIETO SIETE	14	1732	FAM. ALVARADO (VERACRUZ MARÍTIMO)	3
1689	LOS DELGADILLO (VERACRUZ MARÍTIMO)	13	1822	FAM. BRAVO (VERACRUZ MARÍTIMO)	3
1714	FAM. AGUILAR (VERACRUZ MARÍTIMO)	13	1912	FAM. CONTRERAS (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	3
1831	FAM. CALDERÓN (VERACRUZ MARÍTIMO)	13	1916	FAM. CONTRERAS COVARRUBIAS (EJ. NAYARIT)	3
2866	LOS GARCÍA (VERACRUZ MARÍTIMO)	13	1917	FAM. CONTRERAS GÓMEZ (EJ. NAYARIT)	3
2890	LOS JASSO (VERACRUZ MARÍTIMO)	13	2094	FAM. PACHECO MAGDALENO (EJ. MORELIA)	3
1713	FAM. AGUILAR (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	12	2248	FAM. LARA (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	3
1758	FAM. MIRANDA (EJ. NAYARIT PARCELA NÚMERO)	12	2252	FAM. LEDESMA (VERACRUZ DOS)	3
2355	FAM. MARTÍNEZ (COLONIA PÓLVORA)	12	2266	FAM. LEYVA (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	3
3076	RANCHO CEBALLOS (COLONIA GRUPO DOS TUBOS)	12	2272	FAM. LIERA RUIZ (EJ. MORELIA)	3
1983	FAM. ELIZARRARÁS (EJ. JALAPA)	11	2495	FAM. ORTIZ (VERACRUZ MARÍTIMO)	3

Tabla 27. (Continuación).

2038	FAM. FLORES CASTILLO (EJ. TLAXCALA)	11	2559	FAM. QUINTERO (EJ. OAXACA)	3
2420	FAM. MOLINA (EJ. TLAXCALA)	11	3121	EL RODRÍGUEZ (EJ. NUEVO LEÓN)	3
2768	FAM. CEBALLOS (COLONIA GRUPO DOS TUBOS)	11	3499	PALATO RAMÍREZ	3
3539	FAM. GARCÍA MENDOZA	11	1544	COLONIA ASTORGA	2
1717	FAM. AGUILAR GÁMEZ (EJ. JALAPA)	10	1754	FAM. ARCE AGUILAR (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	2
3116	RANCHO EL PELIGRO (COLONIA PÓLVORA)	10	1874	FAM. CASTRO ESCALANTE (EJ. JALAPA)	2
3184	LOS GARCÍA (EJ. TLAXCALA)	10	2100	FAM. GARCÍA PEÑA (EJ. NUEVO LEÓN)	2
3192	LOS PINOS (EJ. JALAPA)	10	2172	FAM. ESPINOZA GUILLÉN (EJ. NAYARIT)	2
3201	MARGARITO MEDINA (EJ. NUEVO LEÓN)	10	2448	FAM. MOSQUEDA (VERACRUZ MARÍTIMO)	2
1574	LOS AGUILAR (VERACRUZ MARÍTIMO)	9	2605	FAM. ROBLES (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	2
1577	LOS ALONSO (VERACRUZ MARÍTIMO)	9	2664	FAM. SALAS GONZÁLEZ (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	2
2939	FAM. MATAMOROS (VERACRUZ MARÍTIMO)	9	2911	LOS LÓPEZ (TLAXCALA DOS)	2
2964	LOS PADILLA (VERACRUZ DOS)	9	3179	LOS ARGUEYES (COLONIA PÓLVORA)	2
3540	FAM. RAMÍREZ GARCÍA	9	3288	LOS SALDAÑA (COLONIA PÓLVORA)	2
4745	TRES PALMAS	9	3298	LOS SILVA (VERACRUZ DOS)	2
1773	FAM. ARROYO CERVANTES (VERACRUZ DOS)	8	3352	LAS PALMAS (EJ. JALAPA)	2
1866	FAM. CASTILLO BUGARÍN (TLAXCALA DOS)	8	3354	FAM. CEBALLOS (EJ. HIDALGO)	2
2020	FAM. FIERRO HUERTA (EJ. JALAPA)	8	3438	FAM. SOTO (COLONIA CHAPULTEPEC)	2
2087	FAM. GARCÍA (EJ. AGUASCALIENTES)	8	1635	FAM. CARRANCO (VERACRUZ MARÍTIMO)	1
2858	LOS FIGUEROA (EJ. TLAXCALA)	8	1695	FAM. DUARTE (EJ. OAXACA)	1
3017	FAM. GONZÁLEZ VIRAMONTES (EJ. SALTILLO)	8	1707	MAGAÑA (EJ. MORELIA) [ESTABLO]	1
3024	PILAR SANTIAGO (EJ. JIQUILPAN)	8	1853	FAM. CARRASCO (COLONIA GRUPO DOS TUBOS)	1
4873	FAM. GUTIÉRREZ	8	2070	FAM. GARCÍA (COLONIA CERRO PRIETO)	1
0277	VERACRUZ MARÍTIMO	7	2141	FAM. GONZÁLEZ (EJ. MORELIA)	1
1303	T DEL NAYARIT (EJ. NAYARIT FAM. RIVERA)	7	2317	FAM. LUNA RAMÍREZ (EJ. SONORA)	1
2024	FAM. FIGUEROA (EJ. TLAXCALA)	7	2503	FAM. PALMA (VERACRUZ DOS)	1
2039	FAM. FLORES LÓPEZ (TLAXCALA DOS)	7	2688	FAM. SÁNCHEZ (TLAXCALA DOS)	1
2121	FAM. GÓMEZ (VERACRUZ DOS)	7	2908	LA LOMA (EJ. GUERRERO)	1
2169	FAM. GUERRERO RIVERA (VERACRUZ DOS)	7	2938	FAM. MARTÍNEZ MORALES (EJ. TLAXCALA)	1
2201	FAM. HERNÁNDEZ (EJ. HIDALGO)	7	3108	EL CARACOL (ANDRADE EJ. NUEVO LEÓN)	1
2251	FAM. LARA VARGAS (EJ. SAN LUIS POTOSÍ)	7	3130	RANCHO FÉLIX (COLONIA CHAPULTEPEC)	1
2294	FAM. LÓPEZ (VERACRUZ MARÍTIMO)	7	3532	FAM. AGUILAR	1

Tabla 27. (Continuación).

