



PROGRAMA SALVADOREÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE
DESARROLLO Y MEDIO AMBIENTE

Riesgo sísmico en la Región Metropolitana de San Salvador

**Julian Bommer
Walter Salazar
Ricardo Samayoa**

La Fundación PRISMA es un centro de referencia, investigación e incidencia sobre temas de desarrollo y medio ambiente en El Salvador.

La Fundación PRISMA trabaja por la construcción de consensos para una gestión del desarrollo viable, ambientalmente sensata y socialmente incluyente en El Salvador.

Nuestro estilo de trabajo es una interacción constante, amplia, transparente y colaborativa con los principales actores del desarrollo.



3ª . Calle Poniente No. 3760, Col. Escalón, San Salvador
Dirección Postal: Apartado 01-440, San Salvador, El Salvador, C.A.
International Mailing Address: VIP No. 992, P.O. Box 52-5364, Miami, FL 33152, U.S.A.

Tel.: (503) 298-6852, 298-6853 y 224-3700
Fax: (503) 223-7209
E-mail: info@prisma.org.sv
URL: <http://www.prisma.org.sv>

INDICE

CAPITULO I: Introducción	6
CAPITULO II: Riesgo sísmico en El Salvador	8
2.1 Tectónica y Sismicidad	9
2.2 Los sismos en El Salvador	13
2.3 Estudios de amenaza sísmica en El Salvador	18
2.4 Impacto de los sismos en la Región Metropolitana de San Salvador	20
2.4.1 El terremoto del 3 de mayo de 1965	21
2.4.2 El terremoto del 19 de junio de 1982	23
2.4.3 El terremoto del 10 de octubre de 1986	24
CAPITULO III: Amenaza sísmica en la RMSS	28
3.1 Fuentes sísmicas	28
3.2 Amplificación de la sacudida por el suelo	32
3.3 Derrumbes inducidos por sismos	35
3.4 Licuefacción y asentamiento del suelo	39
3.5 Estudios de microzonificación sísmica y geotécnica de la RMSS	40
CAPITULO IV: Medidas de mitigación del riesgo sísmico en El Salvador	52
4.1 Desarrollo de los reglamentos sísmicos	52
4.2 Aplicación del reglamento para la seguridad estructural de las construcciones	56
4.3 La ingeniería sísmica en El Salvador	58
4.4 Reparación refuerzo de edificios dañados	58
4.5 El seguro contra sismos en El Salvador	60
CAPITULO V: Riesgo Sísmico y el uso del suelo en la RMSS	66
5.1 Historias y tendencias de urbanización en la RMSS	66
5.2 La gestión actual del uso del suelo en la RMSS	68
5.2.1 El Viceministerio de Vivienda Urbana (VMVDU)	68

5.2.2 La Oficina de Planificación del Area Metropolitana de San Salvador (OPAMSS)	71
5.3 Propuestas para la microzonificación de la RMSS	75
CAPITULO VI: Estrategias para la mitigación del riesgo en la RMSS	76
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	80
ANEXOS	86
ANEXO A: Escala de Intensidad Modificada Mercalli (versión 1956)	87
ANEXO B: Lista de comunidades sujetas a posibles deslizamientos según el COEN (1997)	89
ANEXO C: Lista de edificios dañados en el terremoto del 10 de octubre de 1986	91
ANEXO D: Glosario	92

I

Introducción

Riesgo sísmico es la probabilidad de una pérdida causada por un sismo durante un tiempo definido. Esta pérdida puede ser medida en términos humanos, económicos o sociales y la escala escogida define el costo de la pérdida que da una medida del riesgo. Por ejemplo, se podría expresar el riesgo en términos del número de muertos o en términos de un costo económico, que puede incluir elementos directos (bienes destruidos) e indirectos (interrupción de comercio, etc.).

La probabilidad de una pérdida causada por un sismo depende de dos factores, la amenaza sísmica y la vulnerabilidad (Fourier d'Albe, 1988):

$$\text{Riesgo Sísmico} = \text{Amenaza Sísmica} * \text{Vulnerabilidad}$$

La amenaza sísmica es la probabilidad de que ocurran movimientos sísmicos de cierta intensidad en una zona determinada durante un tiempo definido. La amenaza también puede incluir otros efectos que el mismo sismo genera, como derrumbes y licuefacción de suelos. La vulnerabilidad representa el daño que se puede esperar en una estructura sujeta a un movimiento sísmico de cierta intensidad. Entonces la vulnerabilidad refleja la falta de resistencia de un edificio frente a las sollicitaciones sísmicas.

La amenaza sísmica refleja características de la naturaleza que generalmente no pueden ser modificados, como son la sismicidad y la geología de una región. En cambio, la vulnerabilidad sí puede ser modificada y por lo tanto la única forma de disminuir el riesgo sísmico para una instalación es reduciendo la vulnerabilidad a través del diseño y la construcción adecuados. Dada la alta incidencia de la intervención humana en la vulnerabilidad, que es determinante para el riesgo sísmico, aunque los sismos son un fenómeno natural, los desastres resultantes, cuando ocurren, no pueden ni deben considerarse como “desastres naturales”.

Por ejemplo, el terremoto de la república de Armenia en diciembre de 1988 afectó una zona donde habían muchos edificios altos de baja resistencia sísmica y quedaron sin vida más de 25,000 personas (Bommer y Ambraseys, 1989). En contraste, en el siguiente año hubo un terremoto de mayor magnitud en California - donde se aplican normas exigentes para el diseño sismorresistente - y murieron tan sólo 70 personas (Elnashai y otros, 1989).

A nivel mundial, el número de muertos provocados por terremotos es creciente (Bertero, 1994). Esto no se debe al aumento de la actividad sísmica, para la cual no hay ninguna evidencia. Principalmente se debe al crecimiento de la población y la expansión urbana, especialmente en aquellos lugares donde son débiles la gestión urbana y los mecanismos de seguridad sísmica. Según Bilham (1988) para el año 2000 habrán más de 100 “super-ciudades” (con más de 2 millones de habitantes) en el mundo y 41 de estas (que en su conjunto tendrán una población total de 292 millones) se encontrarán en zonas sísmicas, y el 80% de ellos serán del Tercer Mundo. En vista de estos patrones, se puede modificar la definición de Fourier d'Albe (1988) para el riesgo sísmico para incluir el factor de la densidad de población:

$$\text{Riesgo Sísmico} = \text{Amenaza Sísmica} * \text{Exposición} * \text{Vulnerabilidad} * \text{Costo}$$

La exposición se puede expresar en términos del número de edificios o personas en una zona, o el valor productivo de la industria y comercio concentrada en un lugar. El costo sería el número de personas albergadas en cada edificio o un valor monetario asociado con cada edificio o unidad industrial. Entonces, si ocurre un sismo mar adentro o en una zona totalmente despoblada - donde la exposición es nula -, el riesgo sísmico que representa es cero. Igualmente, una ciudad grande en una zona sin actividad sísmica, aunque tiene gran exposición tiene muy bajo riesgo debido al bajo nivel de amenaza sísmica. En las ciudades en zonas sísmicas, donde existe la amenaza sísmica y alta exposición, el nivel de riesgo sísmico está controlada por la vulnerabilidad de los edificios y la infraestructura.

Esta nueva expresión entonces permite ver claramente, que la expansión urbana en sí, aún con la misma calidad de construcción, automáticamente conlleva un aumento del riesgo sísmico. Al mismo tiempo, señala la urgencia de controlar tanto la urbanización como la calidad de la construcción para mitigar efectivamente el riesgo sísmico.

En este informe se considera el nivel de riesgo sísmico en la Región Metropolitana de San Salvador (RMSS). En el segundo Capítulo se presenta el marco global para el estudio en términos de sismicidad de El Salvador y el impacto de los terremotos en la RMSS. El tercer Capítulo considera los factores que contribuyen a la elevada amenaza sísmica de la RMSS. Estos factores, y sus asociadas amenazas, están directamente relacionadas con la geología de la RMSS. El cuarto Capítulo aborda la mitigación del riesgo sísmico en El Salvador y en la RMSS por el control de la vulnerabilidad, principalmente a través de los reglamentos de diseño sísmico. En el quinto Capítulo se examina la mitigación del riesgo sísmico mediante el control del uso de terreno para tomar en cuenta las amenazas geotécnicas presentadas en el tercer Capítulo. El último Capítulo propone cambios en la gestión urbana, tanto al uso de terreno como al control de la construcción, para reducir y mitigar el riesgo sísmico en la RMSS.

II RIESGO SISMICO EN EL SALVADOR

El historiador William Durant afirmó que “*la civilización existe por consentimiento geológico, sujeto a cambio sin previo aviso*” y definitivamente esto es aplicable a El Salvador, cuya historia ha sido fuertemente marcada por las erupciones volcánicas y los terremotos. El Salvador se encuentra ubicado en el “anillo de fuego”, la zona de actividad sísmica y volcánica que bordea la cuenca del océano Pacífico e incluye todo la costa occidental del continente americano, Japón, Filipinas y Nueva Zelandia. En este Capítulo se explica brevemente las causas físicas de la elevada sismicidad que afecta a Centro América y a El Salvador y se presenta un resumen de la historia sísmica del país. También se presentan los diferentes estudios que se han llevado a cabo de la amenaza sísmica en El Salvador y se examina la correlación entre sus resultados y las observaciones históricas de los terremotos en el país. En el último apartado de este Capítulo se mira el impacto de los sismos en la Región Metropolitana de San Salvador (RMSS) para identificar los patrones de daños y los factores que contribuyen a su alto nivel de riesgo sísmico.

En el siglo XX los terremotos provocaron la muerte de casi 3,000 salvadoreños (White y Harlow, 1993; Ambraseys y Adams, 1996). Esta cifra es pequeña en comparación con el número de personas que han perdido la vida por causa de enfermedades tropicales, violencia y accidentes de tránsito, pero el impacto humano de un terremoto es muy fuerte por la naturaleza repentina y concentrada de la catástrofe.

**Cuadro 1:
Pérdidas económicas directas
ocasionadas por terremotos, 1972-1990**

Ciudad, país y año	Pérdida US\$bn	PNB* US\$bn	Pérdida/PNB %
Managua (1972)	2.0	5.0	40.0
San Salvador (1986)	1.5	4.8	31.0
Guatemala 1976)	1.1	6.1	18.0
Montenegro, Yugoslavia 1979)	2.2	22.0	10.0
Manjil, Irán (1990)	7.2	100.0	7.2
Campania, Italia (1980)	45.0	661.8	6.8
Bucarest, Rumania (1977)	0.8	26.7	3.0
México, D.F, México (1985)	5.0	166.7	3.0
Armenia, Ex-URSS (1988)	17.0	566.7	3.0
Luzón, Filipinas (1990)	1.5	55.1	2.7
Kalamata, Grecia (1986)	0.8	40.0	2.0
Tangshang, China (1976)	6.0	400.0	1.5
Loma Prieta, EE. UU. (1989)	8.0	4,705.8	0.2

Producto Nacional Bruto correspondiente al año en que ocurrió el sismo.

FUENTE: Coburn y Spence (1992).

En efecto, el impacto social y económico de los terremotos en El Salvador es muy fuerte. El Cuadro 1 muestra las pérdidas económicas ocasionadas por sismos en diferentes países durante las décadas de los setenta y los ochenta. También se presenta la pérdida económica como porcentaje del PIB de cada país en el mismo año que el terremoto y se ve que los tres sismos con mayor impacto al nivel nacional han ocurrido en Centro América. Estos datos reflejan la alta sismicidad del istmo y la fragilidad de las economías pequeñas y concentradas de la región. Los efectos de un terremoto sobre el desarrollo de un país pueden ser grandes: estudios han mostrado que el deterioro de la economía de Nicaragua durante las décadas de los setenta y los ochenta tenía sus raíces en la deuda creada por el terremoto de Managua en 1972 (Coburn y Spence, 1992) y el manejo del desastre por la dictadura somocista (Bommer, 1985).

2.1 Tectónica y Sismicidad

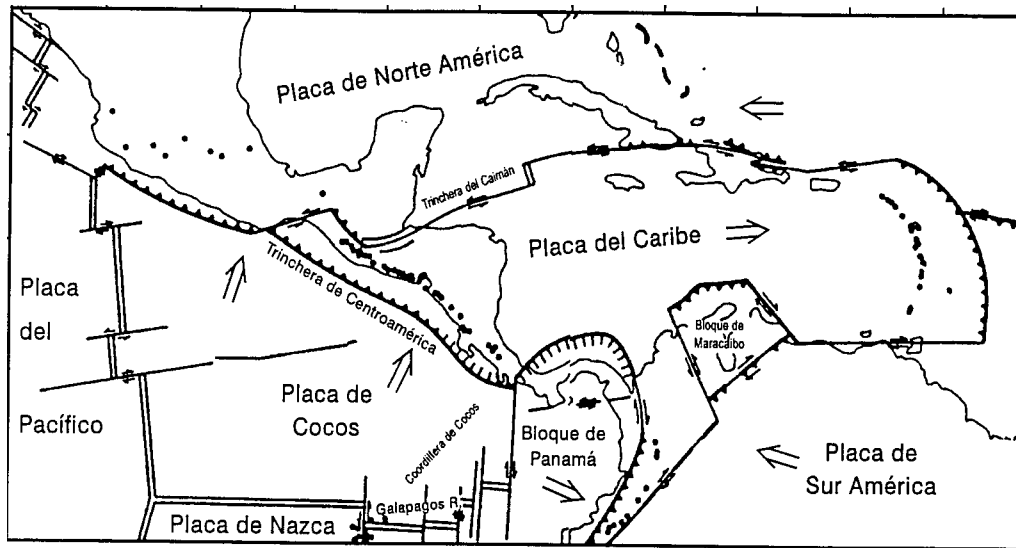
La superficie de la Tierra está conformada por capas de roca llamadas placas tectónicas, que en su conjunto conforman la litosfera, siendo de comportamiento grágil, ya que cuando llega a su límite elástico se fractura sin deformaciones plásticas. La litosfera se encuentra flotando sobre una capa “blanda” llamada astenosfera, de características plásticas y en estado de fusión parcial. El modelo de la **tectónica de placas** establece que estas placas se mueven relativamente una respecto a la otra, debido a las fuerzas producidas por las corrientes de convección del material viscoso en la astenosfera, que son el resultado de la disipación del calor en el interior de la Tierra, siendo este proceso la causa principal que generan los terremotos. Cuando una placa se sumerge debajo de otra, se da el fenómeno de la **subducción**, donde los focos de los terremotos pueden alcanzar profundidades hasta de 600 kms en la placa sumergida.

La tectónica de América Central y el Caribe es el resultado de la interacción de cinco placas tectónicas importantes, las cuales son la del Pacífico, la de Norte América, la de Cocos, la de Nazca y la de Sur América (Figura 1). La fuente principal de sismos que afecta a El Salvador es la fosa de subducción - localizada a unos 125 kms de la costa -, en donde la placa de Cocos empieza a sumergirse debajo de la placa del Caribe (Figura 2), llegando hasta profundidades arriba de 300 kms por debajo del istmo centroamericano (Dewey y Suárez, 1991). En esta zona se pueden generar eventos con magnitudes cercanas a 8.0, aunque según Ambraseys y Adams (1996) el nivel de actividad sísmica frente a las costas de El Salvador es menor que frente a las costas de Guatemala y Nicaragua. Dos terremotos asociados con esta fuente han causado considerables daños en El Salvador durante este siglo, el primero el 7 de septiembre de 1915 con el epicentro situado debajo del occidente del país con una magnitud de 7.7, y el segundo frente a las costas de El Salvador el 19 de junio de 1982, con una magnitud de 7.3 (apartado 2.4).

Recuadro 1 Magnitud de terremotos: Definición

Es una medida de la fuerza de un terremoto o más exactamente de la energía sísmica liberada, calculada en base a registros de las ondas sísmicas (sismogramas). La primera escala de magnitud la inventó Charles **Richter**. La escala de magnitud es logarítmica, por lo que un incremento de una unidad de magnitud corresponde a un aumento de 30 veces en la energía liberada, es decir, que por ejemplo un sismo de magnitud 7 libera casi mil veces más energía que un sismo con magnitud 5. Los terremotos más grandes han alcanzado magnitudes del orden de 8.5.

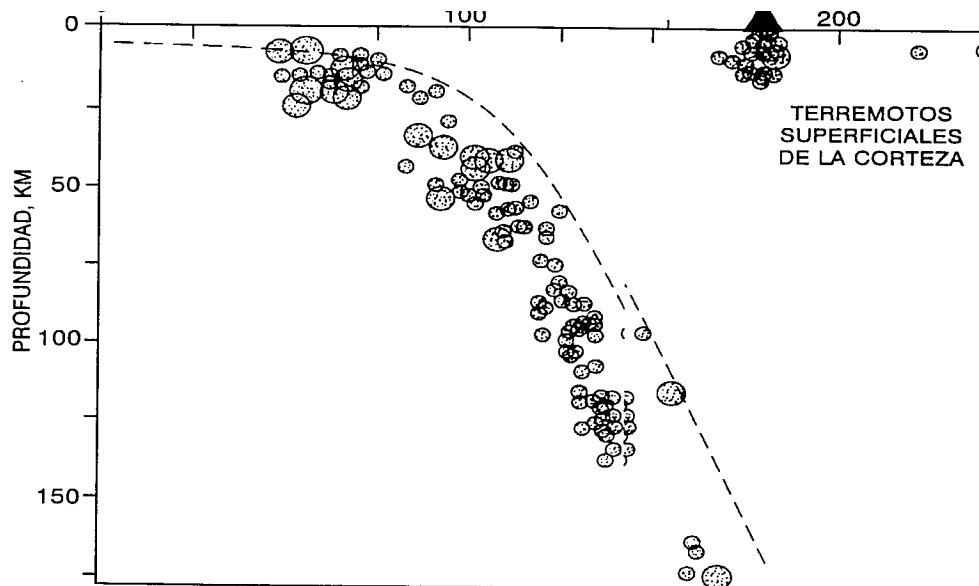
Figura 1
Tectónica de Centroamérica



Fuente: Weyl, 1980

Figura 2

Corte de la fosa de subducción para Nicaragua. Los círculos indican los focos de los terremotos y la línea punteada la parte superior de la placa de Cocos



Fuente: White y Harlow, 1993

Recuadro 2 Tectónica de Placas y Sismicidad

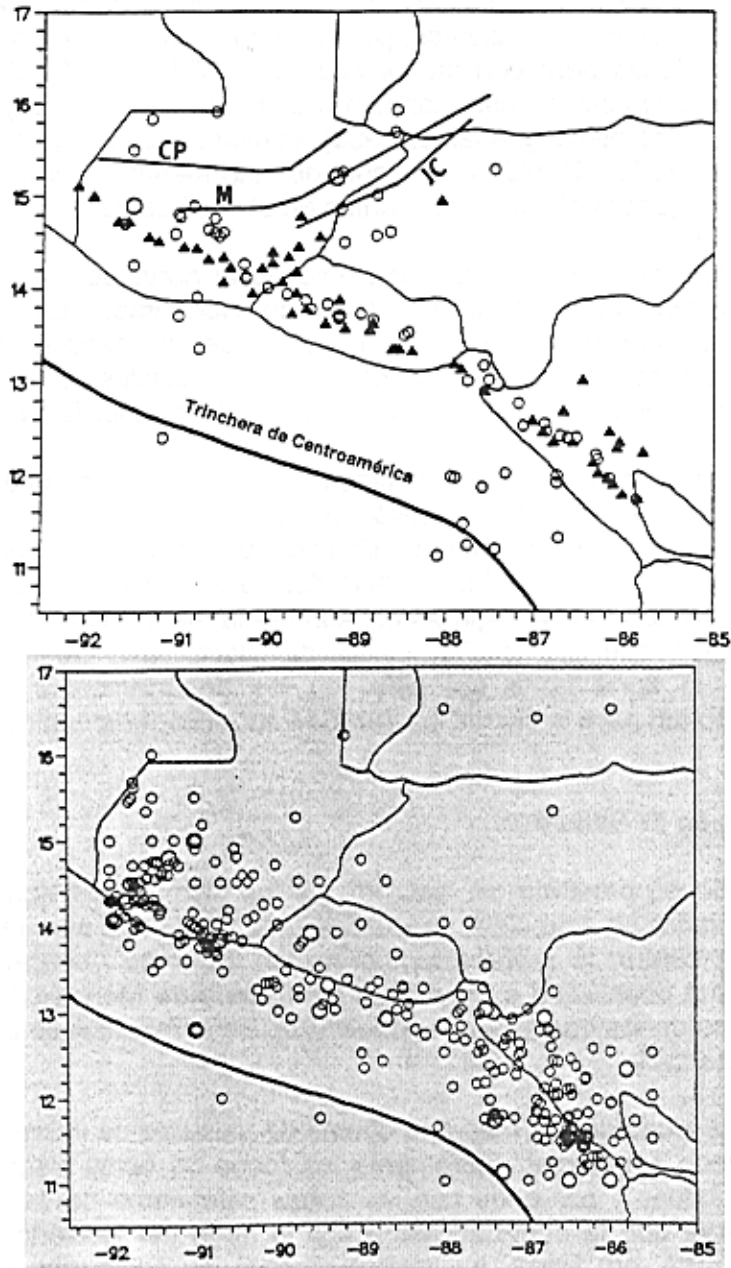
Los terremotos pueden ser clasificados como **entre-placas** e **intra-placas**. Los primeros son originados en los límites de las placas tectónicas como resultado de su movimiento relativo, un ejemplo de este tipo de terremotos son los que se originan en el sistema de fallas de Guatemala. Los segundos son los que ocurren lejos de los límites de las mismas y probablemente se deban a una reducción local de la resistencia del material de la litosfera que a un aumento del esfuerzo, siendo un ejemplo los terremotos que ocurren en la Depresión de Honduras.