2363	FAM. MARTÍNEZ (VERACRUZ DOS)	7	3556	RANCHO PRIETO	1
2678	FAM. SALDÍVAR (TLAXCALA DOS)	7	4872	FAM. DE LEÓN	1
2725	FAM. SOLORIO (VERACRUZ MARÍTIMO)	7			

Fuente: Elaboración propia.

1.4.3. Percepción local de otras amenazas geotécnicas

Si bien, los procesos geotécnicos están relacionados entre sí y varios de ellos se manifiestan de manera simultánea en un mismo lugar, no todos ellos son identificados como peligros por los habitantes. En la tabla 28 se muestran los resultados de la percepción de flujos de lodo, agrietamientos, licuefacción y hundimientos obtenidos por medio de una encuesta aplicada a habitantes de la ciudad y del resto del municipio de Mexicali. En ella puede observarse que los agrietamientos del terreno son más visibles que los flujos de lodo y hundimientos, y éstos a su vez son más evidentes que la licuefacción. También puede observarse que la percepción de la mayoría de estos peligros es diferente en la ciudad y en el resto del municipio, presentándose un mayor porcentaje de habitantes que identifican estas amenazas en el valle y San Felipe que en la ciudad.

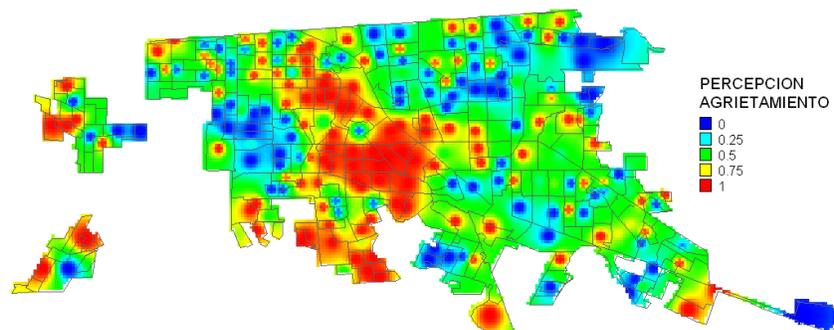
Tabla 28. Percepción de otras amenazas geotécnicas.

Peligro identificado	Ciudad		Valle y San Felipe	
	No	Si	No	Si
Flujos de lodo	75%	25%	62%	38%
Agrietamientos	45%	55%	49%	51%
Licuefacción	97%	3%	73%	27%
Hundimientos	71%	29%	61%	39%

Fuente: Elaboración propia.

La distribución espacial de las respuestas permite observar que en la ciudad la identificación de cada peligro tiene una expresión espacial distinta, por ejemplo, los flujos de lodo se identifican en la periferia urbana, los hundimientos en la franja central de la ciudad y la licuefacción en algunos puntos del sur y este de la ciudad, mientras que los agrietamientos son identificados principalmente en la zona del Río Nuevo y los canales (ver figura 31).

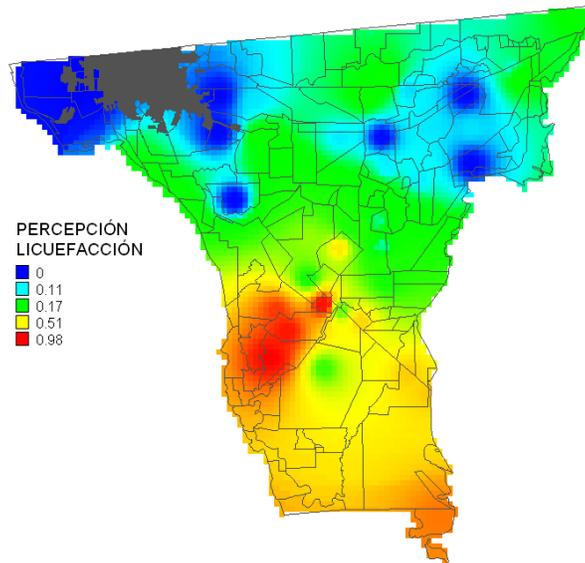
Figura 31. Percepción del agrietamiento como peligro en la ciudad.



Fuente: Elaboración propia.

En cambio, en el valle de Mexicali las amenazas se identifican principalmente en la zona sur y corresponden en cierta forma con la distribución espacial de los peligros, tal como se muestra en la figura 32, sobre la percepción de licuefacción.

Figura 32. Percepción de la licuefacción como un peligro en el valle.



Fuente: Elaboración propia.

1.5. 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 del 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, puede nacer otro volcán similar en la misma región. A este tipo de volcán se le denomina monogenético y es muy frecuente 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 por una erupción pueden causar diferentes efectos en el entorno, dependiendo de la forma en que se manifiestan, entre ellos:

- Flujos de lava: la roca fundida emitida por una erupción efusiva puede avanzar con velocidades que dependen de la topografía del terreno, aunque generalmente son bajas y la población puede ser evacuada, las propiedades y bienes son destruidos.
- Flujos piroclásticos: durante las erupciones explosivas pueden generarse avalanchas formadas por mezclas de grandes fragmentos o bloques de lava, ceniza volcánica y gases muy calientes que se deslizan cuesta abajo por los flancos del volcán a grandes velocidades y por lo tanto, resultan sumamente destructivos.
- Flujos de lodo (lahares): la mezcla de bloques, ceniza y cualquier otro escombros con agua puede producir avenidas potentes, lodo y escombros con alto poder destructivo. El agua que forma la mezcla puede provenir de lluvia, fusión de nieve o hielo, entre otros.

En el municipio de Mexicali, aproximadamente a 20 kilómetros al sur de la ciudad de Mexicali se localiza el volcán Cerro Prieto, el cual tiene una altura de 260 msnm. Sólo se tiene información acerca del registro de un fuerte evento sísmico asociado al volcán, pero ninguno sobre erupción, debido a ello se encuentra clasificado en la categoría 6 de Cenapred denominada “volcanes con información insuficiente”.

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 33). 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.

Figura 33. Volcán Cerro Prieto



Fuente: Imagen del satélite Quickbird (2005).

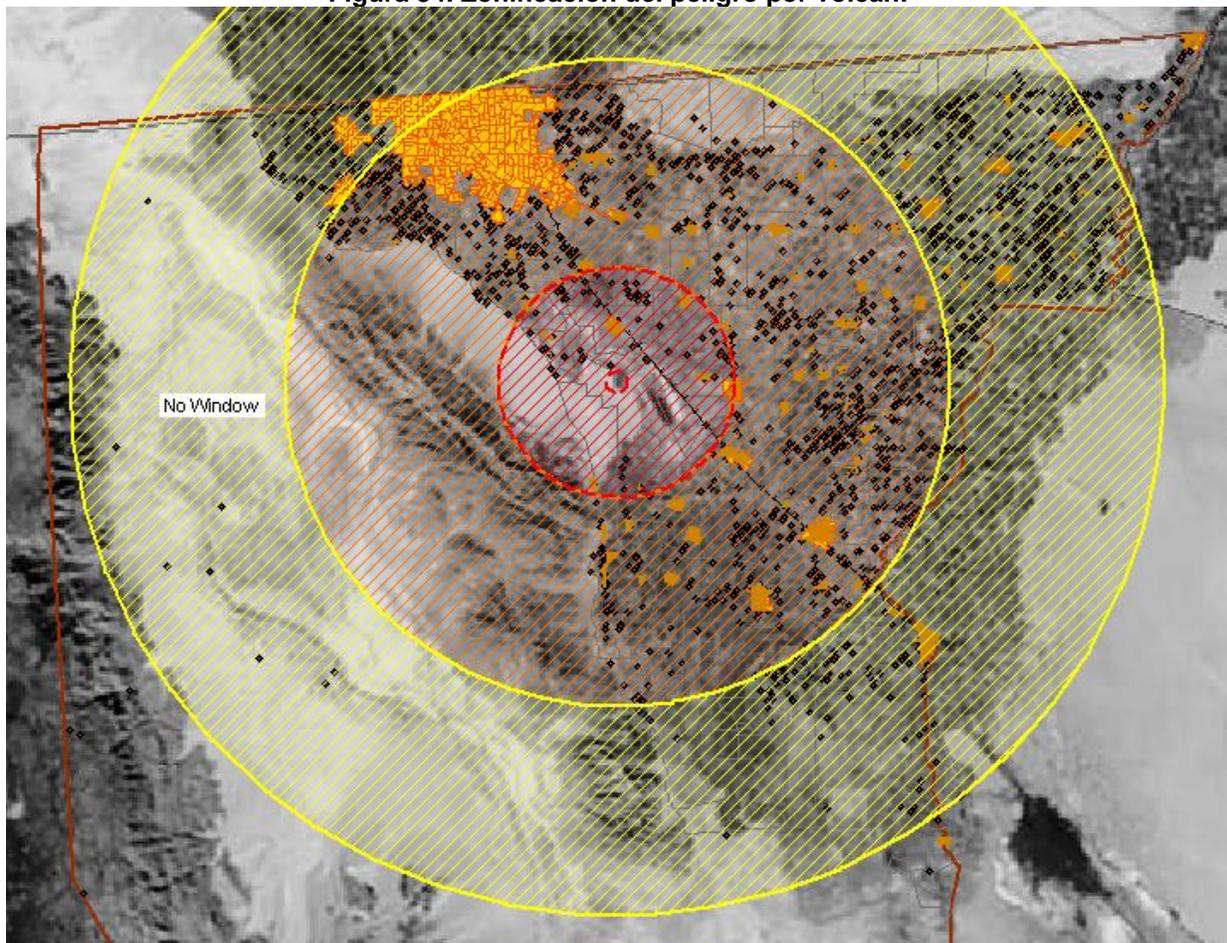
De acuerdo con Cenapred (2006:128) es muy improbable que este tipo de volcanes representen un nivel significativo de peligro, pero deben ser estudiados para poder contar con los elementos mínimos para su evaluación definitiva, la cual sólo podrá realizarse cuando exista evidencia geológica que defina las probabilidades de erupción de éste. Es importante

mencionar que el volcán Cerro Prieto forma parte de un yacimiento geotérmico²² que actualmente es utilizado para generar energía eléctrica.

1.5.1. Zonificación de peligro por vulcanismo

Con base en la metodología de Sedesol-Coremi (2004) se asignaron las distancias para establecer los radios de afectación del volcán Cerro Prieto. Debido a su ubicación el volcán sólo afecta a la parte norte del municipio. La distribución de los radios puede verse en la figura 34, donde se muestra que los radios de mediano y bajo peligro abarcan casi todo el valle mientras que el radio de alto peligro se presenta en las zonas más próximas al volcán.

Figura 34. Zonificación del peligro por volcán.



Fuente: Elaboración propia.

En los radios de peligro bajo y medio se encuentran 507 y 958 localidades respectivamente, mientras que en el radio de alta peligrosidad se encuentran las 68 localidades que se muestran en la tabla 29.

²² 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 Mw, utilizando la energía localizada en el subsuelo (Lira, 2005; Suárez-Vidal, y cols., 2001).

Tabla 29. Localidades en la zona de alto peligro por volcán.