La **sismicidad** es el nivel de actividad sísmica de una región, y se define por la ocurrencia de los terremotos en el espacio y en el tiempo, es decir que se determina conociendo a donde ocurren los terremotos, que magnitud tienen y con que frecuencia ocurren. Para ello, es necesario ordenar y recopilar datos sismológicos (provenientes de catálogos sísmicos locales e internacionales), datos históricos (relatos de terremotos anteriores a este siglo) y datos geológicos (estudios de la tectónica y la geología de la región). Una manera sencilla de representar la sismicidad, es mediante mapas que muestren la ubicación de los epicentros de los terremotos, para un período de tiempo determinado, un rango de magnitud y profundidad focal (Figura 3).

Otra fuente de actividad sísmica importante es la que está relacionada con la cadena de volcanes en Centro América que corre paralelamente a la fosa de subducción con una longitud total de aproximadamente 1,060 kms. Esta se extiende desde el volcán de Tacaná al este de Guatemala, hasta el volcán Irazú en la parte central de Costa Rica (Stoibber y Carr, 1974). La distancia promedio entre los 42 volcanes activos es de 25 kms, encontrándose entre los más cercanamente espaciados en el mundo, con alturas desde menos de 1,000 m hasta de 3,300 m. Debido a fuerzas generadas por una componente de colisión oblicua en la zona de subducción, los terremotos originados en la cadena son generalmente considerados como de origen tectónico (White, 1991), aunque en algunos casos han sido acompañados por erupciones volcánicas como los terremotos de San Salvador de 1671 y 1917. A pesar de que en esta zona los terremotos no alcanzan magnitudes por arriba de 6.5, son los que más destrucción ocasionan debido a foco superficial - menor a 25 kms - y su coincidencia con centros de población urbana. En Centroamérica alrededor del 50% de la población reside a lo largo de la cadena volcánica (Harlow y otros, 1993). Los últimos terremotos que han causado grandes daños en San Salvador asociados a esta fuente han sido los del 3 de mayo de 1965 y del 10 de octubre de 1986 con magnitud de 6.3 y 5.4 respectivamente (apartado 2.4).

Figura 3

Sismicidad de El Salvador y zonas aledañas 1898-1994. Los círculos pequeños son eventos con magnitud $5.0 < Ms < 7.0$ y los grandes son eventos con magnitud $Ms=7.0$. Arriba: sismicidad de carácter superficial (profundidad focal = 25Kms); los triángulos son volcanes y las líneas rectas indican fallas principales: CP = Chixoy Polochic, M = Motagua JC = Jocotán Chamelecón. Abajo: terremotos con profundidad focal >25 kms



Fuente: Bommer y otros, 1997^a.

Otra causa de actividad sísmica es la frontera entre la placa del Caribe y la de Norte América, donde esta última se está moviendo hacia el oeste, mientras la placa del Caribe se mueve hacia el este. Esta frontera cruza toda la parte central de Guatemala formando el sistema de fallas de Motagua y Chixoy-Polochic, continuando en el mar del Caribe en la fosa del Caimán (Figura 1). Existen otras fallas presentes como la de San Agustín y Jocotán-Chamelecón, para las cuales no hay evidencias geológicas de movimientos de desgarre recientes, pero se consideran como partes de la frontera entre estas dos placas pero con menor actividad (White, 1991). El 4 de febrero de 1976 ocurrió un terremoto en esta zona, con una magnitud de 7.5 y una profundidad menor a 10 kms (Ambraseys y Adams, 1996), causando graves daños en Guatemala, dejando 22,000 muertos. Debido a la lejanía de esta fuente sísmica con El Salvador, esta no genera efectos importantes en el nivel de riesgo.

La Depresión de Honduras es una zona ubicada al norte del territorio salvadoreño, cubriendo la mayor parte de la República de Honduras, conteniendo pequeños segmentos de fallas normales, la cual forma parte de una secuencia de grabenes *en echelon*. Los terremotos en esta zona son superficiales e infrecuentes, y no representan una amenaza sísmica importante para El Salvador (Sutch Osiecky, 1981).

También existe un área remota de sismicidad fuera de los límites entre las placas, que es asociada con una zona de extensión tectónica que es limitada por la cadena volcánica al suroeste, por el sistema de fallas de Guatemala al norte y por la Depresión de Honduras al este. Según White (1991) dos terremotos de magnitud mayor a 7 ocurrieron en esta zona en el siglo XVIII. Aunque la sismicidad de esta área es muy baja (pero mayor que en la Depresión de Honduras), puede causar efectos importantes en la zona norte del país, en los departamentos de Santa Ana y Chalatenango, no así para la ciudad de San Salvador (Bommer y otros, 1997b).

2.2 Los sismos en El Salvador.

En este apartado se presenta un resumen de los sismos que han causado graves daños en El Salvador en este siglo, proporcionando para cada uno de ellos la fecha, la ubicación del epicentro, la profundidad, el origen tectónico (fuente), la magnitud, la intensidad máxima observada en la escala Modificada de Mercalli (MM), y una breve descripción de los daños ocasionados (Cuadro 2). En el Recuadro 3 se presenta la escala modificada de Mercalli.

En la Figura 4, se muestra un mapa de curvas de isosistas - zonas que experimentan la misma intensidad durante un terremoto - de intensidad VII MM para terremotos de foco superficial. Claramente los focos de estos sismos coinciden con estructuras volcánicas, y por ende con las zonas cafetaleras del país (Rosa y Barry, 1995). Se observa que la actividad sísmica a lo largo del territorio en este siglo ha estado concentrada en áreas en ciertas zonas, al norte del departamento de Ahuachapán, en los alrededores del Lago de Coatepeque, en la capital de San Salvador y sus alrededores, cerca de la ciudad de San Vicente y entre el departamento de Usulután y San Miguel en las ciudades de Jucuapa y Chinameca.

Recuadro 3 **Escala de intensidad Mercalli Modificada (versión de 1956)**

Esta es una versión, presentada por Richter (1956). Para evitar ambigüedades del lenguaje, la calidad de la construcción, ladrillo u otro material, se especifica con las siguientes letras :

Construcciones A. Estructuras de acero y concreto reforzado, bien diseñadas, calculadas para resistir fuerzas laterales. Buena construcción, materiales de buena calidad.

Construcciones B. Estructuras de concreto reforzado, no diseñadas en detalle para resistir fuerzas laterales. Buena construcción y materiales.

Construcciones C. Estructuras no tan débiles como para fallar la unión de las esquinas, pero no reforzadas ni diseñadas para resistir fuerzas horizontales. Construcción y materiales corrientes.

Construcciones D. Construcciones de materiales pobres, tales como el adobe; baja calidad de construcción. No resistente a fuerzas horizontales.

Grados de intensidad

I No sentido.

II Sentido por personas en posición de descanso, en pisos altos o situación favorable.

III Sentido en el interior. Objetos suspendidos oscilan. Vibraciones como si pasara un camión ligero. Duración apreciable. Puede no ser reconocido como un terremoto.

IV Objetos suspendidos oscilan. Vibraciones como al paso de un camión pesado o sensación de sacudida como un balón golpeando las paredes. Automóviles parados se balancean. Ventanas, platos y puertas vibran. Los cristales tintinean. Los cacharros de barro se mueven. En el rango alto de IV, los tabiques y arazaones de madera crujen.

V Sentido al aire libre; se aprecia la dirección. Los que están durmiendo se despiertan. Los líquidos se agitan, algunos se derraman. Objetos pequeños inestables desplazados y volcados. Las puertas se balancean, se cierran y se abren. Contraventanas y cuadros se mueven. Los péndulos de los relojes se paran, comienzan a andar, cambian de período.

VI Sentido por todos. Muchos se asustan y salen al exterior. La gente anda inestablemente. Ventanas, platos y objetos de vidrio se rompen. Adornos, libros, etc. se caen de las estanterías. Los cuadros se caen. Los muebles se mueven o vuelcan. Los revestimientos débiles y las construcciones del tipo D se agrietan. Las campanas pequeñas suenan (iglesias, colegios). Árboles, arbustos sacudidos visiblemente.

VII Difícil de mantenerse en pie. Sentido por los conductores. Objetos suspendidos tiemblan. Muebles rotos. Daños a edificios del tipo D incluyen grietas. Las chimeneas débiles se rompen a ras del tejado. Caída de cielos rasos, ladrillos sueltos, piedras, tejas, cornisas, también antepechos no asegurados y ornamentos de arquitectura. Algunas grietas en edificios del tipo C. Olas en estanques, agua enturbada con barro. Pequeños corrimientos en arena o montones de grava. Campanas grandes suenan. Canales de cemento para regadío dañados.

VIII Conducción de los carros afectada. Daños en edificios de tipo C; colapso parcial. Algún daño a construcciones del tipo B; nada en edificios del tipo A. Caída de estuco y de algunas paredes de mampostería. Giro, caída de chimeneas, rimeros de fábricas, monumentos, torres, depósitos elevados. La estructura de las casas se mueve sobre los cimientos si no están sujetas; trozos de pared sueltos, arrancados. Ramas de árboles rotas. Cambios en el caudal o temperatura de fuentes y pozos. Grietas en suelo húmedo y pendientes fuertes.

IX Pánico general. Construcciones del tipo D son destruidas; edificios del tipo C seriamente dañados, algunas veces con colapso total; edificios del tipo B son daños importantes. Daños generales en los cimientos. Estructuras de armazón, si no están sujetas, desplazadas de los cimientos. Armazones arruinados. Daños serios en embalses. Tuberías subterráneas rotas. Amplias grietas en el suelo. En áreas de aluviones eyección de arena y barro, aparecen fuentes y cráteres de arena.

X La mayoría de las construcciones y estructuras de armazón destruidas con sus cimientos. Algunos edificios bien contruidos en madera y puentes, destruidos. Daños serios en presas, diques y terraplenes. Grandes corrimientos de tierras. El agua rebalsa las orillas de canales, ríos, lagos, etc. Arena y barro desplazados horizontalmente en playas y tierras llanas. Carriles torcidos.

XI Carriles muy retorcidos. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio.

XII Daño prácticamente total. Grandes masas de rocas desplazadas. Líneas visuales y de nivel deformadas. Objetos proyectados al aire.

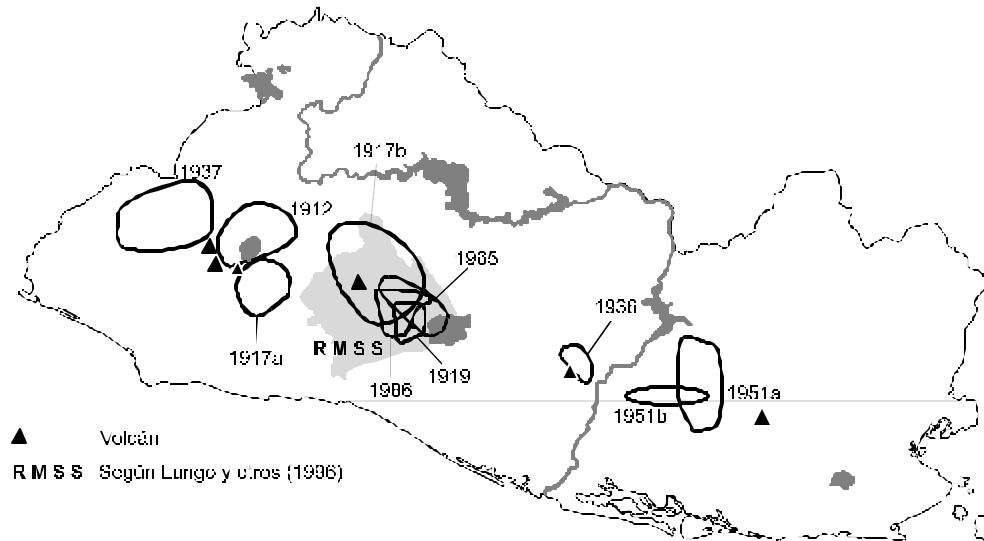
Cuadro 2.
Lista de Sismos Destruyores en El Salvador para este siglo.

Fecha	Hora (UTC)*	Latitud N (°)	Longitud O (°)	Profundidad (km)	Magnitud	Intensidad Máxima (MM)	Fuente	Descripción de daños
19 de julio de 1912	--	13.87	89.57	10	5.9	VII	Cadena Volcánica	Daños en Armenia, Izalco y Santa Ana (Grases, 1974)
7 de septiembre de 1915	01:20	13.90	89.60	60	7.7	IX	Subducción	Fuerte terremoto al occidente del país. Según Lardé, 1960, el evento alcanzó una intensidad de X en Juayúa y Salcoatitlán, ocasionando grandes pérdidas materiales. En Santa Ana el sismo causó 5 muertos. Daños en la porción Sur de Apaneca (Martínez, 1980).
8 de junio de 1917	00:51	13.82	89.31	10	6.7	VIII	Cadena Volcánica	Dstrucción de Armenia. Graves daños en Ataco, Sacacoyo y San Julián. 40 muertos, 100 heridos (White y Harlow, 1993).
8 de junio de 1917	02:54	13.77	89.50	10	5.4	VIII	Cadena Volcánica	Daños graves en San Salvador, Apopa, Nejapa, Quezaltepeque, Opico y Santa Tecla (Martínez, 1980). Más de 1,000 muertos y muchos heridos (White y Harlow, 1993).
28 de abril de 1919	06:15	13.69	89.19	10	5.9	VII-VIII	Cadena Volcánica	Graves daños en Soyapango, San Salvador, San Marcos y los alrededores del Cerro San Jacinto (Martínez, 1980). Se estimaron 100 víctimas, más de heridos y más de 1,000 damnificados (White y Harlow, 1993).
21 de mayo de 1932	10:10	12.80	88.0	150	7.1	VIII	Subducción	Víctimas fueron reportadas de los departamentos de La Paz y Usulután. En Zacatecoluca pequeñas casas colapsaron y otras fueron dañadas. El sismo fue sentido fuertemente en San Salvador, Sonsonate, Choluteca y Tegucigalpa, Honduras y causó pánico en ciudades de Nicaragua. También fue sentido en la ciudad de Guatemala y perceptible en el Distrito Federal de México y en Costa Rica (Ambrasey y Adams, 1996).
20 de diciembre de 1936	02:43	13.72	88.93	10	6.1	VII-VIII	Cadena Volcánica	Total destrucción de San Vicente y San Estebán, con fuertes y moderados daños en Iztepeque, Tepetitán, Santo Domingo y Santa Clara (Martínez, 1980). 100-200 muertos, 300 heridos y más de 1,000 damnificados.
25 de diciembre de 1937	23:50	13.93	89.78	10	5.9	VIII	Cadena Volcánica	Dstrucción de Ahuachapán y Atiquizaya. Daños graves y moderados en Turín, La Puerta, Junquillo, Palo Pique y Las Chinamas (Martínez, 1980).
6 de mayo de 1951	23:03	13.52	88.40	10	5.9	VIII+	Cadena Volcánica	Este sismo dañó el 10 % de las edificaciones en la ciudad de Jucuapa y sus alrededores (Martínez, 1980)
6 de mayo de 1951	23:08	13.52	88.40	10	6.0	VIII	Cadena Volcánica	Dstrucción completa de Jucuapa, con daños graves en Chinameca, San Buena Ventura y Nueva Guadalupe. Daños considerables en Lolotique, Santiago de María, Alegría, El Triunfo, Berlín, California y Tecapán (Martínez, 1978). Se estima más de 400 muertos, 1,100 heridos y 25,000 damnificados (White y Harlow, 1993).
3 de mayo de 1965	10:01	13.70	89.17	15	6.3	VIII	Cadena Volcánica	Graves daños en Soyapango, Ciudad Delgado e Ilopango. 110 víctimas, 400 heridos y 30,000 personas quedaron sin vivienda (Lomnitz y Schulz, 1966).
19 de junio de 1982	06:21	13.30	89.40	80	7.3	VII	Subducción	Terremoto sentido en toda la República de El Salvador, causando 8 muertos, 96 heridos, 5,000 damnificados (Lara, 1982).
10 de octubre de 1986	17:49	13.67	89.18	10	5.4	VIII-IX	Cadena Volcánica	Graves daños en la ciudad de San Salvador. 1,500 muertos, 10,000 heridos y 100,000 damnificados (Bommer y Ledbetter, 1987, Harlow y otros, 1993).

Fuente: Salazar y otros (1997). La latitud y la longitud se refiere al epicentro. Los datos de Intensidad Máxima fueron obtenidos a partir del estudio de Grases (1974), Alvarez (1982), Harlow y otros (1993) *UTC: es el Tiempo Universal Coordinado, es la hora del meridiano de Greenwich.

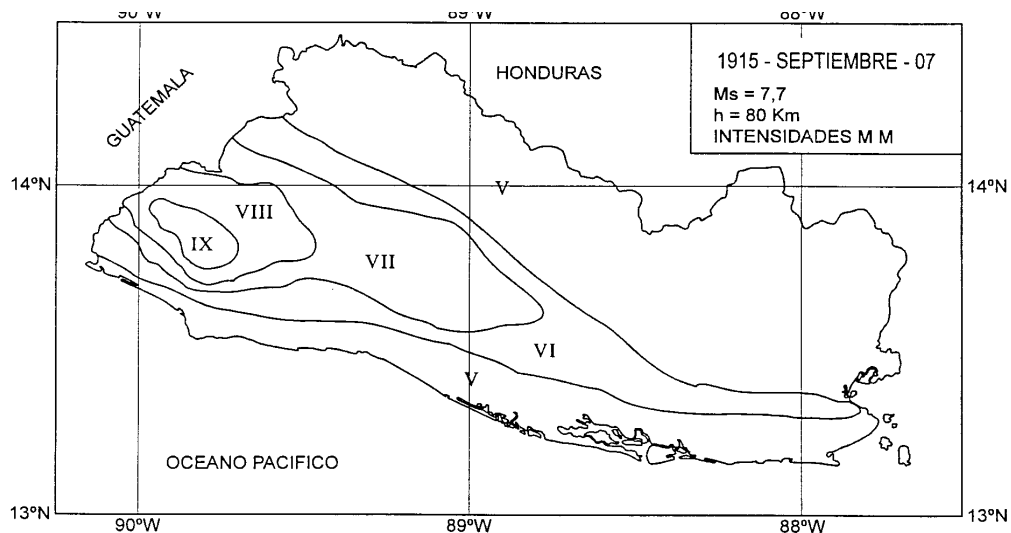
Esta última zona fue destruida por un terremoto en 1878 (Meyer-Abich, 1952) al igual que San Salvador que ha sufrido grandes daños en cinco ocasiones entre los años 1700-1900 debido a terremotos superficiales originados en la cadena volcánica (ver apartado 2.3). En la Figura 4 y 5 se muestra un mapa de isosistas para dos terremotos de la subducción en este siglo con fechas del 7 de septiembre de 1915 y del 19 de junio de 1982. A diferencia de las isosistas de los terremotos superficiales, se observa que los sismos de la subducción son sentidos en la mayoría del territorio nacional, pero con una intensidad menor.

Figura 4
El Salvador: Sismos superficiales de intensidad mayor que VII, desde 1900



Fuente: Harlow y otros, 1993.

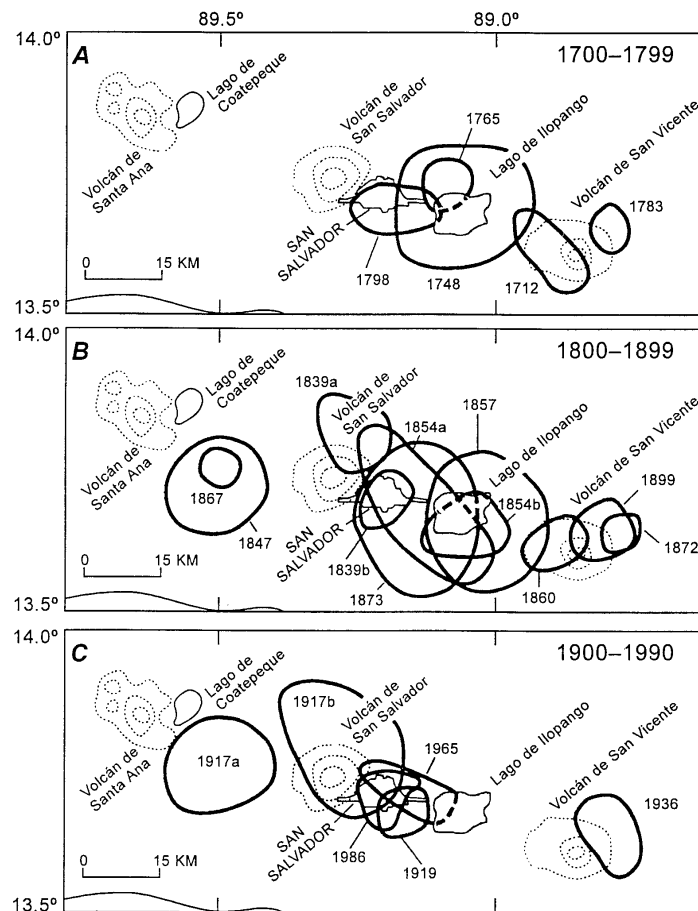
Figura 5
Mapa de isosistas del sismo del 7 de septiembre de 1915



Fuente: Grases, 1994.