NO.	NOMBRE	POBLACIÓN	NO.	NOMBRE	POBLACIÓN
0225	MICHOACÁN DE OCAMPO	3086	2807	FAM. VEGA (EJ. MORELIA)	7
0266	COL. LA PUERTA	885	1677	SAN JUAN (COL. COLORADO NÚMERO OCHO)	6
0195	EJ. MIGUEL HIDALGO	799	2106	FAM. GASCA (EJ. GUANAJUATO)	6
0158	EJ. CHIHUAHUA	628	2497	FAM. ORTIZ VÁZQUEZ (EJ. MORELIA)	6
0378	JESÚS SANSÓN FLORES	626	2999	PARCELA SETENTA Y CUATRO (EJ. GUANAJUATO)	6
0138	COL. PACÍFICO	499	4877	DON MANUEL	6
0510	EJ. HIPÓLITO RENTERÍA	491	0435	COL. RENTERÍA	5
0137	MIGUEL HIDALGO Y COSTILLA (COL. CINCO CERRO PRIETO)	238	1591	LOS ARZOLA (EJ. ZACATECAS)	5
0385	ZAKAMOTO (NAYARIT 2)	98	1884	FAM. CERVANTES (EJ. SINALOA PARCELA CUARENTA Y CINCO)	5
1652	CHORIZO MORELIA (EJ. MORELIA)	80	2200	FAM. ZÁRATE (EJ. NUEVO LEÓN)	5
1668	LA COLORADO (COL. COLORADO)	76	2716	FAM. SIORDIA MARTÍNEZ (EJ. NAYARIT)	5
2192	FAM. HERNÁNDEZ (EJ. MICHOACÁN DE OCAMPO)	62	2993	PARCELA CINCUENTA Y SEIS (EJ. GUANAJUATO)	5
1337	EJ. OTILIO MONTAÑO	47	2997	PARCELA SESENTA Y NUEVE (EJ. GUANAJUATO)	5
1838	FAM. CAMARGO H. (EJ. MICHOACÁN DE OCAMPO)	41	3555	RANCHO VICTORIA	5
1665	COL. PACÍFICO (KILÓMETRO DIECIOCHO)	38	3558	COL. CERRO PRIETO SIETE	5
2160	FAM. GRANADOS	37	2329	FAM. MADRIGAL (EJ. MORELIA)	4
1649	CERRO PRIETO CUATRO	32	2383	FAM. MEDINA (EJ. MICHOACÁN DE OCAMPO)	4
0187	EJ. GUANAJUATO SECCIÓN DOS	31	2996	PARCELA SESENTA Y CINCO (EJ. GUANAJUATO)	4
2305	FAM. LÓPEZ CAMPOS (COL. COLORADO NÚMERO CINCO)	31	1985	FAM. ESCARPITA (COL. COLORADO NÚMERO CINCO)	3
3171	RANCHO LICÓN (COL. COLORADO NÚMERO CINCO)	31	2094	FAM. PACHECO MAGDALENO (EJ. MORELIA)	3
0230	EJ. MORELIA	26	2132	FAM. GONZÁLEZ (EJ. GUANAJUATO)	3
1397	COL. COLORADO CINCO	22	2272	FAM. LIERA RUIZ (EJ. MORELIA)	3
2949	MORELIA 2	16	3167	LAS PALMAS (COL. CERRO PRIETO)	3
2895	KILÓMETRO DIECISIETE Y MEDIO (CERRO PRIETO CUARTA SECCIÓN)	14	1112	CERRO PRIETO (COL. CERRO PRIETO)	2
3572	COL. CERRO PRIETO SIETE	14	1877	FAM. CASTRO RUVALCABA (EJ. ZACATECAS)	2
1758	FAM. MIRANDA (EJ. NAYARIT PARCELA NÚMERO DOS)	12	2172	FAM. ESPINOZA GUILLÉN (EJ. NAYARIT)	2
3539	FAM. GARCÍA MENDOZA	11	2988	PARCELA CUARENTA Y DOS (EJ. SINALOA)	2
2263	FAM. LEÓN MARTÍNEZ (EJ. SINALOA)	10	3354	FAM. CEBALLOS (EJ. HIDALGO)	2
1676	SAN JOSÉ (COL. COLORADO NÚMERO CINCO) [CORRALES]	9	2070	FAM. GARCÍA (COL. CERRO PRIETO)	1

Tabla 29. (Continuación).

3540	FAM. RAMÍREZ GARCÍA	9	2141	FAM. GONZÁLEZ (EJ. MORELIA)	1
3453	LOS VIVEROS (COL. COLORADO NÚMERO DOS)	8	2628	FAM. RODRÍGUEZ BATALLA (COL. COLORADO)	1
3492	FAM. CENDEJAS	8	3003	PARCELA SETENTA Y SEIS (EJ. GUANAJUATO)	1
2201	FAM. HERNÁNDEZ (EJ. HIDALGO)	7	3011	PARCELAS NÚMERO TREINTA Y DOS Y TREINTA Y TRES (EJ. GUANAJUATO)	1
2348	FAM. MARTÍNEZ (EJ. GUANAJUATO)	7	3108	EL CARACOL (ANDRADE EJ. NUEVO LEÓN)	1

Fuente: Elaboración propia.

1.5.2. Percepción del volcán como peligro local

La identificación del volcán como peligro en el municipio de Mexicali presentó un nivel muy bajo, con un comportamiento similar tanto en la ciudad como en el valle y San Felipe (ver tabla 30).