En la Figura 6 se muestran los mapas de isosistas de sismos de foco superficial que han causado graves daños en San Salvador y sus alrededores de foco superficial desde 1700, observándose la alta concentración de actividad sísmica en esta región, con intervalos entre 2 y 50 años con un promedio de 30 años. Se observa que el patrón en las ubicaciones de los sismos destructores para este siglo para la parte central del país no cambia mucho con respecto a las ubicaciones de sismos destructores del siglo pasado (Figura 6B), confirmando que los sismos no están distribuidos aleatoriamente a lo largo del eje volcánico, sino que están asociados directamente con los centros volcánicos. La zona de Jucuapa y Chinameca, fue destruida por un terremoto en 1878 (Meyer-Abich, 1952), cuya isosista VII es idéntica a la del primer sismo de 1951, confirmandose de nuevo la concentración de la sismicidad en los centros volcánicos (Bommer y otros, 1997b). La ciudad de San Salvador y el área que linda con el Lago de Ilopango han sufrido grandes daños en nueve ocasiones entre los años 1700-1900 debido a terremotos superficiales originados en la cadena volcánica (apartado 2.4).

Figura 6
Mapas de contornos de isosistas con intensidad mayor o igual que VII MM para los años 1700-1799 (A), 1800-1899 (B), 1900-1990 (C)

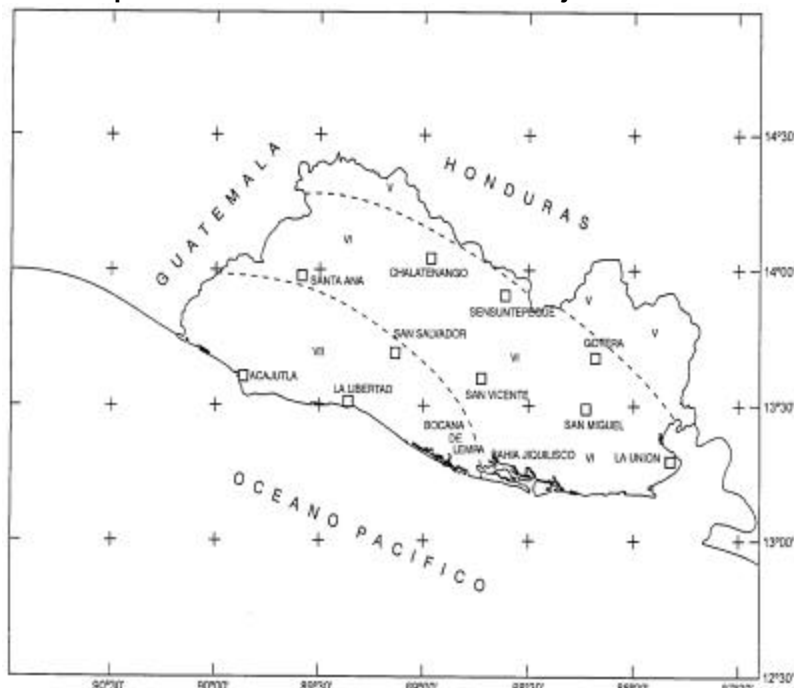


Fuente: Harlow y otros (1993)

En las Figura 5 y 7 se muestra un mapa de isosistas para dos terremotos de la subducción en este siglo con fechas del 7 de septiembre de 1915 y del 19 de junio de 1982. Estos dos sismos son representativos de las dos secciones de la fosa de subducción que ha sido identificados por Ambraseys y Adams (1996). En la zona frente a Guatemala ocurren sismos de elevada magnitud, como el sismo de 1915, que pueden generar intensidades altas dentro de El Salvador. A diferencia, la sección de la fosa frente a El Salvador y el Golfo de Fonseca es de mucha menor actividad y además los focos de los sismos están más remotos del territorio nacional; por tanto, los sismos grandes en esta zona, como el de 1982, no generan elevadas intensidades en El Salvador, aunque son sentidos más ampliamente que los sismos de la cadena volcánica. Los sismos de la cadena volcánica representan una amenaza muy elevada en zonas alrededor de los centros volcánicos y en general esta amenaza es de mayor importancia que la presentada por los sismos de la subducción. La excepción es la parte sur-occidental del país donde inciden los sismos generados en la sección guatemalteca de la fosa de subducción (Bommer y otros, 1997b). Sin embargo, el número de muertos provocados por los sismos de la zona de subducción es mucho menor que los causados por los sismos de la cadena volcánica, tanto en El Salvador como en otros países del istmo (White y Harlow, 1993).

Los terremotos originados en la zona de subducción como el de 1982, producen movimientos del terreno de relativamente de baja amplitud, pero de larga duración, mientras los originados en la cadena volcánica como los sismos de 1965 y 1986 producen movimientos de poca duración pero generan amplitudes apreciables. En la Figura 8, se muestran los registros de movimientos fuertes obtenidos en San Salvador para los sismos del 19 de junio de 1982 y el 10 de octubre de 1986, mostrando las diferencias entre los dos tipos de movimiento.

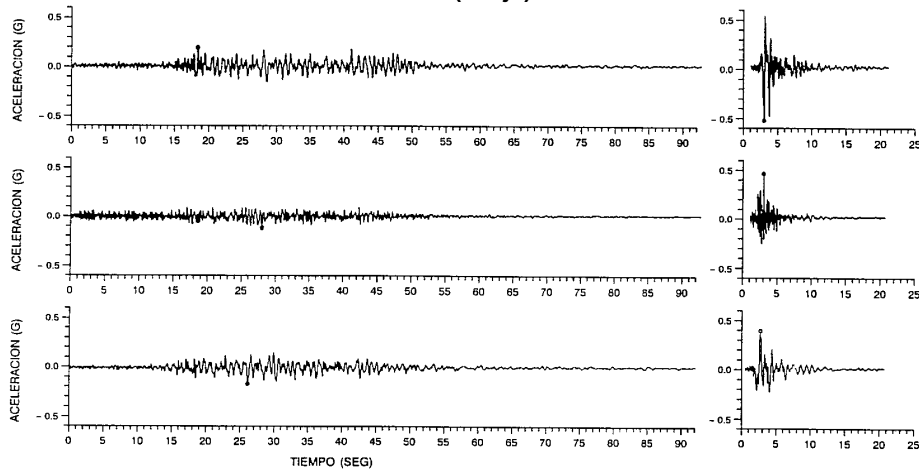
Figura 7
Mapa de isosistas del sismo del 19 de junio de 1982



Las intensidades pertenecen a la escala Modificada de Mercalli (MM)
 Fuente: Alvarez, 1982

Figura 8

Registros de movimiento fuerte obtenido en San Salvador para el terremoto de la subducción del 19 de junio de 1982 (izquierda) en el Observatorio Sismológico y el terremoto del 10 de octubre de 1986 (derecha) en el Instituto Geográfico Nacional. Componente longitudinal (arriba), vertical (al medio), transversal (abajo).



Fuente: Bommer y otros (1997^a)

2.3 Estudios de la amenaza sísmica en El Salvador.

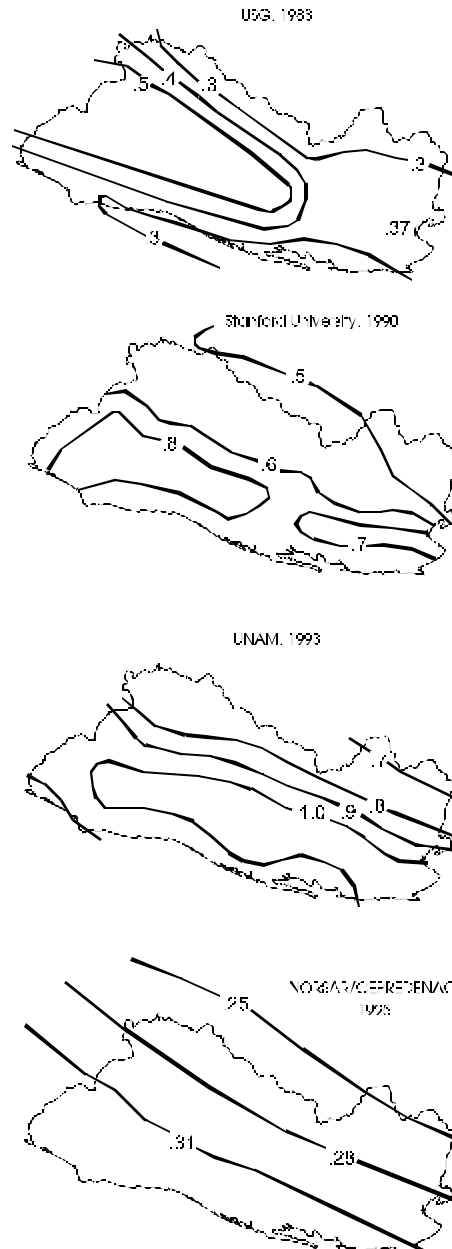
Hasta el momento se han desarrollado cuatro estudios de amenaza sísmica para El Salvador, elaborando mapas de isovalores para la aceleración máxima del terreno (Figura 9). Existen grandes diferencias entre los cuatro estudios tanto en la distribución geográfica y el nivel de amenaza sísmica, por ejemplo, se observa que el nivel de amenaza para San Salvador y Perquín que proporciona el estudio de Singh y otros (1993) en la Universidad Autónoma de México (UNAM) excede en dos y tres veces el valor que da el estudio de Algermissen y otros (1988) en el U.S. Geological Survey (USGS) respectivamente. Entre el estudio de Alfaro y otros (1990) realizado en la Universidad de Stanford, y el estudio de Lindholm y otros (1995) financiado por el Norway Seismic Array (NORSAR) y el Centro de

Recuadro 4 Amenaza Sísmica

La amenaza es una función de la magnitud del sismo y la distancia del punto hasta la fuente sísmica. El movimiento sísmico se mide con la aceleración máxima del terreno y se evalúa la amenaza sísmica en términos probabilísticos: es una práctica común definir la amenaza sísmica como la aceleración máxima del terreno con probabilidad del 90% de no ser excedida durante un periodo de 50 años, que corresponde a la vida útil de una estructura normal. Estos valores fueron utilizados por primera vez para estudios en los Estados Unidos (Algermissen Perkins, 1976) y han sido adoptados casi universalmente. Este nivel de amenaza corresponde al movimiento sísmico que tiene un periodo de retomo (un intervalo promedio entre eventos) de 475 años (Bommer, 1996). Un mapa de amenaza se construye evaluando la amenaza en una serie de puntos y trazando curvas de igual nivel de aceleración. Tales mapas además de identificar las áreas de mayor peligro para fines de planificación, establecen los niveles de aceleración que se debe considerar en el diseño sísmico (Bommer, 1996.)

Prevención para los Desastres Naturales en Centroamérica (CEPREDENAC), se observan también grandes diferencias en el nivel de amenaza para San Salvador, siendo tres veces mayor el nivel que propone el primer estudio al que propone el segundo.

Figura 9
Mapas de peligrosidad sísmica
para El Salvador



Las curvas de isoaceleración se encuentran como proporción de la gravedad (g) y corresponden a un período de retorno de 475 años.

Fuente: Bommer y otros, 1996.

Una revisión comparativa de estas evaluaciones de amenaza muestra que las diferencias entre ellos se deben a las incertidumbres asociadas con los datos de entrada, es decir, con la base de datos de movimientos fuertes y los datos sismológicos disponibles para Centroamérica (Bommer y otros, 1996). La falta de calidad de los datos para Centroamérica incide en las incertidumbres para la derivación de las relaciones de atenuación para el movimiento fuerte, la delimitación de las fuentes sismogénicas y la selección de valores apropiados de las magnitudes máximas (Bommer y otros, 1997b). Ninguno de estos estudios ha considerado las características y los efectos de sitio y además no reflejan la actividad sísmica concentrada en el territorio debido a los sismos de la cadena volcánica.

2.4 Impacto de los sismos en la Región Metropolitana de San Salvador.

La ciudad de San Salvador en los últimos tres siglos ha sido fuertemente dañada por 14 terremotos, nueve de ellos asociados con la cadena volcánica y los cinco restantes con la fosa de subducción del Océano Pacífico. En el Cuadro 3 se presentan la fecha y la magnitud de los sismos asociados a cada una de estas fuentes.

Cuadro 3
Lista de sismos que han causado grandes daños a la ciudad de San Salvador desde 1700.

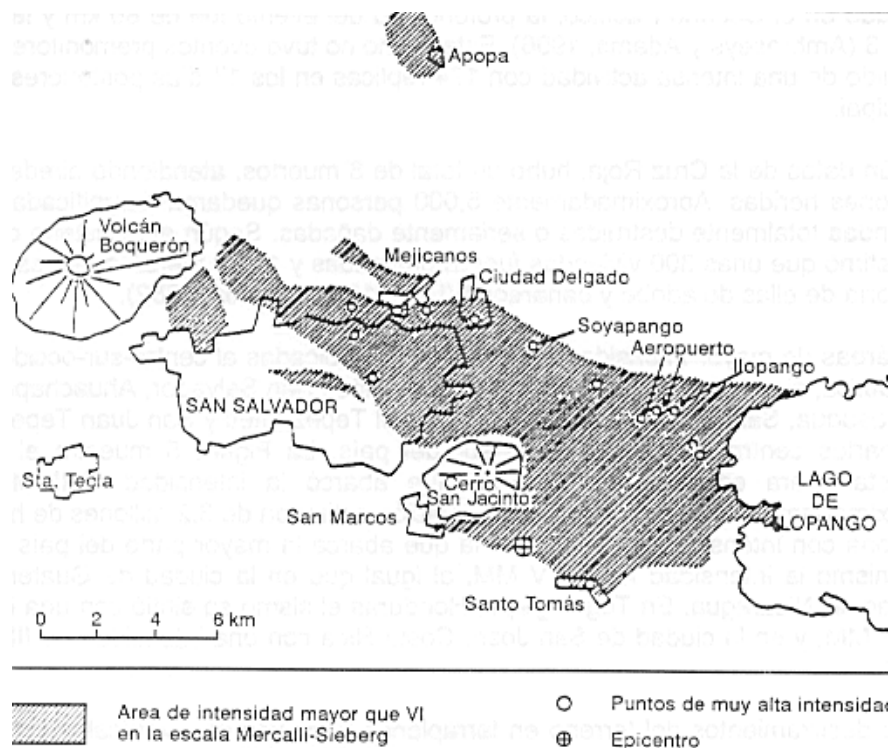
Fecha	Magnitud	Fuente	Referencia
6 de marzo de 1719	7.0	Subducción	Grases (1994), Martínez (1980)
3 de marzo de 1748	6.4	Cadena Volcánica	Harlow y otros (1993)
30 de mayo de 1776	7.5	Subducción	Grases (1994), Lardé (1969b)
2 de febrero de 1798	6.2	Cadena Volcánica	Harlow y otros (1993), Grases (1994), Martínez (1980), Lardé (1969b)
1 de octubre de 1839	5.9	Cadena Volcánica	Harlow y otros (1993), Martínez (1980), Lardé (1969b)
16 de abril de 1854	6.6	Cadena Volcánica	Harlow y otros (1993), Grases (1994), Martínez (1980), Lardé (1969b)
8 de diciembre de 1859	7.3	Subducción	Grases (1994), Martínez (1980), Lardé (1969b)
4 de marzo de 1873	6.4	Cadena Volcánica	Harlow y otros (1993), Grases (1994), Martínez (1980), Lardé (1969b)
7 de septiembre de 1915	7.7	Subducción	Grases (1994), Jordan y Martínez (1978), Lardé (1969b), Salazar y otros (1997)
8 de junio de 1917	6.7	Cadena Volcánica	Harlow y otros (1993), Grases (1994), Martínez (1980), White y Harlow (1993), Salazar y otros (1997)
28 de abril de 1919	5.9	Cadena Volcánica	Harlow y otros (1993), Grases (1994), Martínez (1980), White y Harlow (1993), Salazar y otros (1997)
3 de mayo de 1965	6.3	Cadena Volcánica	Harlow y otros (1993), Grases (1994), Martínez (1980), White y Harlow (1993), Salazar y otros (1997)
19 de junio de 1982	7.3	Subducción	Ambrasey y Adams (1996), Lara (1982), Alvarez (1982), Salazar y otros (1997)
10 de octubre de 1986	5.4	Cadena Volcánica	Harlow y otros (1993), Grases (1994), White y Harlow (1993), Salazar y otros (1997)

A continuación se presenta un resumen de los aspectos sismológicos, los efectos materiales, humanos, sociales y económicos de los terremotos del 3 de mayo de 1965, el 19 de junio de 1982 y el 10 de octubre de 1986, destacando los factores principales que contribuyeron al nivel de daño, especialmente efectos locales y la acumulación de daños producidos por sismos sucesivos.

2.4.1. El terremoto del 3 de mayo de 1965.

A las 4 horas con 1 minuto (hora local), San Salvador fue gravemente dañada por un sismo, afectando principalmente las zonas de Soyapango, Ciudad Delgado e Ilopango, causando la muerte de 110 personas, 400 heridos y dejando 30,000 personas sin vivienda (Lomnitz y Schulz, 1966). El epicentro del sismo fue ubicado a unos pocos kilómetros al S-E de la ciudad, con una latitud de 13.70°N una longitud de 89.17° O, una profundidad de 15 kms y una magnitud 6.0 (White & Harlow, 1993). La extensión de los daños fue ubicada en un radio aproximadamente de 15 kms en una región densamente poblada que incluyó la ciudad de San Salvador y sus alrededores. Este terremoto fue precedido por una alta actividad sísmica de tres meses de duración, registrándose más de 600 terremotos por día en Febrero y Mayo en la estación sismográfica de San Salvador (SSS) (Lomnitz y Schulz, 1966). Los efectos del sismo fueron investigados por una misión de reconocimiento de la UNESCO, debido a la petición del Gobierno de El Salvador.

Figura 10
Area afectada por el sismo del 3 de mayo de 1965



Fuente: Lomnitz y Schulz, 1966

La Figura 10 muestra el área afectada por este sismo. El área sombreada indica las regiones de Intensidad máxima (VI-VII) en la escala donde se encuentran puntos específicos en donde se alcanzó o se excedió la Intensidad de VIII. Es importante mencionar que un valor de Intensidad en la escala Modificada de Mercalli puede ser obtenido a partir de la escala Mercalli-Sieberg entre el rango IV y VIII restando una unidad (Murphy y O'Brien, 1977). Se observó que las zonas de mayor intensidad se encontraron alejadas de la zona epicentral, la cual se ubicó en una región de rocas volcánicas, mientras la zona de máximas intensidades se encontró localizada en los depósitos de tierra blanca. Esta característica destaca la incidencia de la geología en el movimiento del terreno durante la acción de un sismo.

Al este del Lago de Ilopango existe una región de barrancos erosionables llamados arenales con paredes inclinadas de 90 a 120 metros de profundidad, en los cuales se observaron movimientos y asentamientos debido a la saturación parcial del suelo y a la acción de la sacudida. Numerosos deslizamientos en cortes artificiales y naturales de tierra blanca fueron observados durante la actividad sísmica de febrero, durante y después del evento principal. Hubo casos puntuales de licuefacción en las cercanías de las orillas del Lago de Ilopango y asentamientos en rellenos artificiales no compactados.

El colapso de las casas tradicionales de adobe y bahareque fue la causa de la mayoría de muertes en el sismo, ya que el adobe es un material pobre para la resistencia sísmica, debido al hecho que es muy pesado y ofrece poca resistencia. Aunque el bahareque en sí tiene un buen comportamiento sísmico, el uso de tejados pesados aumenta su vulnerabilidad y debido a la deforestación se utilizan hoy en día maderas con calidad inferior. Ambos sistemas constructivos se deterioran rápidamente debido a la pérdida del repello y a la consiguiente erosión del adobe por falta de mantenimiento, y también el daño del refuerzo debido a la acción de la interperie, insectos y roedores (Bommer, 1996).

En edificaciones de concreto reforzado, algunas estructuras fueron dañadas y pocas colapsaron. La causa de los daños se atribuyeron principalmente a la utilización de coeficientes sísmicos demasiado pequeños para estructuras rígidas ignoradas en el análisis, exceso de resistencia en ciertos niveles, escasez de refuerzo transversal en columnas, anclajes insuficientes, empleo de materiales defectuosos, y detalles defectuosos de doblez del refuerzo. Las secciones de elementos estructurales de marcos paralelos entre sí diseñaron ignorando la diferencia en solicitaciones, a que se despreciaron en el análisis muros de mampostería ligados a los marcos y a que no se dejaron holguras amplias en juntas de construcción. Ambos factores causaron torsiones imprevistas, y el segundo originó choques (Rosenblueth y Prince, 1966).

2.4.2 El terremoto del 19 de junio de 1982.

A las 0 horas con 21 minutos (hora local) un fuerte sismo fue sentido en toda la República de El Salvador. Las coordenadas del epicentro fueron 13.30°N, 89.40°O ubicado en el Océano Pacífico, la profundidad del evento fue de 80 km y la magnitud de 7.3 (Ambraseys & Adams, 1996). Este sismo no tuvo eventos premonitores pero fue seguido de una intensa actividad con 174 réplicas en los 17 días posteriores al evento principal.