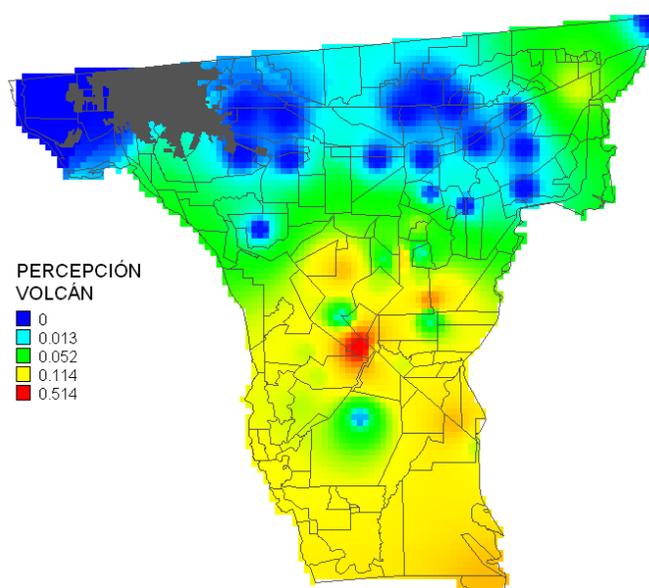
Tabla 30. Percepción del volcán como peligro

Peligro identificado	Ciudad		Valle y San Felipe	
	No	Si	No	Si
Volcán	93%	7%	93%	7%

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la distribución espacial de la percepción del volcán como peligro en el valle, puede observarse (ver figura 35) que la percepción fue más intensa en las zonas próximas al volcán Cerro Prieto que en el resto del territorio.

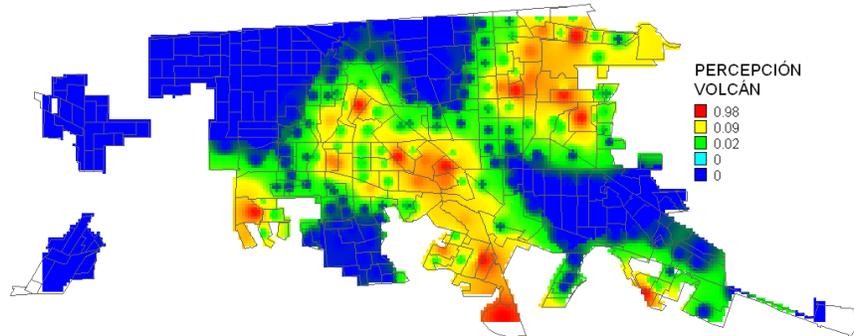
Figura 35. Distribución espacial de la percepción del volcán como peligro en el valle.



Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, la distribución espacial de la percepción del peligro por volcán en la ciudad se manifestó principalmente en la zona sur y noreste de la mancha urbana (ver figura 36).

Figura 36. Distribución espacial de la percepción del volcán como peligro en la ciudad.



Fuente: Elaboración propia.

1.6. Peligro por tsunami

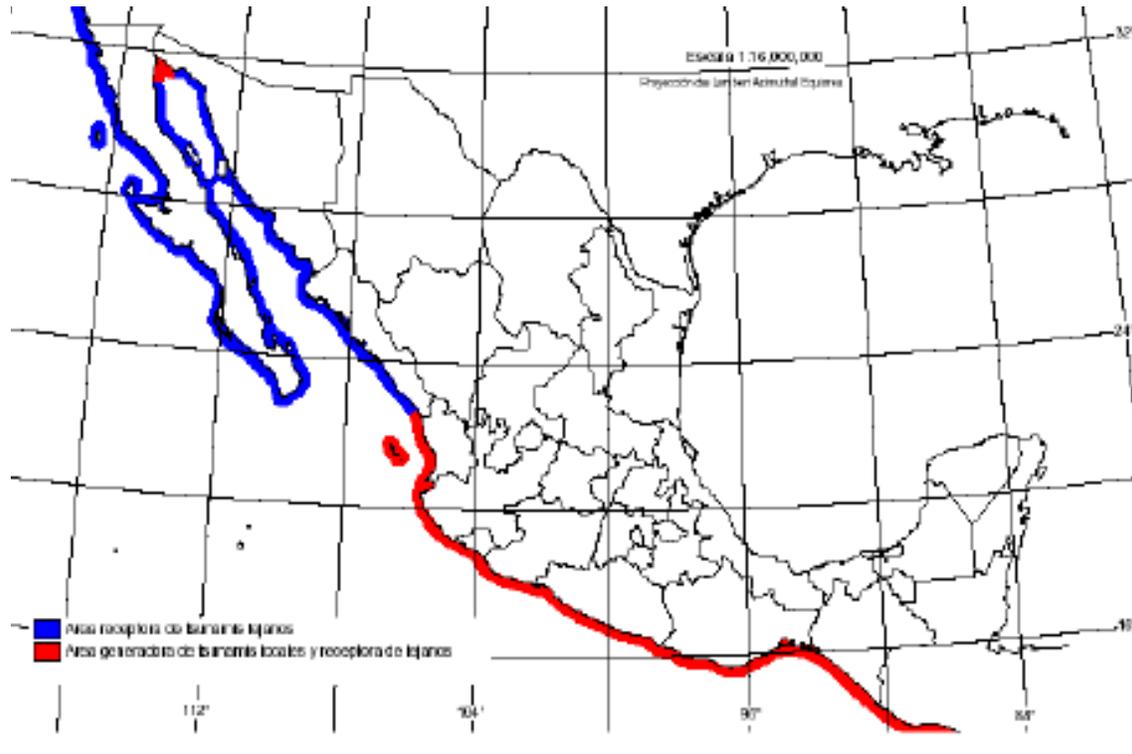
La palabra *tsunami*, de origen japonés, se usa internacionalmente para designar el fenómeno que en español se denomina maremoto. Es una secuencia de olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un terremoto; a las costas pueden arribar con gran altura y provocar efectos destructivos: pérdida de vidas y daños materiales. La gran mayoría de los tsunamis se originan por sismos que ocurren en el contorno costero del Océano Pacífico, en las zonas de hundimiento de los bordes de las placas tectónicas que constituyen la corteza del fondo marino (Cenapred, 2005).