Según datos de la Cruz Roja, hubo un total de 8 muertos, atendiendo un promedio de 96 personas heridas. Un promedio de 5,000 personas quedaron damnificadas con sus viviendas totalmente destruidas o seriamente dañadas. Según el Ministerio del Interior se estimó que unas 300 viviendas fueron destruidas y 1,330 fueron dañadas, siendo la mayoría de ellas de adobe y bahareque (Lara, 1983; Alvarez, 1982).

Las áreas de mayor intensidad (VII MM) fueron ubicadas al centro-sur-occidente de la República, siendo las ciudades con mayores daños San Salvador, Ahuachapán, Ataco, Comasagua, San Pedro Nonualco, San Miguel Tepezontes y San Juan Tepezontes. La Figura 5 muestra un mapa de isosistas para dicho evento. El área que abarcó la intensidad VII MM es de aproximadamente 5200 km² con una población estimada de 3.2 millones de habitantes. La zona con intensidad de VI MM es la que abarca la mayor parte del país y al norte del mismo la intensidad fue de V MM, al igual que en la ciudad de Guatemala y en Managua, Nicaragua. En Tegucigalpa, Honduras el sismo se sintió con una intensidad de IV MM, y en la ciudad de San José, Costa Rica con una intensidad de III (Alvarez, 1982).

Hubo deslizamientos del terreno en terraplenes y taludes casi verticales conformados por ceniza volcánica que obstruyeron el paso de algunas carreteras secundarias, como fue el caso de la carretera que conduce a Apopa (Troncal del Norte), y la carretera que conduce a Comasagua. Es importante mencionar que la mayoría de zonas en donde se localizaron los mayores daños en construcciones de adobe y bahareque, o donde hubieron deslizamientos de tierras, se encuentran ubicadas en zonas donde existe la tierra blanca.

El comportamiento de las construcciones de ladrillo o concreto fue en general satisfactorio, sufriendo daños aquellas en las cuales hubo una mala ejecución de la obra, careciendo de elementos de refuerzo y/o utilizando materiales inadecuados para la construcción, ejecutando la obra sin adecuada supervisión. Según Alvarez (1982) a nivel ministerial se formó una comisión técnica de ingenieros estructurales con el nombre de “Comisión Nacional de Evaluación de Daños Estructurales en Edificios Públicos y Privados”, que elaboró un estudio de dichos daños. En el cuadro 4 se presenta una lista de edificaciones dañadas por este sismo, sin presentar nombres específicos de los mismos.

2.4.3 El terremoto del 10 de octubre de 1986.

El terremoto del 10 de octubre de 1986 ocurrió a las 11 horas, 49 minutos (hora local), con una magnitud de 5.4, con una profundidad de 10 kms y el epicentro ubicado en las coordenadas 13.67°N y 89.18°O a pocos kilómetros de la ciudad de San Salvador (White & Harlow, 1993). La máxima intensidad en San Salvador fue de VIII-IX MM. Este sismo dejó un total de 1,500 muertos, 10,000 heridos y 100,000 damnificados (Bommer & Ledbetter, 1987; Harlow y otros, 1993). A las 5:25 p.m. del 13 de octubre una fuerte réplica produjo pánico en toda la ciudad pero causando pocos daños.

El total de los daños, incluyendo la pérdida en la producción, fue estimada entre \$1.5 y 2.0 billones de dólares. Una indicación del gran daño ocasionado por este terremoto puede ser medido examinando la razón de la pérdidas económicas directas y el PNB correspondiente al año en que ocurrió el sismo. Antes del terremoto había un desempleo urbano del 19% y un alto subempleo del 58% (Bommer y Ledbetter, 1987), y 38,100 empleos fueron perdidos por causa del mismo (Guinea y otros, 1995). El impacto fue incrementado por las pérdidas en las cosechas debido a la sequía en años recientes y por los seis años de guerra que dejó 60,000 víctimas. En 1985 la inflación en El Salvador llegó al 22%, y en los primeros seis meses de 1986 alcanzó el 34% , siendo el terremoto un factor que incrementó grandemente la crisis económica del país.

El Ministerio de Planificación reportó que aproximadamente 23,000 casas de bahareque fueron destruidas en el terremoto y 30,000 fueron fuertemente dañadas, resultando 10,000

personas heridas y 300,000 damnificadas, regresando a otras partes del país de donde habían migrado durante los años de la guerra (Bommer y Ledbetter, 1987).

El impacto en el sistema de salud debido al desastre fue muy grande, obligando a las autoridades de salud a promover la descentralización y reestructuración de los servicios hospitalarios. Se estimó el costo de estos proyectos en \$121 millones, los costos de reposición de los hospitales se estimaron en \$70,000 por cama, y para la reparación el costo fue del 30% de valor de reposición (\$21,000) (Vargas, 1996). En las instalaciones del Instituto Salvadoreño del Seguro Social (ISSS), básicamente todas las edificaciones hospitalarias del AMSS, sufrieron daños estructurales severos, como el caso del Hospital General, el Consultorio de Especialidades, el Hospital 1º de mayo, el Neumológico y el Psiquiátrico, y varias unidades médicas. El número de camas antes del terremoto era de 711, disminuyendo a 277 después del evento (Mejía, 1996). En los tres días siguientes del terremoto, los hospitales y clínicas del Ministerio de Salud reportaron 4,789 casos de emergencias (Durkin, 1987).

El terremoto principal produjo cientos de deslizamientos y derrumbes en un área al menos de 200 km², delimitada por la cadena costera, el cerro San Jacinto y el cerro de Mariona en la dirección N-S, y el Volcán de San Salvador y el Lago de Ilopango en la dirección E-O. La mayoría de deslizamientos y derrumbes ocasionados por el terremoto fueron generalmente pequeños (con un volumen menor a los 100 m³) en cenizas volcánicas poco consolidadas, localizados en cortes inclinados de carreteras y taludes naturales y artificiales en barrancas. El deslizamiento de tierra más grande tuvo un volumen entre los 300 y 1000 m³ destruyendo tuberías de agua potable y las cimentaciones de varias casas (localidad 7 en Figura 10). Los deslizamientos y derrumbes de roca fueron comunes en cortes de carreteras en los alrededores de la montañas de San Salvador, siendo muy pequeños no causando daños significativos, pero sin embargo causando una interferencia en el tráfico vehicular (Rymer, 1987).

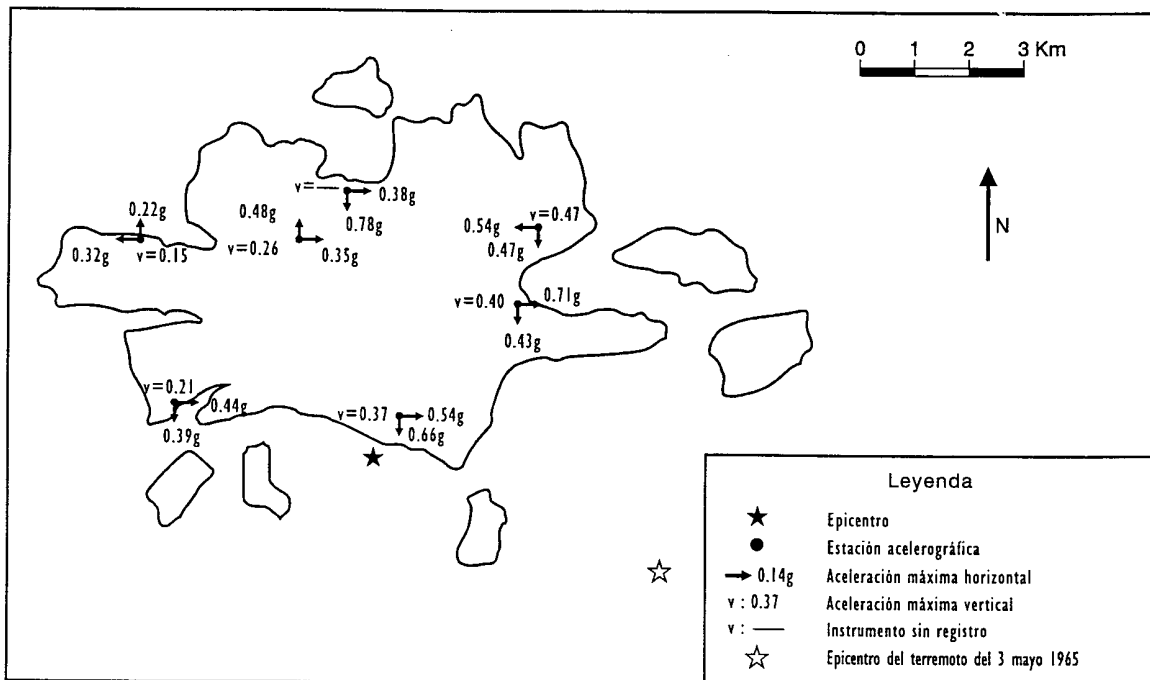
Debido a la necesidad de incrementar el área de construcción en el Area Metropolitana de San Salvador, numerosas barrancas profundas han sido rellenadas durante años (Scmith-Thomé, 1975), y la compactación pobre en las zonas de relleno provocó asentamientos del terreno causando graves daños. Una gran porción del el campo del colegio Externado San José fue hecha 20 años antes del terremoto, rellenando 15 metros una barranca. Como resultado de la compactación del relleno durante el evento, un desplazamiento diferencial del orden de 18 centímetros. ocurrió en el campo de fútbol. Otro caso es el edificio del Colegio Guadalupano, que sufrió daños severos a raíz del asentamiento de relleno. Adicionalmente, se produjo un asentamiento en un talud modificado situado en las proximidades de la cancha de fútbol en la Universidad de El Salvador (localidad 10 en Figura 18), y un asentamiento que se inició en el terremoto del 3 de mayo de 1965, dañó una carretera, estimándose el volumen de este asentamiento en 30,000 m³ (localidad 11 en Figura 10). También se observaron asentamientos en la urbanización la Metrópolis (comunicación personal, Ing. Rivas Durán, marzo 1997). Adicionalmente, en los rellenos adyacentes a los puentes se observaron asentamientos del orden de seis centímetros (Melara, 1987).

Tres días después del terremoto la Cámara Salvadoreña de la Construcción (CASALCO) reportó daños en 75 edificios de 3 o más pisos. Claramente muchos de los edificios dañados por los sismos del 3 de mayo 1965 y el de junio de 1982 no fueron reparados ni reforzados adecuadamente y por ende no ofrecieron resistencia a la intensa sacudida de este evento (Bommer y Ledbetter, 1987). Es de destacar el caso del edificio Rubén Darío en

donde murieron unas 300 personas, y el Gran Hotel San Salvador donde murieron 12 personas.

En la Figura 11 se muestran las aceleraciones máximas registradas en las diferentes estaciones acelerográficas en San Salvador. Todos los acelerógrafos estaban instalados en edificios de 1 a 10 niveles, excepto el instrumento del Observatorio Nacional, el más cercano al epicentro. Desgraciadamente, una sección del registro en esta estación no es legible ya que la película se travó y salió negra la parte que pudo contener la sacudida más fuerte (Shakal y otros, 1987). Por ende, la aceleración máxima en esta estación probablemente fue más alta que los valores reportados. Reproducciones de los nueve acelerogramas son presentadas por Shakal y otros (1986).

Figura 11
Aceleraciones del terreno registradas durante el sismo de 1986



Fuente: Bommer y Ledbetter (1987)

III

AMENAZA SISMICA EN LA RMSS

El Capítulo anterior mostró que existe una clara concentración de actividad sísmica en buena parte de la RMSS y que la amenaza asociada con los sismos en esta zona aumenta debido a las características topográficas y geológicas. Este Capítulo identifica cada uno de los elementos geológicos que contribuye a la amenaza sísmica en la RMSS, incluyendo una visión de la información disponible actualmente acerca de su distribución espacial y sus características, utilizando el Sistema de Información Geográfico (SIG).

3.1 Fuentes sísmicas

La evaluación de amenaza sísmica en un lugar necesariamente comienza con la ubicación de las fallas geológicas en la región y la identificación de su nivel de actividad. Esta información sirve dos propósitos: en primer lugar, permite la definición de zonas donde no se debe construir por el peligro de ruptura de una falla en el supuesto que ésta alcance la superficie; en segundo lugar, para identificar las posibles fuentes de futuros sismos. El mapa geológico de El Salvador identifica varias fallas que cruzan la RMSS, las cuales se muestran en la Figura 13, junto con la geología de la región. Estas fallas pueden ser agrupadas según su edad y su orientación: las más antiguas se orientan E-O; las fallas más jóvenes tienen orientación NO-SE y NE-SO; las fallas con orientación N-S con más dificultades de trazar y tienen poca extensión.

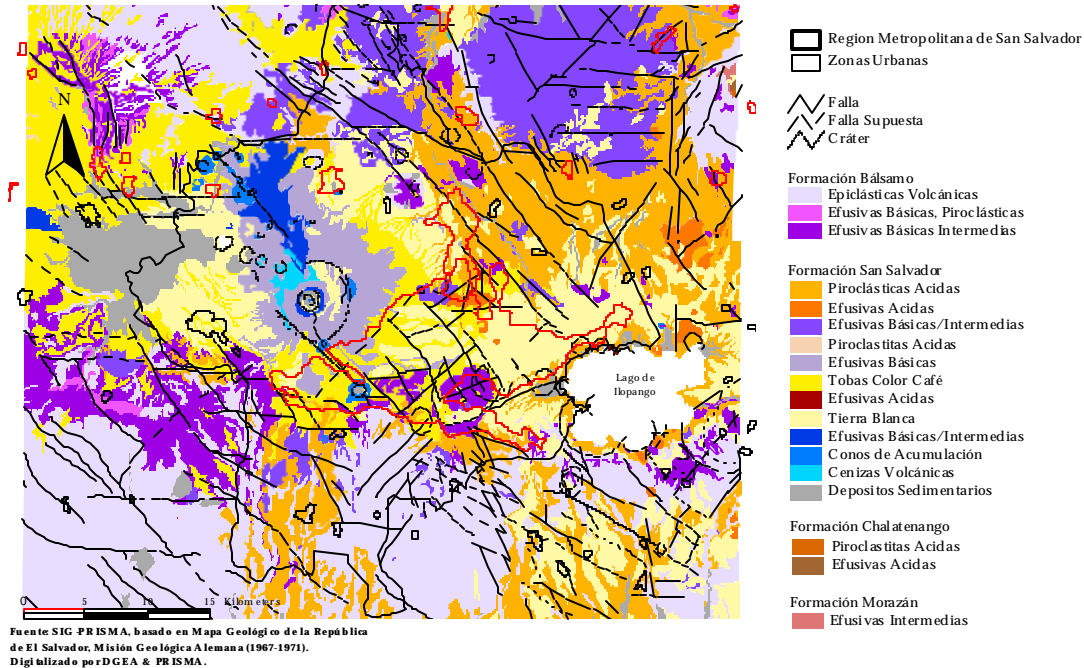
Recuadro 5 Fallas Geológicas y terremotos

Un terremoto o un sismo puede ser definido como vibraciones del terreno causadas por el paso de ondas sísmicas irradiadas desde una fuente de energía elástica. En el caso de sismos volcánicos - que siempre son de relativamente pequeña magnitud - la sacudida puede ser generada por la acumulación excesiva de presión de gases en la cámara volcánica o por la deceleración repentina de un movimiento de magma. Generalmente, un terremoto es el resultado de una liberación súbita de energía elástica, acumulada en la litosfera debido al movimiento relativo entre placas tectónicas. Esta liberación de energía de las rocas deformadas está desencadenada por la ruptura de una falla geológica, que es un plano o una zona de debilidad dentro de la corteza terrestre.

Durante la acumulación de energía generada por las deformaciones tectónicas, las dos caras de una falla se mantienen juntas debido a la fricción y el contacto entre las irregularidades de sus superficies. Cuando la deformación de las rocas corticales excede la resistencia de la falla, se inicia la ruptura en un punto sobre el plano de la falla que se denomina **foco** o **hipocentro**. El punto sobre la superficie terrestre directamente encima del foco se conoce como el **epicentro**. Entonces la ruptura se propaga a lo largo de la falla con una velocidad del orden de 2 km/segundo. La longitud de la ruptura puede ser de unos pocos kilómetros hasta centenares de kilómetros para los terremotos más grandes. Mientras se rompe la falla, los dos lados tienen a saltar hacia posiciones originales antes de ser deformados por las fuerzas tectónicas. Este salto de la corteza, conocido como el **rebote elástico**, libera la energía acumulada en las rocas en forma de ondas elásticas que se irradian en todas direcciones desde la falla. Estas ondas constituyen el terremoto. La parte de una falla que experimentan ruptura se puede llamar **fuentes sísmicas**. A medida que las ondas viajan con la distancia desde la fuente sísmica, se disipa la energía que llevan por la absorción y la dispersión, y como consecuencia se hace más débil y menos dañina la sacudida. Por tanto, la amenaza sísmica para una zona entonces necesita identificar la ubicación de las fallas geológicas en la región y su nivel de actividad. La existencia de fallas geológicas no implica automáticamente amenaza sísmica porque muchas fallas no están afectadas actualmente por deformaciones tectónicas y por tanto no están acumulando energía que podría ser liberada en forma de un terremoto.

Figura 13

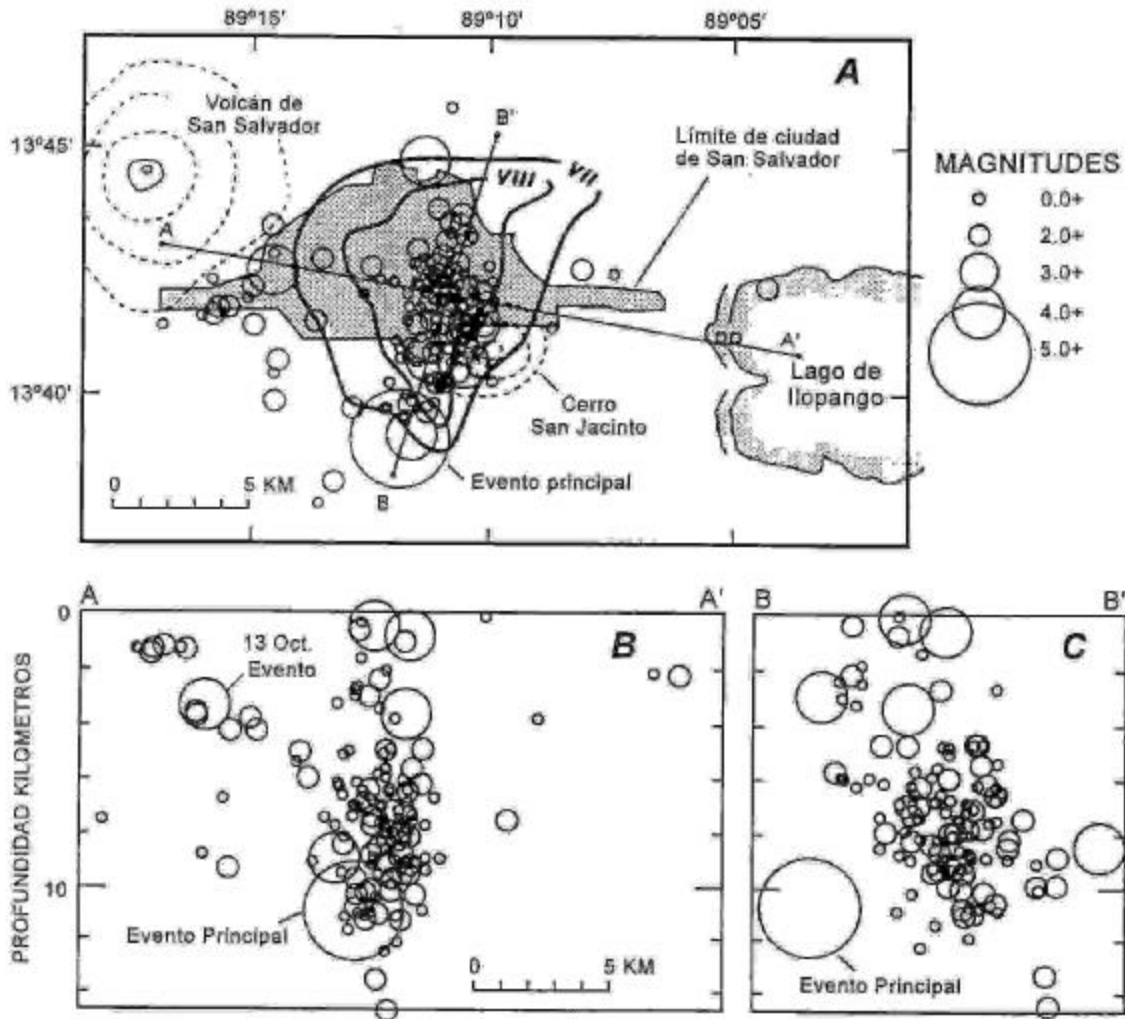
Mapa Geológico de la Región Metropolitana de San Salvador



No es siempre posible identificar la falla que causa un terremoto. Por ejemplo, el cálculo sísmográfico de la orientación de la ruptura que causó el sismo del 10 de octubre de 1986 (Harlow y otros, 1993) no coincide claramente con ninguna falla mostrada en el mapa geológico (Figura 14). Cabe mencionar que los hipocentros que se muestran en esta Figura, confirman la ubicación de la falla causativa del sismo y esta orientación también fue confirmada por los cálculos del mecanismo focal. Al mismo tiempo, si se infiere la orientación de la ruptura siguiendo la forma de la isosistas que el terremoto produjo, el registro histórico de sismos alrededor de San Salvador indica que varias fallas activas inciden en la sismicidad de la zona (Harlow y otros, 1993) y es posible que los cuatro sistemas de fallas han generado sismos en diferentes momentos (Rymer, 1987).

Figura 14

Mapa que muestra el evento principal y las réplicas (círculos abiertos) y los contornos de las curvas isositas de intensidad VII y VIII (MM) para el sismo del 10 de octubre de 1986. El rumbo del corte B-B, es la orientación (N32°W) de la ruptura que causó el evento principal



Fuente: Harlow y otros (1993)

Un estudio de amenaza sísmica para la RMSS debe incluir una nueva investigación de la ubicación y la actividad de las fallas geológicas en la zona. Sin embargo, aunque esto es importante parece que no hay mayor peligro de daños resultando directamente de la ruptura de fallas porque no hay informes de ruptura en la superficie después de sismos en la zona, con la posible excepción de una de las réplicas del sismo de 1986 (Rymer, 1987). En la ausencia de información más fiable, se puede concluir que futuros sismos superficiales en la RMSS podrían estar ubicados en cualquier de las zonas epicentrales de sismos históricos. Definida así la fuente sísmica para terremotos locales se pueden considerar efectivamente como “puntos flotantes” dentro de toda la RMSS menos su extensión más norteña y su límite sur-oeste. Por otra parte, las fuentes de los sismos asociados con la subducción de la placa de Cocos en la fosa Mesoamericana están generados por fallas mar adentro. Se puede suponer en un análisis preliminar que futuros sismos ocurrirán con ubicaciones como las de los sismos de 1915 y 1982.

3.2 Amplificación de la sacudida por el suelo

La amenaza sísmica en un lugar determinado puede ser evaluado a partir de información sobre las fuentes sísmicas que lo afectan y las características de atenuación de movimientos sísmicos en la región. Sin embargo, el movimiento sísmico durante un terremoto puede variar mucho de un lugar a otro, aún separados por distancias cortas, si las características geológicas son diferentes. En algunos casos, la influencia de la geología superficial puede dominar la amenaza sísmica en el lugar.

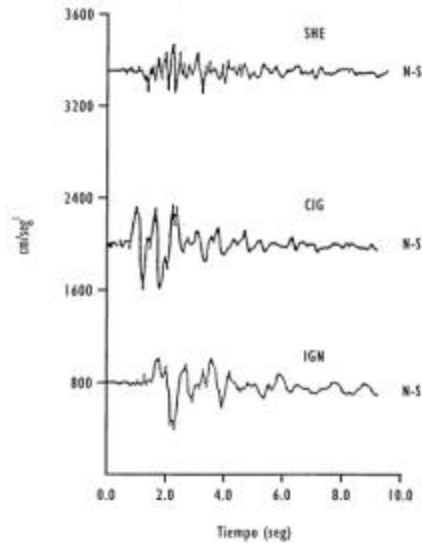
Si hay una capa de suelo encima del lecho rocoso en un lugar, el comportamiento sísmico que experimenta un edificio construido en este lugar depende de las características de la señal sísmica y de la capa del suelo. Normalmente se puede hacer la suposición que cerca de la superficie las ondas sísmicas se propagan verticalmente. Cuando pasan de la roca al suelo la velocidad de propagación es menor y el tren de ondas decelera, pero para mantener el flujo de energía, se incrementa la amplitud de las ondas sísmicas. Este fenómeno se conoce como **impedancia**. Por otro lado, el suelo absorbe más energía que la roca y por tanto tiende a amortiguar el movimiento y a este mecanismo se da el nombre de **atenuación anelástica**. La amplificación del movimiento que resulta entonces depende del balance entre estos dos factores, que dependen del espesor de la capa de suelo y el contraste entre la velocidad de propagación de ondas en roca y en suelo. En general, sólo se considera la contribución de los 30 metros superficiales a la amplificación del movimiento. Capas de gran espesor (~ 100 m) de suelo blando pueden tener un efecto neto de amortiguación, el efecto de absorción anulando el efecto de amplificación.

Existe también otro mecanismo de amplificación del movimiento que ocurre en casos de alto contraste entre la velocidad de las ondas en roca y suelo. En este caso la onda se refleja en la superficie y se propaga hacia abajo hasta que nuevamente rebota en la roca y así queda atrapada dentro de la capa de suelo. Este efecto, que se conoce como **resonancia**, puede aumentar la amplitud de las ondas y también prolongar la duración de la sacudida. El efecto de resonancia es máximo cuando el período de las ondas sísmicas coincide con el período de vibración de la capa de suelo. En este caso la amplificación puede ser muy grande y el período natural del suelo llega a ser dominante en el movimiento. Un ejemplo clásico de resonancia ocurrió en la Ciudad de México durante el sismo de Michoacán el 19 de septiembre de 1985. Una parte de la ciudad está construida sobre una capa de arcilla blanda de origen lacustre con un espesor promedio de 40 metros y las ondas provenientes de la falla en la costa fueron amplificadas fuertemente, especialmente aquellas con períodos del orden de 2.0 segundos (el período natural de vibración de la capa de arcilla).

En San Salvador, la mayor parte de la ciudad reside sobre capas de suelo que pueden ser clasificados como arenas limosas y limos arenosos (Guzmán Urbina y Melara, 1996). Estos suelos son de origen volcánico: el más antiguo lo constituyen las "tobas color café", que proviene del Volcán San Salvador, y el más joven es la "tierra blanca" que tiene su origen en los centros volcánicos actualmente sumergidos en el Lago de Ilopango. La tierra blanca cubre la superficie de casi toda la ciudad y su espesor aumenta de unos 3 metros al pie del Volcán hacia el oeste alcanzando más de 25 metros en las orillas del Lago (Figura 15). Generalmente, la tierra blanca es un suelo muy poco consolidada. Según estudios llevados a cabo por la empresa Consorzio Italiano (Faccioli y otros, 1988) la velocidad de ondas sísmicas en los 15 metros superiores de las capas de suelo es del orden de unos 200 m/s, indicando un suelo bastante blando. Varios estudios han confirmado el efecto amplificador de la tierra blanca, particularmente los que han analizado los registros de movimiento fuerte obtenidos en el sismo de 1986 (p.e., Atakan y Torres, 1994). Este estudio

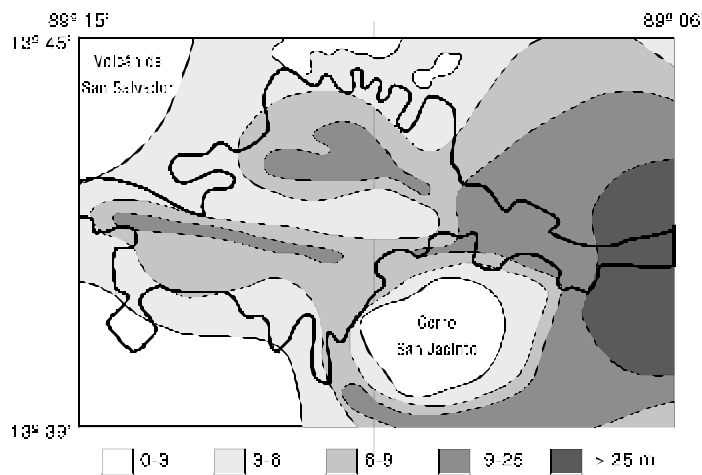
propone factores promedios de amplificación del movimiento por las cenizas volcánicas de entre 3 y 6. En la Figura 16 se muestra una comparación de los registros para el mismo sismo, observando la amplificación del movimiento para las dos estaciones ubicadas sobre tierra blanca (Centro de Investigaciones Geotécnicas, CIG e Instituto Geográfico Nacional, IGN) sobre el registro del Hotel Sheraton (SHE) el cual esta sobre lava volcánica. Las diferencias entre ellos se deben principalmente al comportamiento dinámico de las capas de cenizas volcánicas, aunque también se ha de tomar en cuenta que la estación SHE es la más retirada de la fuente sísmica.

Figura 16
Comparación de registros del 10 de octubre de 1986 mostrando el efecto del suelo



Fuente: Atakan y Torres (1994)

Figura 15:
Espesor de tierra blanca



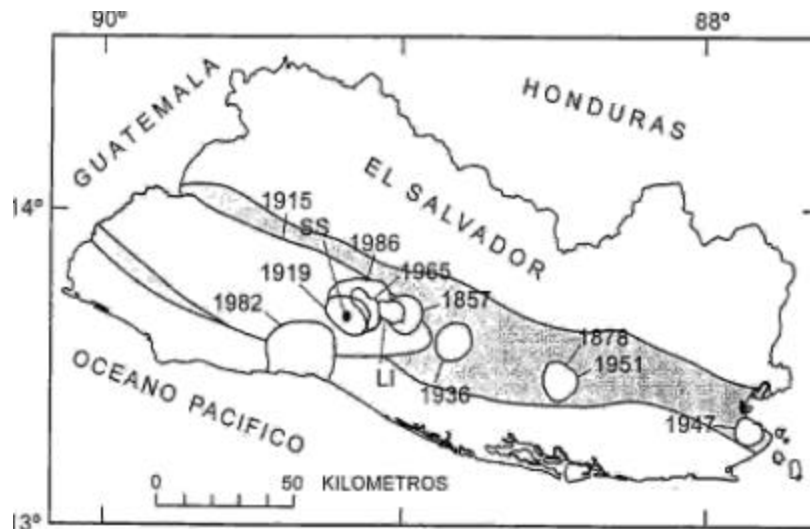
Fuente: Rymer, 1987.

3.3 Derrumbes inducidos por sismos

Los terremotos pueden desencadenar derrumbes y deslizamientos de taludes por el efecto de la fuerza lateral impuesta por la sacudida y por la reducción de resistencia debida al aumento de la presión de poros. La tierra blanca suele tener cierta cementación que permite la existencia de taludes naturales casi verticales en varias partes de la ciudad, a veces alcanzando alturas apreciables (Guzmán Urbina y Melara, 1996). Sin embargo, bajo la acción sísmica, estos suelos pueden ser muy propensos a la inestabilidad y los sismos en El Salvador siempre han provocado gran número de deslizamientos de tierra (Rymer, 1987; Rymer y White, 1989). En general no han sido muy grandes los deslizamientos, pero en algunos casos han ocasionado daños muy importantes, como el caso del derrumbe en la orilla de una barranca en Santa Marta en 1986 que arrastró 100 casas a su paso causando la muerte de 200 personas (localidad 9 en Figura 18). El número de derrumbes provocados por los sismos en El Salvador es mucho más grande que el número promedio desencadenado por sismos en otras partes del mundo (Keefer, 1984). El mismo fenómeno se observó en el sismo de Guatemala de 1976 lo cual indica que es una característica de los suelos volcánicos de Centro América.

La amenaza por deslizamientos de tierra puede ser evaluada con el método de Mbra y Varhrson (Guinea Abrego y otros, 1995). Este método identifica los factores que inciden sobre las fuerzas que generan el deslizamiento (sismo y lluvia) y los factores que aumentan la susceptibilidad de las taludes a deslizamientos (relieve, litología y humedad relativa). El estudio de Rymer y White (1989) ha identificado las regiones de El Salvador más propensas a deslizamientos por sismos y la zona de mayor amenaza contiene buena parte de la RMSS (Figura 17).

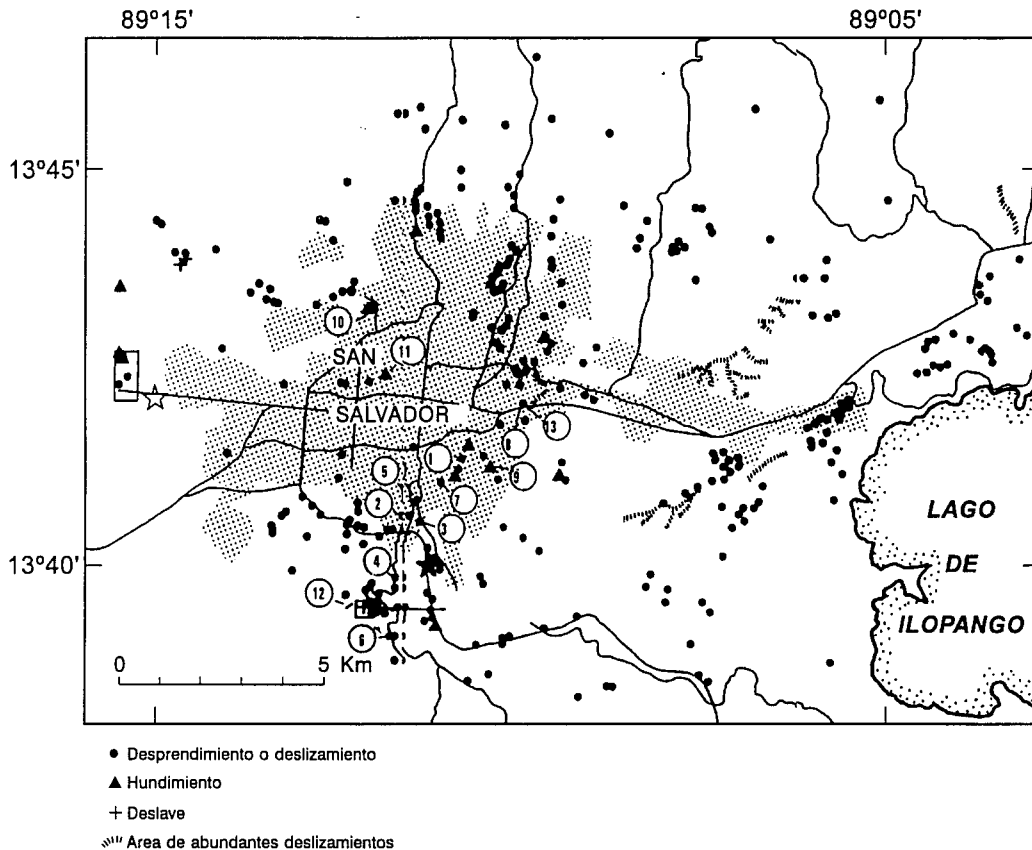
Figura 17
Mapa de áreas del país afectadas por derrumbes inducidos por sismos



La zona más oscura pertenece a áreas con intensidades VII MM para los años 1955-1965 según Schulz (1965) SS = San Salvador, LI = Lago de Ilopango

Fuente: Rymer y White, 1989.

Figura 18
Derrumbes inducidos por el terremoto del 10 de octubre de 1986 en San Salvador

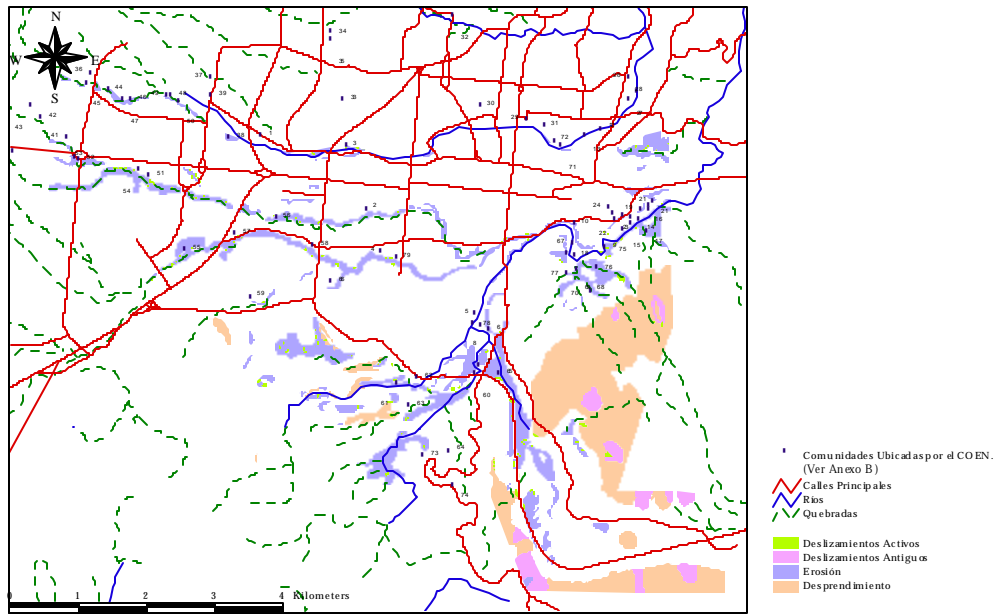


Los números en la figura corresponden a localización específicas de efectos geotécnicos presentados por Rymer (1987)

Fuente: Rymer, 1987

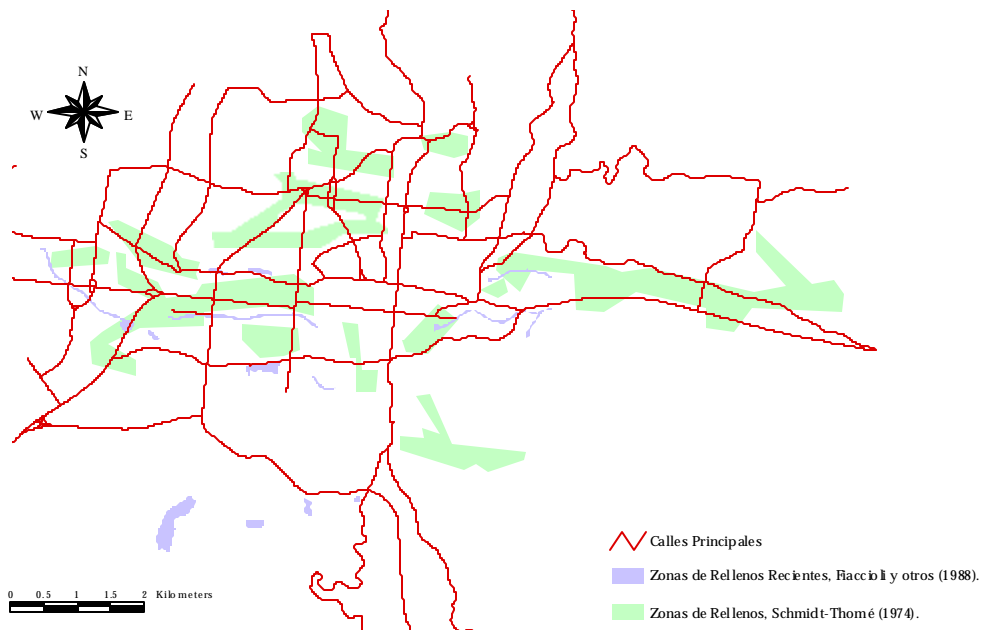
A una escala más pequeña, existe localmente áreas de mayor amenaza asociadas con las barrancas y las taludes de los cerros y volcanes. La amenaza no es constante y varia mucho con la precipitación. Se ha comprobado que el comportamiento de la tierra blanca depende mucho de su nivel de saturación (Guzmán Urbina y Melara, 1996) y es interesante anotar que el terremoto del 10 de octubre de 1986 ocurrió al final de la época de lluvias, lo que pudo haber contribuido al gran número de deslizamientos observados (Figura 18). Además hay otros factores que contribuyen al incremento de la amenaza como la erosión de las barrancas, los cortes para carreteras, la edificación al borde de barrancas y en taludes. Adicionalmente, la deforestación que origina la actividad humana permite mayor erosión e infiltración al mismo tiempo que reduce la resistencia natural que provee la vegetación. En la Figura 19 se muestra un mapa con zonas propensas a derrumbes en la RMSS y en el Anexo B se presenta un listado de las comunidades sujetas a posibles deslizamientos según el Comité de Emergencia Nacional de El Salvador (COEN).

Figura 19
Ubicación de Zonas y Comunidades sujetas
a Derrumbes en San Salvador



Fuente: SIG-PRISMA, basado en Faccoli y otros (1988) & COEN (1997).
 Digitalizado por McGill University & DGEA.

Figura 20
Zonas de Rellenos en San Salvador



Fuente: SIG-PRISMA, basado en Schmidt-Thomé (1974) & Faccoli y otros (1988).
 Digitalizado por McGill University & DGEA.

3.4 Licuefacción y asentamiento del suelo

La licuefacción de suelos es un fenómeno que puede afectar los materiales granulares como son las arenas. La fuerza de resistencia de un suelo granular depende de la fuerza de contacto entre sus granos, la cual disminuye con la presión del agua intersticial. Cuando ocurre un sismo, la sacudida eleva la presión del agua en los poros del suelo y si esta llega a igualar la fuerza de contacto entre los granos, la resistencia del suelo se reduce a cero. En este caso, la capacidad de carga del suelo es nula y efectivamente el suelo se comporta durante la sacudida como un líquido y cualquier estructura cimentada en un suelo licuado se hunde.

Las cenizas volcánicas, como la tierra blanca, son propensas a la licuefacción y durante el sismo del 3 de mayo de 1965 hubo varias observaciones de licuefacción en las orillas del Lago de Ilopango (Rosenblueth y Prince, 1965). La licuefacción causó daños importantes en los muelles de Amatitlán y agrietamiento en la pista del aeropuerto de Ilopango. La susceptibilidad de una arena a la licuefacción durante un sismo depende de la intensidad y la duración del movimiento sísmico, la saturación y la densidad del suelo. Una forma sencilla para medir la resistencia del suelo es con la prueba de penetración estándar (SPT). En la mayor parte de la AMSS el nivel freático se encuentra a profundidades del orden de 80 a 90 metros y por tanto no existe potencial de licuefacción. Sin embargo, en las orillas del Lago, donde aflora el nivel freático, existe amenaza de licuefacción. Además, pueden haber puntos locales, especialmente en las orillas de las barrancas, donde el suelo está saturado y por tanto susceptible a licuefacción. Un caso de licuefacción aislada fue observado en la Colonia Santa Marta en el sismo de 1986, posiblemente asociado con la fuga de agua del sistema de distribución (Bommer y Ledbetter, 1987).