En la gran mayoría de los casos, el movimiento inicial que provoca la generación de los tsunamis es una dislocación vertical de la corteza terrestre en el fondo del océano, ocasionada por un sismo. En el transcurso del siglo veinte, éste ha sido el origen de aproximadamente el 94% de los 450 tsunamis ocurridos en el Océano Pacífico. Otros agentes causales menos frecuentes han sido: erupciones de volcanes sumergidos, impacto de meteoritos, deslizamientos submarinos y explosiones nucleares (Cenapred, 2005).

Para que un sismo genere un tsunami, es necesario que: a) el hipocentro (punto de origen del sismo, en el interior de la Tierra. Lugar donde empieza la ruptura que se extiende formando un plano de falla) del sismo, o una parte mayoritaria de su área de ruptura, esté bajo el lecho marino a una profundidad menor a 60 km (sismo superficial); b) ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas; es decir, que la falla tenga movimiento vertical: que no sea solamente de desgarre, con movimiento lateral, y c) en cierto lapso de tiempo el sismo libere suficiente energía, y que ésta se transmita eficientemente (Cenapred, 2005).

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 (ver figura 37), ya sea como zonas generadoras de tsunamis locales (franja color rojo) y/o como receptora de tsunamis lejanos (franja color azul).

Figura 37. Áreas costeras susceptibles de afectación por tsunamis.



Fuente: Tomado de Sedesol-Coremi (2004a).

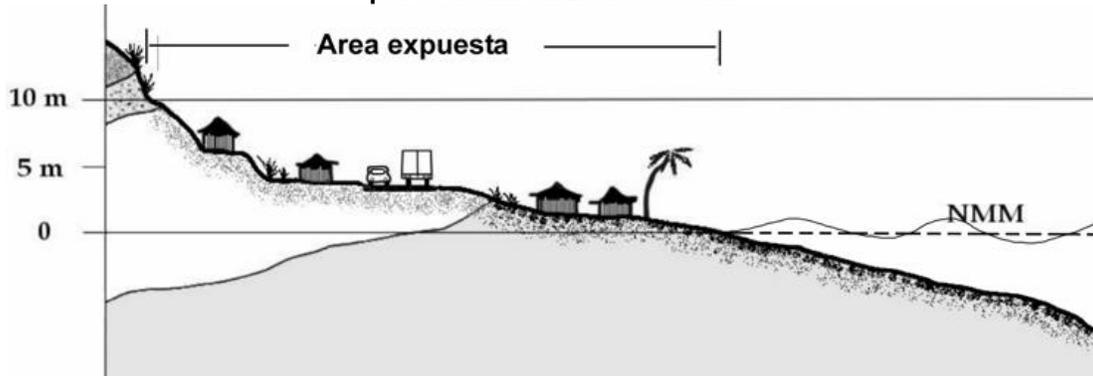
La penetración de las olas sobre el continente, depende básicamente de la topografía en el área inmediata a la línea de costa. Las olas asociadas a maremotos pueden incluso penetrar a lo largo de ríos y arroyos (Cenapred, 2004a:75).

En el Golfo de California el movimiento entre placas tectónicas 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 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. Posiblemente este tsunami haya sido ocasionado por un deslizamiento de grandes dimensiones de los sedimentos que constituyen el delta del Río Colorado (Balderman y cols., 1978 en Cenapred, 2001a).

1.6.1. Zonificación de peligro por tsunamis

De acuerdo con Cenapred (2006b) La altura máxima esperada para olas que impacten la franja inmediata a la línea de costa en la zona receptora de tsunamis lejanos es de 3 m. Para las zonas generadoras de tsunamis locales, la altura máxima reportada varía entre 7 y 11 m. Por tal razón y a falta de mapas de peligro por tsunami, se establece una cota de 10 m como la altura del peor escenario esperado y se combina con una distancia de 1 km de la costa para definir el área expuesta.

Figura 38. Determinación del área susceptible de impacto por tsunami en zona costera.



Fuente: Cenapred (2006b).

En el municipio de Mexicali, la línea de costa se extiende en la parte sureste del territorio (ver figura 39), ésta inicia con la desembocadura del Río Colorado en el Golfo de California y continúa a lo largo de la península hacia el sur hasta el límite con el municipio de Ensenada.

El territorio municipal es en su mayoría plano, con niveles incluso más bajos que el del mar. Esta característica topográfica ha permitido el cambio en la dirección del flujo del Río Colorado y la penetración de agua marina hacia las zonas más bajas. La altitud de 10 m a menos abarca una extensa superficie del municipio, ésta se muestra en la figura 39 en achurado de color amarillo. Si se consideran las condiciones del peor escenario esperado descrito en el párrafo anterior, la zona de afectación por tsunami estaría comprendida por una franja de 1 km desde la línea de costa sobre la cota de 10m. Esta franja se representa en color rojo en la figura 39.