Cuando un suelo suelto está sujeto a un movimiento sísmico tiende a compactarse, tal como se hunde el contenido de una azucarera cuando ésta es sacudida. Debido a la topografía de San Salvador, especialmente por su alto relevo y las barrancas que cruzan la ciudad, mucha construcción se hace encima de zonas de relleno donde se nivela el terreno con suelo extraído de otro lugar. Normalmente se usa la tierra blanca para el relleno en San Salvador. Es necesario compactar un relleno para garantizar una adecuada capacidad portante y reducción de asentamientos. En muchas partes de San Salvador existen zonas de relleno que por no haber sido compactados están propensos a asentamiento, especialmente en condiciones sísmicas. En su informe sobre el sismo del 3 de mayo de 1965, Rosenblueth y Prince (1965) relatan el caso de un edificio de cuatro pisos de concreto reforzado que sufrió daños estructurales importantes debidos al asentamiento diferencial en sus zapatas, que se apoyaban en un relleno artificial no compactado. En el sismo del 10 de octubre de 1986 hubo daños severos en el Colegio Guadalupano debido a asentamientos de rellenos (Bommer y Ledbetter, 1987) así como extensivos asentamientos en los rellenos (en una barranca) en el Externado de San José (Chieruzzi, 1987).

En otros lugares se usan rellenos para formar diques que también pueden estar propensos al asentamiento y al derrumbe si no están compactados, como fue el caso de la planta de Unisola y Molsa sobre el Boulevard del Ejército y un puente sobre la carretera al aeropuerto de Comalapa (Chieruzzi, 1987). En la Figura 20 se muestra un mapa de zonas de rellenos para el AMSS. Es necesario aclarar que las zonas presentadas por Schmidt-Thomé (1975) son zonas de donde existen rellenos extensos, pero no significa que toda la zona es de relleno.

3.5 Estudios de microzonificación sísmica y geotécnica de la RMSS.

En el presente apartado se presenta un resumen de los distintos estudios de microzonificación sísmica que se han elaborado para el Área Metropolitana de San Salvador.

En el apartado 2.3 se compararon los distintos estudios de amenaza sísmica para El Salvador, siendo basado en las características generales del movimiento fuerte del terreno, sin tomar en cuenta condiciones locales de sitio. Una microzonificación es un mapa de peligrosidad de una ciudad, que toma en cuenta la influencia de la geología superficial, las características de los suelos y la profundidad del nivel freático, con el objetivo de determinar la respuesta de las capas superficiales para predecir la forma en que se modificará el movimiento del terreno (Bommer, 1994).

El primer trabajo de zonificación sísmica para el AMSS es el de **Schmidt-Thomé (1975)**, que fue desarrollado como parte del Metro Plan 80 para el desarrollo y planificación de la ciudad. Se identifican las formaciones geológicas y las fallas, el espesor de tierra blanca, la distribución de las corrientes de lava y de roca dura en la región. También presenta las zonas de relleno posterior al año de 1955. Adicionalmente, el trabajo estudia el aspecto hidrogeológico como parte del planeamiento urbano.

El estudio propone la existencia de tres formaciones geológicas en San Salvador y sus alrededores, las cuales se distinguen por la edad y la secuencia en la depositación de los materiales: estas son las formación del Bálsamo, la de Cuscatlán y la de San Salvador.

El AMSS se encuentra en casi su totalidad en la formación de San Salvador, en donde el límite inferior se encuentra constituido por una serie de corrientes de lava que se considera como el estrato rocoso, cuyo espesor solamente es conocida en las cercanías de los volcanes y a lo largo de dos flujos de lava superficiales. Un primer depósito consiste en cenizas jóvenes mas o menos consolidadas - tobas color café - originadas por erupciones del Volcán de San Salvador, alcanzando espesores de 25 m, disminuyendo rápidamente con la distancia desde el Boquerón. Al oeste de la ciudad se encuentran estratos de escoria negra sobre las tobas color café, ya que esta escoria fue expulsada por el cráter de La Laguna simultáneamente a la expulsión de las tobas. La formación más joven es la tierra blanca, la cual se encuentra menos consolidada y proviene del centro volcánico que ahora está sumergido en el Lago de Ilopango. En los alrededores del Lago se encuentran los mayores espesores - mayor a 25 m - disminuyendo a medida se avanza en la dirección oeste, hasta llegar a obtener espesores de solamente 1 metro en las faldas del Boquerón (Figura 15). El estudio hace énfasis en la importancia de la correlación entre el espesor de la tierra blanca y la intensidad del movimiento sísmico (apartado 2.4) y sobre las consecuencias del material mal compactado en zonas de relleno debido al desarrollo urbano. Las fallas geológicas identificadas en este estudio poseen un rumbo E-O y NO-SE, y en forma menos marcada, NE-SO y N-S (Figura 13). Como no se permite reconocer un rumbo principal con claridad, el estudio concluye que las fallas son de distinta edad y que han sido reactivadas más de una vez.

El estudio de **Martínez (1979)** toma en cuenta un concepto preliminar de la geología del subsuelo, los sistemas de fallas y la variación de los valores de aceleración del terreno en relación al tipo de suelo. Se utilizó como fuente primaria de información valores del desplazamiento del terreno a causa del terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976, registrados en la red de sismoscopios en el Área Metropolitana. Para transformar los valores de desplazamiento registrados en los sismoscopios a valores de aceleración del te-

rreno, se desarrolló una relación empírica entre estos parámetros utilizando datos obtenidos por estaciones comunes de acelerógrafos y sismoscopios durante el terremoto de San Fernando, California del 19 de febrero de 1971.

El resultado final es presentado en curvas de isoaceleración. Los resultados indican una mayor estabilidad al norte de San Salvador, al igual que una relación directa en el incremento de aceleración con los espesores de tierra blanca y las tobas color café y a la profundidad de roca. Esta microzonificación preliminar tendría validez solamente para terremotos de campo lejano, no así para eventos locales, ya que solamente se utilizaron datos de un terremoto registrado a larga distancia. En el Cuadro 4 se presentan factores para el incremento de la aceleración del terreno según los espesores de tierra blanca para el Area Metropolitana.

Cuadro 4
Factores de incremento de aceleración del terreno
espesores de tierra blanca.

Espesor (m) de tierra blanca	Observaciones	Factor de incremento
0-3	Roca en la base	1.00
3-6	Roca en la base	1.25
6-9	Roca en la base	1.50
9-25	Roca en la base	1.75
0-9	Roca a profundidad desconocida	2.25
9-25	Roca a profundidad desconocida	2.50
>25	Roca a profundidad desconocida	5.00

Fuente: Martínez (1979)

El trabajo de **Linares (1985)** presenta una propuesta de microzonificación sísmica para el AMSS basada en la observación de microtemblores, espectros de respuesta y registros de sismoscopios, auxiliándose de una red de sismoscopios y acelerógrafos en el AMSS. El trabajo no estudia las propiedades dinámicas de los suelos. Los resultados son presentados en un mapa con 6 zonas con factores de amplificación del suelo que van de 1.0 a 3.0 en intervalos de 0.5 (Figura 21). En el Cuadro 5 se presentan los intervalos de períodos utilizados para las microzonas junto con el factor de amplificación correspondiente.

Cuadro 5
Intervalos de períodos utilizados para las microzonas y factor de amplificación.

Zona	Periodo T (s)	Factor de amplificación
I	T<0.20	1.0
II	0.20 T<0.40	1.5
III	0.40 T<0.60	2.0
IV	0.60 T<0.80	2.5
V	0.80 T<1.00	3.0
VI	T 1.00	>3.0

Fuente: Linares (1985)

Figura 21
Microzonificación Sísmica para el AMSS
Propuesta por Linares (1985)



Fuente: SIG-PRISMA, basado en Linares (1985)
 Digitalizado por McGill University y DGEA.

El estudio llevado a cabo por la empresa Consorcio Italiano **Fiacchioli y otros (1988)**, es desarrollado dentro de un programa de asistencia técnica y social como una cooperación del gobierno Italiano al gobierno de El Salvador. Por cuestiones administrativas y de presupuesto las investigaciones no cubrieron toda el Area Metropolitana, solamente una porción de esta, oficialmente llamada DS-A3, correspondiendo a la mitad del área total, incluyendo la mayoría del centro de la ciudad, y una parte substancial del área que presentó mayores daños en el terremoto del 10 de octubre de 1986. En este trabajo se realizó la evaluación de un “terremoto de referencia” tomando en cuenta la sismicidad histórica y presente de la

región, elaboraron modelos de subsuelo local de datos geológicos y geotécnicos existentes, la determinación de las propiedades dinámicas de los suelos volcánicos mediante pruebas *in situ* y de laboratorio, y la construcción de mapas de microzonificación sísmica basados en el análisis de la respuesta sísmica y los registros de movimiento fuerte del terremoto del 10 de octubre de 1986.

Según este estudio, de acuerdo a información macrosísmica e instrumental (Harlow y otros, 1988), una magnitud de 6.5 sería la máxima esperada para terremotos de carácter local en el área de San Salvador, con un período de retorno entre los 30 y 50 años. Un evento con estas características que ocurra en cualquier zona entre el volcán de San Salvador y el Lago de Ilopango, fue tomado como el terremoto de referencia en este estudio. Se utilizaron correlaciones existentes (Joyner y Boore, 1982), para estimar que este terremoto produciría una aceleración máxima del terreno de 0.5 g en el campo cercano, que es comparable con un valor de 0.5 g y 0.6 g obtenido para períodos de exposición de 50 y 250 años respectivamente por Algermissen y otros (1988). Un terremoto con una magnitud de 8.0 a una distancia mínima de 80 kms fue seleccionado como representativo de la zona de subducción. Se estima que este terremoto produciría un valor de 0.3 g en condiciones de suelo en el área de San Salvador, con una duración significativa de 30 s. Las fallas de Guatemala no fueron tomadas en cuenta, debido a que el nivel de amenaza sísmica en San Salvador asociado a esta fuente, no es comparable con el de la cadena volcánica y la zona de subducción.

El estudio presenta un mapa que identifica las zonas de tierra blanca joven y las zonas de relleno recientes, especialmente presentes a lo largo de quebradas y carreteras, así como los espesores de tierra blanca y tobas color café, coleccionando y ordenado cerca de 600 perforaciones para la zona DS-A3, de las cuales la mayoría no excedían los 12 m de profundidad. Este mapa muestra cambios significativos con respecto al presentado por Schmit-Thomé (1975). Se destaca que la exposición de lava en la superficie no necesariamente indica que se encuentra efectivamente un lecho de roca, ya que el subsuelo puede estar constituido por sucesiones irregulares de lava y material piroclástico con espesores distintos y a la vez marcadas diferencias en las propiedades mecánicas de los mismos. Considerando este aspecto, también se presenta un mapa basado en la geología superficial y perforaciones profundas, de datos de 26 perforaciones de pozos para la extracción de agua, entre los 100 y 210 m de profundidad, distinguiendo dos zonas, la Zona 1 que se caracteriza por espesores cumulativos de lava menores de 35 metros en los primeros 100 metros y la Zona 2 que se caracteriza por espesores cumulativos de lava mayores de 65 metros en los primeros 100 metros de profundidad. Con esta información, se podría inferir anticipadamente la respuesta sísmica del sitio. Para la Zona 1 la respuesta tendería a ser como en condiciones de suelo, para la Zona 2 como un sitio de roca o experimentaría el efecto de la resonancia si varios metros de material suelto se encuentra por encima de la lava (apartado 3.4). Esta información constituye el parámetro de entrada geológico más importante para este trabajo de microzonificación.

Las propiedades mecánicas de la tierra blanca joven fueron evaluadas en una primera etapa por numerosas pruebas de penetración estándar (SPT), efectuadas en el marco del proyecto. Después de los primeros metros (influenciados por la presencia de rellenos superficiales), fue obtenido un valor promedio de 30 golpes en la prueba SPT. Pocos datos fueron disponibles para la toba color café, obteniéndose un valor promedio de golpes un poco más arriba que para la tierra blanca joven. El estudio propone considerar estos suelos como una sola unidad general, desde el punto de vista geológico-ingenieril, debido a la afinidad genética de estos materiales. Adicionalmente se desarrollaron 6 pruebas “down-

hole” en 4 sitios diferentes en el AMSS y 2 en el Distrito Italia, para determinar la velocidad de propagación de las ondas longitudinales (P) y transversales (S) en los primeros 30 m, constituyendo los primeros datos in situ para las propiedades dinámicas de los suelos en el AMSS. Estos lugares fueron: Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA), Hotel Camino Real (HCR), Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG). Valores promedios entre 200-250 m/s fueron obtenidos para las velocidades de las ondas S, en los primeros 20 m para la tierra blanca joven y las tobas color café. También se efectuaron pruebas de laboratorio con la columna resonante para determinar el módulo dinámico de rigidez al corte y el coeficiente de amortiguamiento interno con respecto a la amplitud del esfuerzo de corte cíclico, constituyendo datos de entrada esenciales para el análisis de la respuesta sísmica del suelo.

Finalmente se presenta un mapa de una propuesta de zonificación sísmica (Figura 22). En el mapa se identifican zonas sobre suelos con comportamiento sísmico prevalentemente estable, y zonas sobre suelos con comportamiento sísmico inestable. Las primeras se basan en el mapa de espesores cumulativos de lava en los primeros 100 m, donde la Zona 1 es dividida en la Zona 1A, donde los flujos de lava están expuestos o en los primeros 5 m abajo de la superficie, y la Zona 1B donde los flujos de lava se encuentran a profundidades entre 5 y 35 m, caracterizándose por períodos de resonancia que varían con el espesor del estrato. La Zona 2 queda igualmente definida. Para cada microzona se proponen espectros elásticos de diseño, tomando como parámetros de entrada los acelerogramas del terremoto del 10 de octubre de 1986, ajustándolos a una forma espectral estándar. Las zonas sobre suelos con comportamiento sísmico inestable abarcan aquellas áreas identificadas en el mapa geomorfológico, donde aparecen más evidentes los síntomas de inestabilidad efectiva o potencial, como zonas de deslizamientos activos o antiguos, áreas sometidas a erosión elevada o erosión lateral, o áreas sometidas a posibles fenómenos de caída y desprendimiento de bloques de formaciones rocosas.

La microzonificación propuesta es validada utilizando los datos sobre daños en edificios en el terremoto de 1986. Los daños más fuertes ocurrieron en la Zona 1B, donde los espesores de material suelto en la superficie se encuentran entre los 15 y 25 m, correspondiendo a un período de resonancia del suelo entre 0.2 y 0.5 s. Estos corresponden a intervalos de las ordenadas máximas en los espectros elásticos de diseño propuestos, concluyendo que los períodos de vibración de la respuesta más alta del suelo se encontró en el rango del período fundamental de muchos edificios dañados. La poca cantidad de daños al oeste de la ciudad, depende de varios factores, como un decremento de la severidad del movimiento fuerte del terreno debido a que esta zona se encuentra alejada de la fuente sísmica, a la mejor calidad de construcción de los edificios (que en su mayoría son casas residenciales de una sola planta) y la reducción de los espesores de suelo suelto. Pocos edificios dañados se encontraron en la Zona 2, los cuales se encontraban cercanos a la proyección de la falla en la superficie.

Figura 22
Microzonificación propuesta por Faccioli y otros (1988)

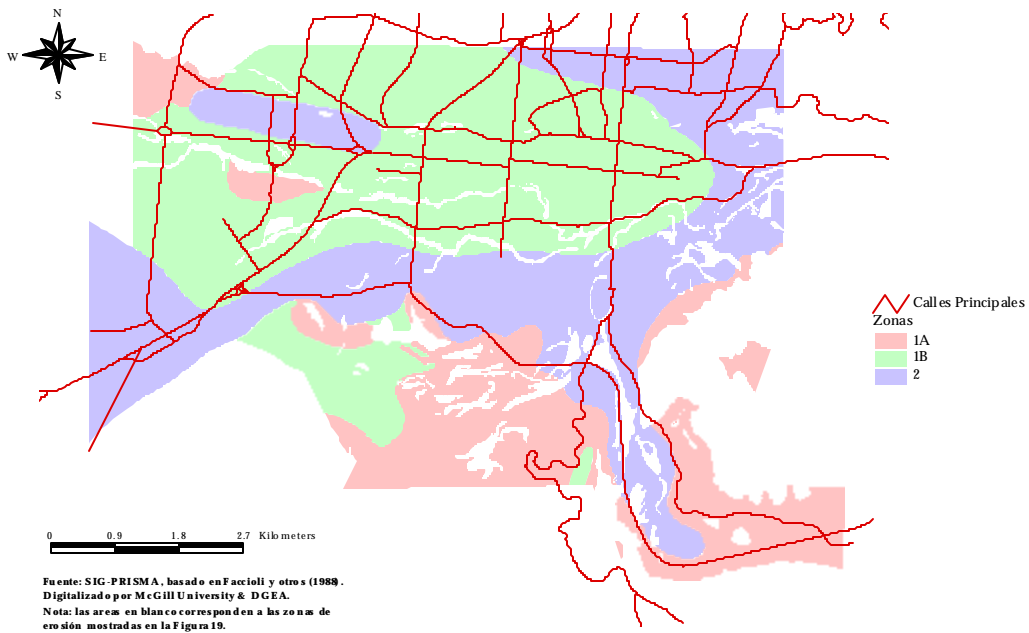
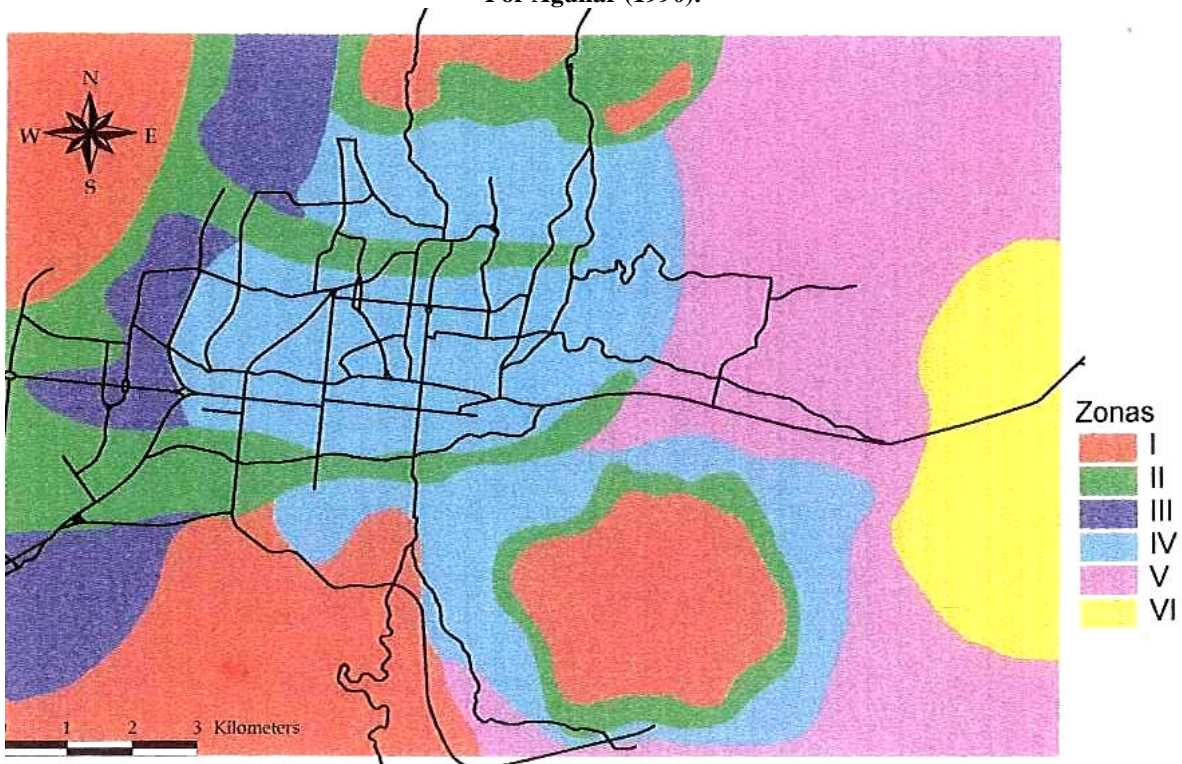


Figura 23
Microzonificación sísmica propuesta
Por Aguilar (1990).



Se enfatiza en la necesidad de realizar el estudio de microzonificación en toda el AMSS, fortaleciendo el conocimiento de la estructura geológica del subsuelo con la profundidad, y en la necesidad de la utilización de herramientas apropiadas para el diseño para mitigar el riesgo sísmico en la región, y de desarrollar una técnica de construcción de calidad.

El estudio de **Aguilar (1990)** realizó una microzonificación basada en el mapeo de las características geológicas y geotécnicas del AMSS estableciendo las propiedades mecánicas de los suelos a través de la colección de pruebas de penetración estándar (SPT) y las propiedades dinámicas correlacionando el número de golpes N de estas pruebas con los ensayos de refracción sísmica. Estos resultados son combinados con los espesores de tierra blanca (según el mapa de Smith-Thomé, 1975) y la profundidad del estrato rocoso, estableciendo un mapa de microzonificación para el AMSS con seis zonas, definidas principalmente por las profundidades de las capas de suelo (Figura 23). El estudio obtuvo períodos fundamentales del suelo para las seis zonas que varían entre 0.095 y 0.89 segundos. En el Cuadro 6 se presentan los valores de períodos asociados a cada zona.

Cuadro 6
Zonificación geotécnica

Zona	Prof. a la roca (m)	Periodo T (s)
I	4.0	0.095
II	9.5	0.206
III	30.0	0.436
IV	35.0	0.620
V	65.0	0.890
VI	>65.0	>0.890

Fuente: Aguilar (1990)

El trabajo de **Guzmán y otros (1996)** desarrolla una investigación geotécnica para el AMSS, recopilando información de estudios previos y realizando pruebas de laboratorio en base a 40 muestras extraídas de estratos superficiales en distintos puntos del área de estudio, para los cuales se determinaron parámetros dinámicos del suelo obtenidos a partir del ensayo del péndulo de torsión libre (Méndez, 1985). Como las muestras de suelo fueron obtenidas solamente de estratos superficiales, el estudio plantea que la respuesta dinámica de un estrato de suelo a una profundidad determinada, puede obtenerse mediante el ensayo de el péndulo de torsión si la muestra de suelo se somete a una presión de confinamiento correspondiente a la profundidad del estrato que se desea simular.

Se obtienen los períodos fundamentales de las columnas litológicas mostrando como resultado final un mapa de curvas de isoperíodos (Figura 24), concluyendo que los períodos de vibración de los suelos en el AMSS oscilan entre 0.1 y 1.2 segundos y que la heterogeneidad de las curvas es debido a la variación en la profundidad del estrato resistente. En el Cuadro 7 se muestran los valores de períodos asociados a cada zona.

Cuadro 7
Intervalos de período utilizados para el mapa de microzonas.

Zona	Período (s)
I	<0.20
II	0.20-0.40
III	0.40-0.60
IV	0.60-0.80
V	>0.80

Fuente: guzmán y otros (1996)

El estudio de **Invarsson y Johansson (1996)** tiene como objetivo determinar las frecuencias fundamentales y los efectos de amplificación del subsuelo en el Area Metropolitana de San Salvador, para evitar el fenómeno de resonancia entre la estructura proyectada y el subsuelo (apartado 3.2), utilizando para ello mediciones de microtemblores, analizando los datos por el método de Nakamura (1989). Se hicieron mediciones en 94 puntos de la ciudad, cubriendo varias zonas con geología diferente, desde roca firme hasta suelo blando de origen volcánico. En el Cuadro 8 se presenta un resumen de los resultados obtenidos. Adicionalmente el estudio compara los resultados de los microtemblores con registros para el terremoto del 10 de octubre de 1986, obteniendo grandes diferencias en los períodos fundamentales que se obtienen para los diferentes sitios analizados. Por ejemplo, utilizando el registro obtenido para el terremoto en el Centro de Investigaciones Geotécnicas se obtiene un período fundamental de 0.56 s, mientras que con los resultados de los microtemblores en este mismo lugar se obtiene un período fundamental de 0.13 s. Los autores recomiendan realizar investigaciones al respecto.

Cuadro 8
Períodos fundamentales para el AMSS

Zona	Período (s)
1. Región oeste	0.08-0.20
2. Plan de La Laguna	0.33-0.50
3. Cerro de Mariona	No se obtuvieron resultados consistentes con la geología del lugar
4. Las zonas aledañas a los ríos	
4.1 Al sur de las dos corrientes de lava	0.17
4.2 Este del centro de la ciudad a lo largo del río Acelhuate	0.13-0.22
4.3 Zonas cercanas al río Urbina y San Antonio	
5. Cerro San Jacinto	0.09
6. La región este (zonas cercanas al Lago de Ilopango)	1.0

Los resultados son presentados en un mapa geológico simplificado (Figura 25), mostrando tres zonas principales en el AMSS, las cuales son las que se encuentran en roca, suelo duro y suelo blando.

Figura 24
Microzonificación propuesta por Guzmán y otros (1996)

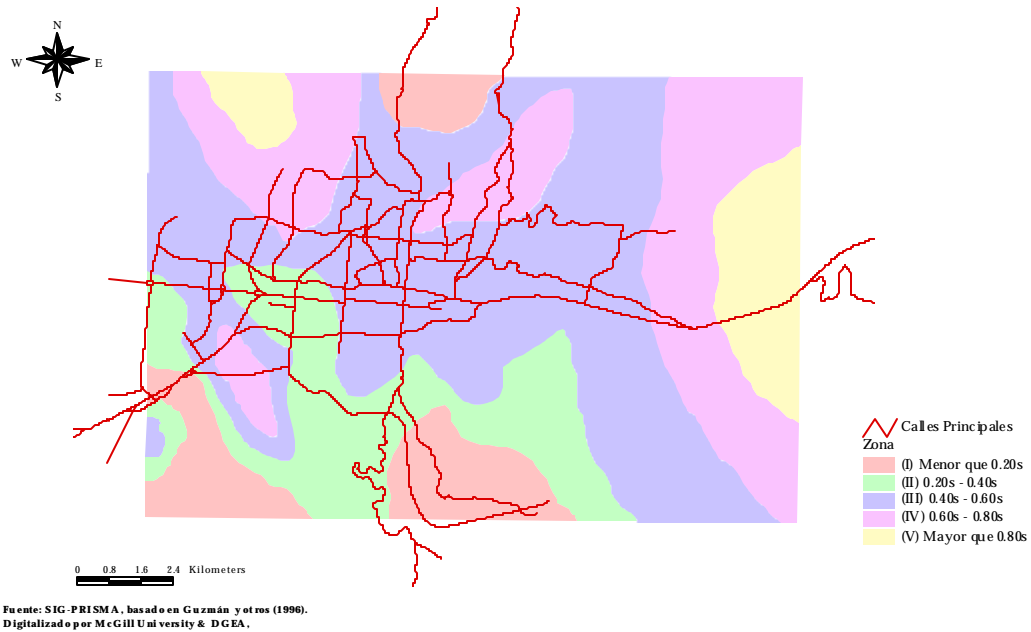
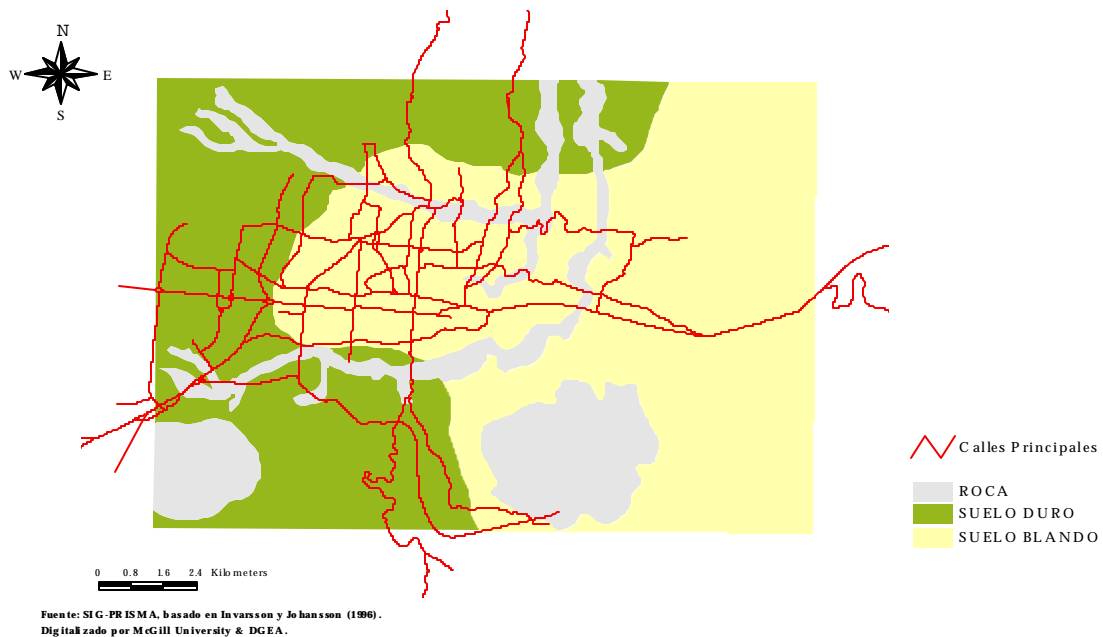


Figura 25
Microzonificación Sísmica propuesta por Invarsson y Johansson (1996)



IV

MEDIDAS DE MITIGACION DEL RIESGO SISMICO EN EL SALVADOR

En general, la principal causa de pérdidas humanas y económicas en un terremoto es la falta de resistencia en los edificios sujetos al movimiento fuerte del terreno. Un reglamento para el diseño sismorresistente puede servir para garantizar un nivel mínimo de seguridad contra los efectos de los terremotos en cada edificio. El reglamento ha de especificar las cargas sísmicas para aplicar en el diseño estructural, tomando en cuenta el efecto local del suelo. El reglamento ha de incluir un mapa de zonificación que refleja la distribución geográfica de la amenaza sísmica, explicaciones sencillas de los métodos de análisis del comportamiento sísmico de una estructura y los límites de fuerzas y desplazamientos que una estructura debe experimentar bajo las cargas sísmicas. El primer apartado de este Capítulo relata el desarrollo de los reglamentos sísmicos en El Salvador.

Un reglamento sísmico solo puede mitigar el riesgo en la medida que se aplican sus normas en toda obra de construcción. En muchos casos el ingeniero usará el reglamento para su diseño por profesionalismo pero se requiere de un marco institucional que garantiza su aplicación. Tanto el uso de un reglamento sísmico como la inspección de su cumplimiento necesitan que los ingenieros civiles y los arquitectos tengan conocimientos de los fundamentos del diseño sismorresistente y esto debe formar una parte integral de su formación en un país tan altamente sísmico como El Salvador. En este Capítulo se examina el estado actual de la aplicación de los reglamentos sísmicos y la ingeniería sísmica en El Salvador.

Es muy importante anotar que en general los reglamentos sísmicos son aplicables en las nuevas construcciones y por tanto no inciden en la vulnerabilidad de las estructuras existentes. En el apartado 2.4 se mostró que uno de las principales causas de destrucción en el sismo de San Salvador de 1986 fue el colapso de edificios previamente dañados por los sismos de 1965 y 1982. El apartado 4.4 se discute las implicaciones de la reparación y refuerzo de edificios en la mitigación del riesgo sísmico y la incidencia del reglamento actual en este tema.

Por último, se aborda el tema muy importante de los seguros contra sismo. Los seguros contra sismos juegan un papel importante en la recuperación de familias, comunidades y la industria y el comercio después de un terremoto. La política de las empresas de seguros también puede jugar un papel importante en la mitigación del riesgo si por ejemplo las primas dependen del año de la construcción y el reglamento vigente al tiempo o si los reaseguradores exigen el refuerzo de un edificio vulnerable antes de aceptar que se asegure (Roth, 1997).

4.1 Desarrollo de los reglamentos sísmicos

Durante los años de 1942-57 en la ciudad de San Salvador fueron construidos los primeros edificios en base a marcos de concreto armado como sistema estructural, de tres o más niveles (hasta ocho plantas), incorporando paredes de mampostería con el supuesto de que está inclusión implicaba un aumento en la seguridad estructural sin ser consideradas en el análisis, llevándose a cabo los análisis aplicando una aceleración horizontal de 0.10 g uniformemente distribuida en toda la altura de la estructura (Lara, 1987). Se utilizaban las versiones existentes del reglamento norteamericano para estructuras de concreto

ACI-318, el reglamento mexicano de diseño sísmico de 1962, y las normas alemanas para el diseño de estructuras de concreto DIN 1045.

Ulrich (1946) reportó que se iba a introducir en un reglamento sísmico con un factor de cortante basal de 0.2 para el diseño de estructuras, sin embargo, según Rosenblueth no existieron evidencias de que esta recomendación haya sido utilizada. **El primer código** para el diseño sismorresistente a nivel nacional fue introducido en 1966 en respuesta al sismo del 3 de mayo de 1965, basado en las regulaciones del código de Acapulco (Guerrero, México), siguiendo recomendaciones realizadas en un reporte preparado por Rosenblueth (1965) para la UNESCO, sugiriendo que las normas para diseño de construcciones de Acapulco o las normas chilenas, eran adecuadas a las características de los temblores intensos que pueden ocurrir en la región, ya que ambos códigos se encontraron entre los que se refieren a condiciones más similares a las de El Salvador.

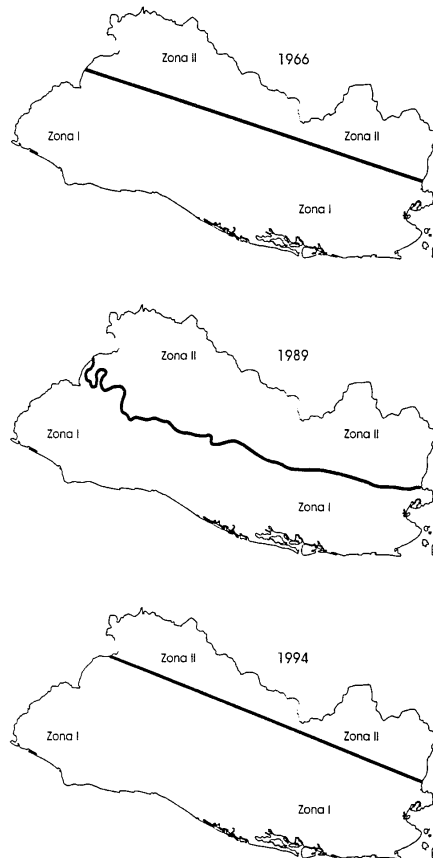
La zonificación sísmica presentada en el código de 1966 divide al país en dos zonas, la Zona I con la más alto nivel de amenaza, la cual incluye la cadena volcánica y las zona costera (Figura 26), y la Zona II de menor nivel de amenaza, la cual abarca la zona norte del país. El máximo valor de coeficiente de cortante basal en este código es de 0.39, el cual es más grande que el máximo de 0.312 para el código de Acapulco de 1966 (Dowrick, 1977). No fue posible obtener registros acelerográficos para el terremoto del 3 de mayo de 1965, por lo que Rosenblueth estimó la aceleración máxima del terreno entre 0.5-0.78 g, obtenida a partir del desplazamiento de máquinas pesadas en las fábricas cerca del epicentro. También analizó un registro de un sismoscopio situado lejos del epicentro, estimando una aceleración del terreno de 0.44 g.

Rosenblueth (1966) propone que dado que los sismos de origen muy superficial (<25 kms) ubicados en la cadena volcánica tienen características diferentes que los originados en la zona de subducción, se tendría que proceder a elaborar no una, sino dos zonificaciones para el país, una para cada tipo de sismo. La primera correspondería a movimientos de corta duración con un contenido de altas frecuencias (sismos muy superficiales), la cual tendría franjas paralelas al eje volcánico, con una disminución rápida de la intensidad con respecto a dicho eje. La segunda zonificación correspondería a movimientos de larga duración y de largo período (sismos de la subducción), y tendría amplias franjas paralelas a la costa, con una disminución de la intensidad desde la distancia con el litoral. Estas recomendaciones no fueron incorporadas debido a la escasez de datos disponibles hasta el momento. Este código no incluye la geología de sitio en la especificación de cargas sísmicas.

El **segundo código** para el diseño sismorresistente fue realizado por un comité técnico de la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos (ASIA) de El Salvador, en respuesta al terremoto del 10 de octubre de 1986, publicado en 1989 con el nombre de "Reglamento de Emergencia", como una versión temporal mientras el código definitivo fuera terminado. En la realización de este código, se altera de manera significativa la zonificación (Figura 26) presentada en el código anterior, y fue basada en consideraciones de geología y tectónica (el límite norteño del valle central) y los mapa de isosistas pero no en una evaluación de amenaza sísmica. Se produjo un incremento en las cargas sísmicas para las dos zonas, en una proporción de uno a dos con respecto al código anterior, ya que el máximo valor de coeficiente de cortante basal resulta en 0.45, reflejando las características de los acelerogramas obtenidos para el terremoto de 1986 cerca de la zona epicentral (Shakal y otros, 1987), los cuales muestran aceleraciones máximas del terreno del orden de las estimadas por Rosenblueth para el terremoto de 1965, y además reflejan su predic-

ción de que eventos futuros podrían generar grandes aceleraciones verticales. Al igual que en el código de 1966, no se consideran las condiciones geológicas del sitio en la especificación de las cargas sísmicas.

Figura 26
El Salvador: Zonificación sísmica
1966, 1989 y 1994



Fuente: Bommer, 1996.

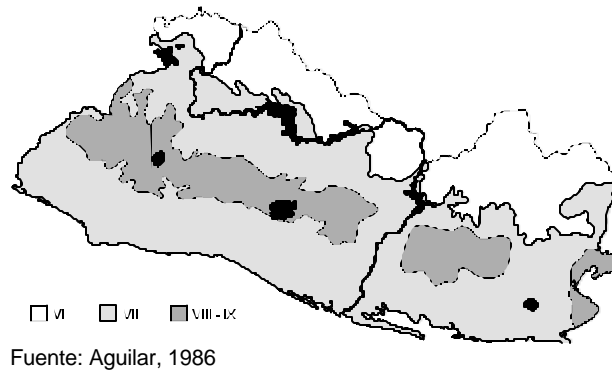
En 1994 el Ministerio de Obras Públicas publicó un nuevo reglamento con el título de: Reglamento de Diseño Estructural para las Construcciones (1997), con el mérito de haber sido elaborado en “tiempos de paz” y no como una respuesta o reacción a un desastre. Por primera vez se incluye una evaluación de la amenaza sísmica, la cual fue elaborada por la Universidad Autónoma de México (Singh y otros, 1993) . La zonificación propuesta es casi igual a la de los dos códigos anteriores (Figura 26), pero con la diferencia de que la razón entre los valores del coeficiente del cortante basal es de 0.75 de la Zona II con respecto a la Zona I. El Mapa de la Figura 27, muestra la intensidades máximas (MM) observadas en El Salvador, donde se observa que en la zona norte del país las cargas propuestas por el nuevo código parecen ser extremadamente conservadoras, aunque es importante mencionar que esta última Figura no concuerda exactamente con la superposición de las curvas de isosistas mayor o igual al VII MM de las Figura 4, 5 y 6, las cuales muestran mapas de isosistas para sismos superficiales y de la subcción. En este código se toma en cuenta la dependencia de las cargas sísmicas según la clasificación del subsuelo con cuatro categorías de geología superficial. Un aspecto importante es que el anteproyecto de este reglamento se incluía una microzonificación sísmica para San Salvador la cual no fue

llevada a cabo. Sin embargo, como el nuevo reglamento requiere del ingeniero una evaluación de perfil geotécnico para determinar el espectro de diseño, efectivamente se está tomando en cuenta la información adicional que una microzonificación formaría.

En ninguno de los tres reglamentos se proporcionan lineamientos respecto al refuerzo de las estructuras dañadas por sismos anteriores.

Este reglamento contó con la colaboración de las entidades gremiales de la Ingeniería y la Arquitectura en el país, así como asesores nacionales y extranjeros. Dicho reglamento pretende establecer los requisitos mínimos a considerar tanto en el diseño como en la construcción y supervisión de obras civiles.

Figura 27
Mapa de máximas intensidades
Sísmicas observadas



Los procedimientos de diseño, así como los requisitos específicos de diseño y construcción para determinados materiales y sistemas estructurales, están definidos en las Normas Técnicas, las cuales forman parte de este nuevo reglamento (Cuadro 10).

Cuadro 10
Normas Técnicas de diseño incluidas en el reglamento de 1994

NORMAS TÉCNICAS

- Diseño por sismo
- Diseño por viento
- Diseño y construcción de estructuras de concreto
- Diseño de cimentaciones y estabilidad de taludes
- Diseño y construcción de estructuras de mampostería
- Diseño y construcción de estructuras de madera
- Control de calidad de los materiales estructurales
- Norma especial para el diseño y construcción de viviendas

Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1997)

4.2 Aplicación del reglamento para la seguridad estructural de las construcciones

A raíz del terremoto del 10 de octubre de 1986, fue emitido el "Reglamento de emergencia de diseño sísmico de la República de El Salvador" mediante Decreto Ejecutivo No 14-12/09/89, con carácter transitorio, hasta la elaboración y publicación del reglamento definitivo.

Actualmente la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos (ASIA), desarrolla el "Programa de Difusión del Nuevo Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones" (Decreto Ejecutivo No 105-23/10/96), realizado a través de seminarios que abarcan tanto el reglamento como las normas técnicas correspondientes.

Como se mencionó anteriormente, el nuevo reglamento para la seguridad estructural de las construcciones, establece los requisitos mínimos para el diseño estructural, la ejecución de la supervisión estructural y el uso de las construcciones nuevas. Todo esto con el fin de garantizar la seguridad de dichas estructuras en condiciones normales de operación y ante eventos sísmicos moderados, minimizando así las posibilidades de colapso ante sismos severos.