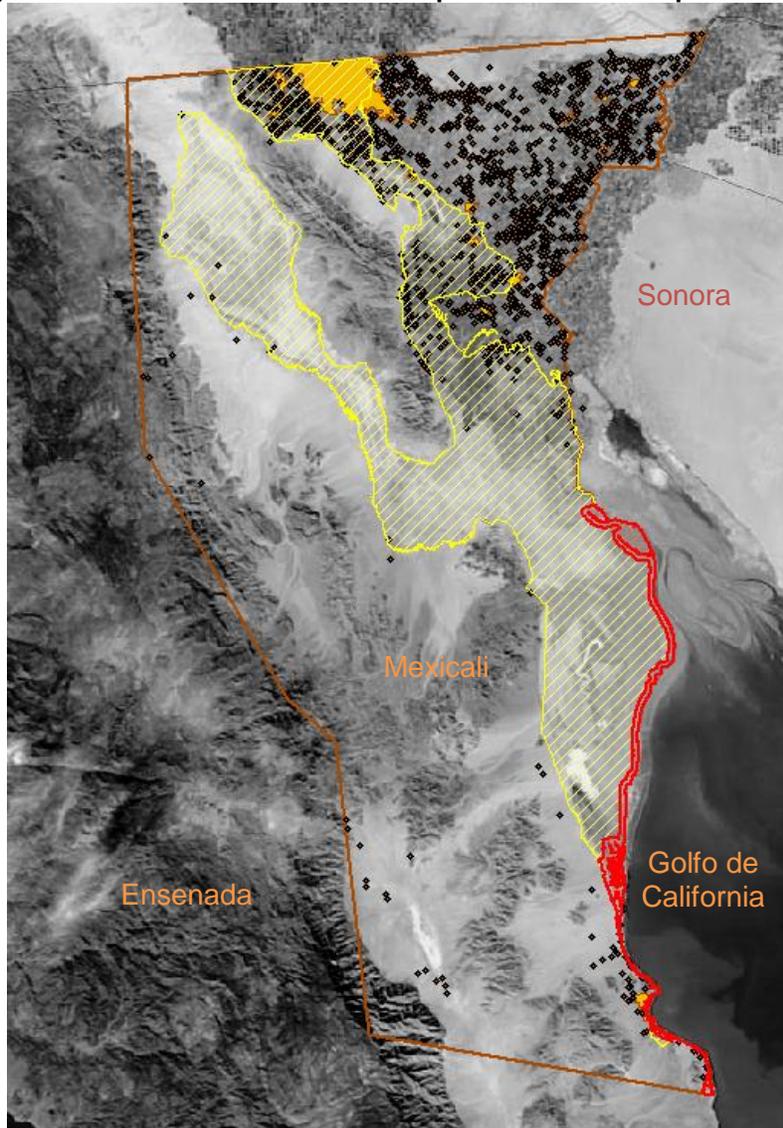
El traslape entre la zona de afectación por tsunami y las localidades del Censo 2010 del INEGI permite identificar 8 localidades expuestas a este agente perturbador (ver tabla 31).

Tabla 31. Localidades en la zona de alto riesgo por tsunami.

NO.	NOMBRE	POBLACIÓN	NO.	NOMBRE	POBLACIÓN
284	SAN FELIPE	16702	1646	BURÓCRATAS [CENTRO VACACIONAL]	7
1216	DON ABEL	4	2224	PUNTA ESTRELLA	3
1222	CAMPO JALISCO	1	3568	VILLAS DE CORTEZ	4
1614	CANTÚ COVE (COLONIA FRANCISCO VILLA)	2	4892	LA PONDEROSA	8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Zonificación de área susceptible a afectación por tsunami.



Fuente: Elaboración propia.

1.6.2. Percepción del tsunami como peligro local

La identificación del tsunami como peligro del lugar es muy baja, tanto para la ciudad de Mexicali, como para el valle y San Felipe (ver tabla 32).

Tabla 32. Percepción del tsunami como peligro.

Peligro identificado	Ciudad		Valle y San Felipe	
	No	Si	No	Si
Volcán	98%	2%	93%	7%

Fuente: Elaboración propia.

La percepción del peligro por tsunami corresponde con la distribución espacial del peligro en el municipio con un nivel más alto de percepción en San Felipe y en segundo término en la zona sur del valle donde existe historial de penetración marina.

1.7. Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación de riesgos se sugieren a partir de los dos elementos que los constituyen, el peligro y la vulnerabilidad local. Si bien los peligros geológicos son procesos que toman millones de años y aún resultan de difícil predicción, el desarrollo de condiciones comunitarias cada vez más seguras para enfrentarlos o resistirlos debe ser una de las principales estrategias en materia de prevención de desastres.

De manera general es necesario incrementar el nivel de conocimiento de los peligros geológicos, tanto en el ámbito científico como en la comunidad expuesta a ellos. En el primer caso se requiere realizar estudios geotécnicos y ampliar a capacidad de monitoreo tanto de los procesos geológicos como de la respuesta del sitio (amplificación o atenuación); mientras que en el segundo caso, se requiere de un programa eficiente y permanente de comunicación del riesgo, con especial énfasis en la población directamente expuesta.

Adicionalmente es conveniente incrementar la capacidad de respuesta local mediante la capacitación del personal en el manejo de tecnologías de información y comunicación, la dotación de equipo y recursos necesarios para la cobertura municipal de las acciones de la Unidad de Protección Civil y del H. Cuerpo de Bomberos. Asimismo es necesario vigilar permanentemente las condiciones de la infraestructura crítica municipal y la congruencia y el nivel de actualización de los planes de contingencias.

Pero sobre todo, es necesario incluir la mitigación de riesgos en la planeación del desarrollo urbano–regional desde una perspectiva territorial que derive en estrategias de ocupación y administración del suelo que eviten el aumento de la población expuesta y la conversión de un peligro en desastre.

Para la identificación precisa de las localidades, instalaciones y población expuesta, se recomienda consultar el sistema de información geográfica que acompaña al presente atlas.

Tabla 33. Medidas de prevención y mitigación de riesgos geológicos.

TEMA	LOCALIZACIÓN	CONDICIÓN INSEGURA	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	
PLANEACIÓN TERRITORIAL	Municipio	Procesos de planeación y gestión territorial deficientes: Bajo control de la localización y del crecimiento de los asentamientos humanos hacia zonas peligrosas.	Exposición de un mayor número de familias a los peligros geológicos conforme crece la ciudad y las localidades del valle.	A través de la planeación y gestión del suelo controlar y evitar el crecimiento urbano y los asentamientos humanos hacia las zonas de exposición a peligros geológicos (fallas, taludes inestables, hundimientos, etc.), así como la incompatibilidad de los usos de suelo.	
				Incorporar en los planes de desarrollo urbano-regional estrategias concretas en materia de mitigación de riesgos.	
				Identificar zonas seguras para reubicar a la población expuesta.	
PELIGROS GEOLÓGICOS	Municipio	Monitoreo con cobertura territorial parcial de los procesos geológicos, efectos de sitio y los efectos posibles en el tiempo, en la comunidad.	Desconocimiento del impacto real de los peligros geológicos, del cambio en el tiempo y de las medidas para mitigarlos.	Realizar estudios geotécnicos que permitan caracterizar el municipio con base en los peligros geológicos y la dinámica local.	
				Mejorar la cobertura espacial y temporal del monitoreo de procesos geológicos (sísmico, de los efectos de sitio, de las condiciones del volcán, y del hundimiento de la zona). Esto requiere de ampliar las redes de monitoreo actuales y garantizar su sostenimiento.	
FALLAS Y FRACTURAS	Localidades del valle (ver tablas 11,12 y 13) y zonas de la ciudad (ver tabla 14).	Localización de la población en zonas afectadas o próximas a fallas y fracturas.	Incremento en la posibilidad de pérdidas materiales y humanas.	Analizar la posibilidad de reubicar a las familias expuestas.	
TALUDES INESTABLES	Localidades del valle (ver tablas 22, 23 y 24), y zonas de la ciudad (ver tabla 25).	Localización de la población en zonas próximas a taludes inestables.	Incremento en la posibilidad de pérdidas materiales y humanas por deslizamientos.	Reforzar la contención de los taludes en las zonas urbanas expuestas y estudios de mecánica de suelos.	
				Evitar la ocupación del suelo próximo a los taludes inestables en las faldas de los cerros y sierras).	
				Cerciorarse que la aprobación de proyectos y obras que generen taludes se acompañen de la construcción de elementos de contención.	
EDIFICACIONES FRÁGILES	Municipio	Viviendas frágiles ante sismos. Particularmente en zonas rurales y periferia urbana (ver figuras 20 y 21).	Pérdidas materiales y humanas por colapso de las construcciones.	Programas de reforzamiento o reemplazo de viviendas frágiles, considerando prioritarias aquel producto de autoconstrucción, cuya vida útil esté próxima a alcanzarse o haya sido rebasada.	
				Control limitado de la calidad de la construcción y de los procesos de autoconstrucción.	Producción de edificaciones frágiles.
				Magnificación del desastre por efecto dominó.	Mejorar o reforzar la resistencia de los sistemas expuestos (construcciones, redes e infraestructuras)
					Adecuar el reglamento de construcción a las nuevas evidencias aportadas por eventos recientes.
			Inventario y verificación permanente de las condiciones de seguridad de las instalaciones de alta concentración de población y de potencial catastrófico (altamente peligrosas).		

Tabla 33. (Continuación).

HUNDIMIENTOS	Localidades del valle (ver tabla 27) y el valle en general.	Información escasa en cuanto a la dinámica de hundimiento en el valle en general, sobre todo lo relacionado con sobreexplotación de acuíferos e imprecisión con respecto al incremento o disminución del ritmo de extracción de fluidos geotermales.	Pérdidas materiales de la comunidad. Pérdidas en infraestructura y en productividad agrícola. Cambio en el patrón de drenado de la zona. Dificultad para tomar decisiones en la materia.	Generar información sobre el hundimiento general en el valle de Mexicali y los posibles impactos en el tiempo.
				Con base en evidencia establecer acuerdos y programas conjuntos con la CFE y la Conagua, para disminuir el impacto de la extracción de fluidos del subsuelo o bien, para compensar estos efectos.
LICUEFACCIÓN	Ciudad y valle de Mexicali	Información escasa acerca de la susceptibilidad de los suelos de licuarse y del impacto de este proceso.	Pérdidas materiales de la comunidad. Pérdidas económicas y productivas de la actividad agrícola. Por inundaciones, lodo, cambios en las pendientes del terreno y daños en las estructuras.	Establecer estrategias de reubicación de la población afectada y de las actividades productivas.
				Realizar estudios sobre los suelos y su susceptibilidad a licuarse.
		Incremento en las condiciones que hacen a los suelos susceptibles a licuarse.	Incremento en las pérdidas materiales por licuefacción.	Establecer un programa de mejora de suelos (reemplazo de estratos peligrosos).
				Disminuir el efecto de licuefacción por medio del refuerzo o flexibilización de estructuras y el uso de cimentaciones profundas en instalaciones de alta concentración de personas y de alto peligro.
VOLCÁN	Ciudad y valle de Mexicali (ver tabla 29).	Desconocimiento del potencial catastrófico del volcán.	Incertidumbre y dificultad en la prevención de riesgos. Incremento en el número de población expuesta.	Disminuir la saturación del suelo y niveles freáticos someros mediante: La mejora en la eficiencia del sistema de drenaje e infraestructura hidroagrícola. Dotación de drenaje sanitario a las localidades rurales y semiurbanas. La mejora en las prácticas de riego agrícola.
				Realizar estudios y monitoreo permanente acerca del volcán Cerro Prieto para definir las posibles afectaciones a la población. Evitar el asentamiento humano en las proximidades al volcán.
TSUNAMI	San Felipe (ver tabla 31)	Localización de población en la franja de afectación por tsunami.	Incremento en las pérdidas materiales y humanas por evento peligroso.	Evitar la ocupación de las zonas próximas a la línea de la costa. Difundir el peligro por tsunami en las localidades expuestas. Difundir medidas preventivas a la población y a los turistas.

Tabla 33. (Continuación).

PERCEPCIÓN	Municipio	Bajo nivel de conocimiento de la comunidad sobre qué hacer y a quién acudir en caso de emergencia.	Incrementa el impacto de los peligros, el número de familias afectadas por no estar preparados o por generar caos.	Programa permanente de comunicación del riesgo y medidas preventivas (capacitación, simulacros, etc.) dirigidas a la población con especial énfasis a las zonas expuestas y a las actividades peligrosas
------------	-----------	--	--	--