Con el propósito de mantener actualizado el reglamento sísmico con los avances de la ciencia en el campo de diseño sísmico, es creada mediante decreto ejecutivo la "Comisión Técnica de Seguridad Estructural" la cual se establece en la Propuesta de Reforma a la Ley de Urbanismo y Construcción incorporada en el nuevo Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones.

La Comisión se encuentra conformada por los siguientes miembros:

- Un representante del Ministerio de Obras Públicas, Transporte y de Vivienda y Desarrollo Urbano. -
- Un representante de la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos (ASIA).
- Un representante del Colegio de Arquitectos de El Salvador (CADES).
- Un representante de la Cámara Salvadoreña de la Industria de la Construcción (CASALCO).
- Un representante de la Sociedad Salvadoreña de Ingeniería Sísmica
- Dos representantes de las Universidades del país, legalmente establecidas, que incluyan dentro de las carreras que ofrecen, las de la Ingeniería y Arquitectura.

Las actividades a realizar por esta comisión son las siguientes:

- a) Estudiar y proponer reformas al Reglamento y sus Normas Técnicas para efecto de incorporar a los mismos los avances tecnológicos y científicos del caso.
- b) Evaluar cualquier material o sistema innovador que se pretenda introducir, en lo relativo al diseño estructural
- c) Verificar el cumplimiento del Reglamento y sus Normas en aquellos proyectos que a juicio de la comisión, ya sea de oficio, por denuncia o aviso, así lo requieran.
- d) Colaborar en la evaluación de daños estructurales ocasionados por una catástrofe.

Esta comisión es la encargada de velar por el cumplimiento de todas las normas estipuladas en el nuevo reglamento. Según las reformas, la Comisión Técnica de Seguridad Estructural sesionará por lo menos una vez al mes y las veces que fuere necesario cuando ello fuere convocada por el Ministerio de Obras Públicas. Los miembros de esta comisión devengarán dietas por cada sesión conforme a la ley. Dado que la comisión no se encuentra funcionando a tiempo completo, resulta difícil que se logre dar un adecuado cumplimiento de los objetivos establecidos. En cuanto al seguimiento de las normas técnicas, son sujetos de evaluación únicamente los proyectos que a juicio de la comisión lo ameriten, quedando fuera la gran mayoría de nuevas obras.

Todo esto hace que no exista un riguroso control en el cumplimiento del nuevo reglamento, ya que en la actualidad no se cuenta con una entidad formalmente establecida, con los recursos humanos y materiales necesarios para poder monitorear la aplicación de estas normas en todas las nuevas obras realizadas.

4.3 La ingeniería sísmica en El Salvador

Para que el nuevo código de diseño sismorresistente tenga eficacia en El Salvador, tanto los ingenieros civiles como los arquitectos deben de tener una comprensión sobre los conceptos en que se basa el diseño sísmico. Hasta el momento, ninguna de las universidades en todo el país, contempla una especialización en el campo de la ingeniería sísmica, lo que representa el principal inconveniente en la efectividad de poner en práctica un código de diseño en el país. Aunque existen profesionales muy capacitados en la ingeniería sísmica, para la mayoría resulta difícil utilizar el reglamento sísmico adecuadamente y vigilar su cumplimiento. Esto origina errores por la omisión o inadecuada interpretación de las normas vigentes y conlleva a que no exista una licencia para la calificación de ingenieros estructurales que asuman la responsabilidad de diseños estructurales para estructuras complejas o de gran importancia.

4.4 Reparación y refuerzo de edificios dañados

La gran cantidad de edificios dañados con el terremoto de 1986 y el colapso de edificios ya dañados por terremotos anteriores, los cuales no fueron reparados en su oportunidad adecuadamente, motivó la creación por parte del Órgano Ejecutivo del Comité de Evaluación Técnica de Daños de Emergencia Nacional (No 4-14/10/869). Dicho Comité funcionó provisionalmente en las oficinas de la Cámara Salvadoreña de la Construcción (CASALCO), y su finalidad era la de inspeccionar los edificios dañados por el terremoto, ya sea públicos o privados, y dictaminar la habitabilidad de la estructura y los tipos de daños y obras necesarias para su reparación o demolición, según fuera el caso. A través de los medios de comunicación de los medios de comunicación se informó al público de la existencia y funciones a realizar por dicha entidad, por lo que los propietarios de estos edificios presentaban su solicitud de inspección a las oficinas del comité y este asignaba la fecha para realizarla. El dictamen del Comité podía ser de tres tipos:

Formato A : Habitable, pero recomendable contratar profesional! o empresa (para edificaciones calificadas verde)

Formato B : Temporalmente Habitable, pero requiere contratar profesional o empresa (para edificaciones calificadas amarillo)

Formato C : No es habitable y es necesario desalojar, debe contratar profesional o empresa (para edificaciones calificadas anaranjado y rojo).

Los "colores de bandera" (verde, amarillo, anaranjado y rojo) eran asignados según la gravedad del daño que hubiere sufrido la estructura, de acuerdo al Cuadro 11.

Para edificios con formatos B y C, los propietarios y los profesionales responsables de la reparación debían notificar al Comité de Evaluación el tipo de reparación a efectuar, de acuerdo a las normas, especificaciones y reglamentos establecidos por el Ministerio de Obras Públicas (MOP). En caso de que el Profesional o Empresa no contaran con la debida experiencia ó que las propuestas de reparación no cumplieren con las normas establecidas, el Comité estaba en la capacidad de rechazarlas. Finalmente una vez terminados los trabajos de reparación, tanto el propietario como el responsable de la reparación hacían entrega de sus respectivas declaraciones juradas, el primero que la edificación sería utilizada para el uso aprobado y los últimos que las reparaciones habían sido realizadas conforme a las normas establecidas por el MOP.

En el caso de estructuras a demoler, se incluía en el plan de demolición el tiempo de duración, el método a emplear, equipo a utilizar y normas de seguridad necesarias, debiendo notificarse al Comité la finalización de los trabajos. En el Anexo C se presenta un listado de las edificaciones dañadas por el sismo de 1986 (Guinea y otros 1995), de acuerdo a la clasificación presentada en el Cuadro 10. Aunque este listado no esta completo (debido a la naturaleza y objetivos de este trabajo), este representa una información importante que fue obtenida del MOP en la realización de este trabajo. Según comunicación con los autores del mismo, no existía un listado específico de edificios dañados por el terremoto como tal, sino que varios documentos en donde se encuentra esta información en forma desperdigada.

Una vez finalizada la función encomendada al Comité, y antes de su desintegración, se crea por decreto legislativo el Comité Permanente de Evaluación Técnica de Daños, integrado por el Ministro de Obras Públicas, dos representantes de CASALCO, dos representantes de ASIA y el Secretario Ejecutivo del COEN.

Cuadro 10
Clasificación de los edificios según daños observados para el terremoto del 10 de octubre de 1986

Color de bandera	Tipo de daño	Significado
VERDE (Habitable)	Ligeramente dañado (L.D.)	El elemento o la estructura prácticamente no requiere reparación (no existen daños estructurales)
AMARILLO (Habitable con restricciones)	Moderadamente dañado (M.D.)	El elemento o la estructura requiere reparación de daños menores (no existen daños estructurales)
ANARANJADO (no habitable)	Fuertemente dañado (F.D.)	El elemento o la estructura requiere ser analizado en cuanto a dimensiones y refuerzo. Requiere estudio y reparación de daños mayores locales, y/o reforzamiento general de la estructura. (existen daños estructurales)
ROJO (no habitable)	Severamente dañado (S.D.)	Demolición total o parcial de estructura, requiere estudio de reforzamiento general o de la reconstrucción global (existen daños estructurales).

Fuente: Flores (1996)

Este Comité Permanente de Evaluación Técnica de Daños, sería activado en caso de desastre, calificado así por el Ministerio de Obras Públicas por medio de Acuerdo Ejecutivo, en caso de haber sido declarado oficialmente un Estado de Emergencia Nacional.

Una vez entrada en vigencia esta ley, y por consiguiente desintegrado el Comité de Evaluación Técnica de Daños de Emergencia Nacional, toda la información acerca de las edificaciones evaluadas, así como las resoluciones respectivas, pasaron a formar parte del archivo del nuevo Comité, con sede en las instalaciones del MOP y fue el encargado de ejecutar las resoluciones que a la fecha estuvieran pendientes.

Según esta ley, dentro del personal del MOP, se designará un Coordinador General, quien tendría la obligación de ejecutar las disposiciones de la ley y a la vez actuaría como Secretario de Actas del Comité de Daños, siendo el responsable de los archivos y expedientes que generara el Comité, en el ejercicio de sus funciones (Art. 9). Esta información estaría en "todo tiempo" a disposición del público (Art. 7), pero en la actualidad no existe ninguna dependencia encargada de administrar estos archivos (aunque la ley establece que funcionaría "permanentemente"), y por ende resulta complicado el acceso a la información. Esto implica un alto riesgo, ya que no es posible saber a ciencia cierta cuantos edificios aún no han sido reparados adecuadamente, o lo que es peor, cuantas estructuras que debieron ser demolidas aún permanecen funcionando. Los Cuadros 11 y 12 y en las Figuras 28-30 se presenta la información estadística de la situación (en julio de 1996) de las estructuras dañadas por el terremoto de 1986.

Los datos proporcionados en los cuadros anteriores resultan alarmantes, ya que según las estadísticas, diez años después del terremoto solamente se habrían ejecutado un 57 % (63) de las órdenes de demolición, el restante 43% (48) aún estaría en pie. Por otro lado, si se suma el total de calificaciones de bandera anaranjado (1,091) y las reparaciones del color de bandera rojo (497), y se compara con el total de certificados de habitabilidad extendidos (372), es decir, el número de reparaciones que en teoría cumplieron con todos los requisitos establecidos, representa únicamente el 23% del total de estructuras "fuertemente dañadas". El **77%** restante, estarían pendientes de reparaciones estructurales muy serias, por lo que en el caso que se encuentren deshabitadas, o lo que sería peor, en funcionamiento, representan un verdadero peligro para sus ocupantes.

Cuadro 11
Estadísticas según color de bandera para el terremoto del 10 de octubre de 1986

EDIFICACIÓN (INS- PECCIONES)	VERDE	MAMARILLO	ANARANJADO	ROJO	SUBTOTAL
CINES	15	5	3	4	27
COLEGIOS	19	37	44	24	124
EDIF. COMERCIALES	80	229	175	74	558
ESCUELAS	6	13	18	8	45
EDIF. GOBIERNO	20	48	62	20	150
EDIF. HABITACIÓN.	27	97	118	22	264
HOSPITALES	2	14	10	2	28
HOTELES	8	3	2	1	14
IGLESIAS	7	13	13	9	42
INDUSTRIAS	5	30	25	6	66
OTROS	21	30	42	51	144
EDIF.. UNIVERIDAD	9	15	15	8	47
VIVIENDAS	130	686	559	372	1,747
MERCADOS	3	4	0	3	10
GASOLINERAS	0	23	5	4	32
TOTAL	352	1,247	1,091	808	3,298

Fuente: Flores (1996)

Cuadro 12
Estadísticas de demoliciones y reparaciones para el terremoto del 10 de octubre de 1986

ORDENES DE DEMOLI- CIÓN	AVISOS DE DEMOLI- CIÓN	AVISOS DE REPARA- CIÓN	CERTIFICADOS DE HABITABILIDAD
111	63	415	372

Fuente: Flores (1996)

4.5 El seguro contra sismos en El Salvador

Para asegurar un edificio en El Salvador, se parte de la base que la edificación está bien construida, de acuerdo a los códigos existentes y reglamentos involucrados. Las empresas de seguros realizan una inspección visual del edificio, tipo de materiales empleados, sistema eléctrico, etc.; determinando así la vulnerabilidad que el edificio pueda tener ante un siniestro (incendio, terremoto, erupción volcánica, etc.) y finalmente, de acuerdo a todos los parámetros mencionados y el tipo de seguro bajo el cual estará cubierto el edificio, se asigna la tasa a pagar por el propietario de la edificación, en concepto de seguro contra daños.

Dentro de los tipos de seguros contra daños de edificios más comunes, se encuentran los de Incendio y Línea Aliadas, en el cual se especifica cuáles son los riesgos cubiertos y el de Todo Riesgo, en el cual se especifica cuáles son los riesgos no cubiertos. La cobertura mínima es ante siniestros de Incendio y Rayo, el propietario decide si se le adiciona a la póliza la cobertura contra terremoto (Terremoto, Temblor u Erupción Volcánica) y ante lo que se denomina Riesgos Anexos (Huelgas, Actos Maliciosos, Explosión, etc.).

Como se mencionó con anterioridad en el apartado 4.4, la oficina que debería manejar los archivos de los edificios dañados no se encuentra funcionando y las compañías de seguros deben depender de la pericia de sus evaluadores, ya sean estos propios o privados, para determinar la vulnerabilidad del edificio o estructura y en la mayor parte de las veces de la confianza existente entre ambas partes, propietario y aseguradora. Cabe hacer notar que en el caso de estructuras dañadas por terremotos anteriores, no es práctica común el exigir los certificados de habitabilidad, de los pocos extendidos, sino más bien el estado de la estructura es determinado a "ojo de buen cubero".

Según la capacidad de respuesta de cada compañía, y el valor de restitución de los edificios, las compañías aseguradoras pueden reasegurarlos (compartir el riesgo), con compañías más grandes, nacionales o extranjeras. Este reaseguro genera una menor utilidad para la empresa aseguradora, ya que las ganancias son divididas, aunque en caso de siniestro ambas compañías comparten la responsabilidad, según la proporción acordada entre ellas.

Para el terremoto de 1986, en el cual gran número de edificios asegurados fueron seriamente dañados o colapsados, varias empresas de seguros fueron llevadas a la quiebra, ya sea por lo vulnerables que fueron las edificaciones aseguradas, o por no contar con la capacidad financiera necesaria para responder a los reclamos por parte de sus asegurados.

Por otro lado, en aproximadamente 40% de los casos de reclamos, las sumas aseguradas eran menores que el valor real de las casas o edificios asegurados, lo que aumentó las pérdidas económicas para los asegurados (Compañía Suiza de Reaseguros, 1987). En el Cuadro 13 se presentan estadísticas sobre las diferentes empresas de seguros en El Salvador.

La Figura 31 muestra la variación en el número y tipo de reclamos hechos a las Compañías de Seguros, durante el período 1986 - 1996. En la Figura 32 se muestran el total de pólizas registradas y las que corresponden a cobertura contra daños causado por terremoto, y la Figura 33 muestra estos datos en términos de porcentaje.

Cuadro 13
Distribución de los reclamos hechos a las Empresas Aseguradoras
(terremoto del 10 de octubre de 1996)

EMPRESA	AL 30/09/87 (a)	AL 12/12/88 (c)	% DEL TO- TAL
La Centro Americana	33,573,623.00	33,325,545.00	8.48
General de Seguros	58,063,399.00	54,023,676.52	13.75
ASESUISA	57,337,168.00	53,760,797.24	13.69
Seguros e Inversiones	38,017,456.00	35,925,701.17	9.15
Seguros Desarrollo	28,875,263.00	26,312,819.11	6.70
Aseguradora Popular	62,040,284.00	61,631,964.36	15.69
ANGLOSAL	8,309,274.00	8,309,274.00	2.12
Unión de Seguros	61,630,854.00	60,945,510.52	15.52
Seguros América	16,400,240.00	16,439,186.33	4.19
ACSA	11,290,664.00	11,034,676.85	2.81
Seguros de Pacífico	27,384,769.00	31,065,390.12	7.91
Totales	400,922,994.00	392,774,541.22	100.0 0

Fuente: Asociación Salvadoreña de Empresas de Seguros (1997)

Contar con información sísmica precisa sería de gran ayuda para las compañías aseguradoras para evaluar los riesgos a que podrían estar expuestas las estructuras aseguradas, y de esta manera minimizar sus pérdidas después de un siniestro de esta naturaleza. Cabe recordar que los sismos destructores de la RMSS tienen períodos de retorno aproximadamente de 20 años, por lo que es casi seguro que dentro de su vida útil, las estructuras deberán enfrentar solicitaciones sísmicas. En la actualidad, las Compañías de Seguros no se detienen mucho en evaluar la vulnerabilidad que pudiera tener una estructura (antigua o nueva), ya que sea por su construcción ó su ubicación. La competencia obliga a recaudar la mayor cantidad de "primas", lo que hace que el establecer un valor adecuado a la póliza de cada caso en particular obedezca básicamente a las leyes de la oferta y demanda. Es importante recalcar que en la RMSS es en donde se concentra la gran mayoría de edificios importantes, por lo que el no contar con la certeza del estado de edificaciones antiguas (para el año 1996 se tendrían aún 1,216 estructuras con daños estructurales severos, y 48 unidades pendientes de demolición), así como la falta de información sísmica que tome en cuenta las condiciones geológicas propias de cada lugar, y por ende el tipo y magnitud de fuerzas a que las estructuras serán sometidas durante un evento sísmico severo, hace que las Compañías Aseguradoras corran un altísimo riesgo de incurrir en cuantiosas pérdidas.

V

RIESGO SISMICO Y EL USO DEL SUELO EN LA RMSS

En el apartado 2.4 se destacó de que muchos daños ocasionados por terremotos en San Salvador estuvieron asociados con efectos geotécnicos y estas amenazas secundarias se examinaron en el Capítulo 3. Algunos factores geotécnicos, como la amplificación del movimiento sísmico por el suelo, pueden ser presentados en una zonificación detallada de zonas altamente urbanizadas (o con perspectiva de ser urbanizadas) para especificar cargas sísmicas que toman en cuenta este efecto. La mitigación de las amenazas secundarias como el asentamiento de rellenos, la licuefacción y los deslizamientos, necesita un control del uso del suelo. En zonas identificadas como susceptibles a estas amenazas se han de tomar medidas para estabilizar el terreno o se ha de prohibir la construcción en ellas. En este Capítulo se examina la gestión del uso del suelo en la RMSS como herramienta en la mitigación del riesgo sísmico.

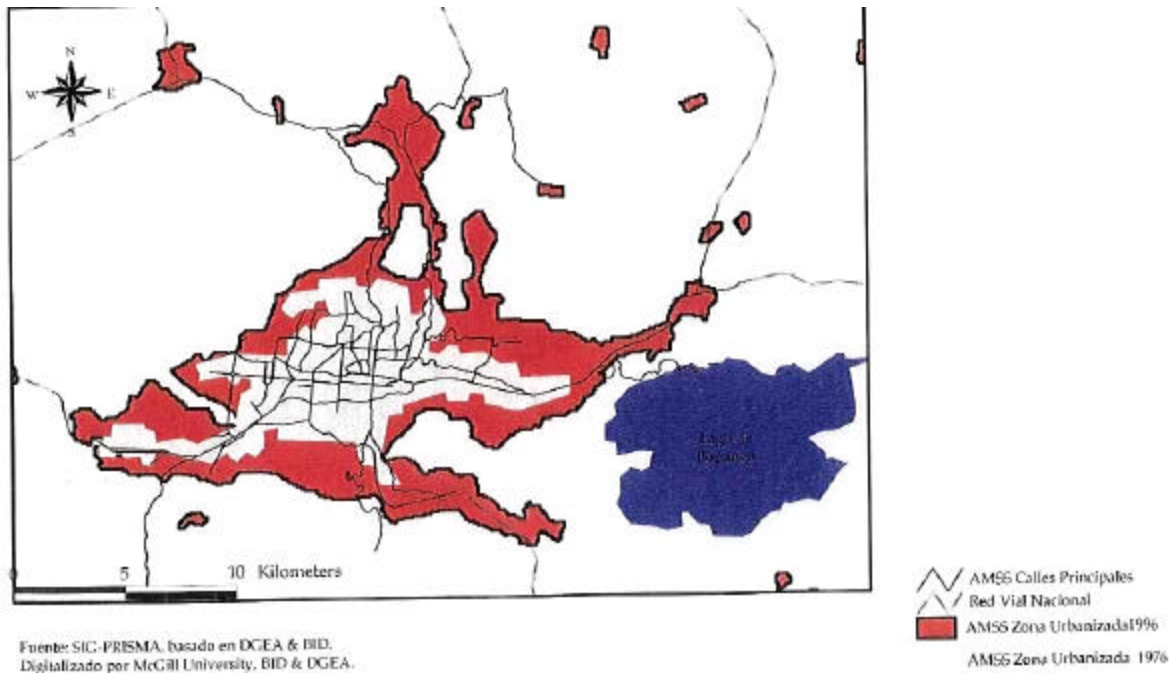
5.1 Historia y tendencias de urbanización en la RMSS

Originalmente la capital de El Salvador fue fundada en La Bermuda, a unos 7 km al sur de Suchitoto, en el año de 1528, hasta que fue trasladada a su lugar actual en el Valle de Zacoatitán o de Las Hamacas. Algunos autores han atribuido este traslado a la ruina de La Bermuda por un terremoto en 1539, aunque esta explicación ha sido descartada totalmente (Lardé, 1960a). San Salvador fue fundada en su lugar actual en 1545 y el año siguiente recibió el título de ciudad. Su primera ruina sísmica ocurrió el 23 de mayo de 1575 con un sismo que tuvo su foco en la zona de Texacuangos. Existen varios catálogos de la historia de la destrucción generada en San Salvador por los terremotos (Grases, 1994; Lardé, 1960a; Martínez, 1980; Montessus de Ballore, 1884, Harlow Y otros, 1993), aunque no hay un acuerdo total entre ellos en cuanto a todos los eventos sísmicos y sus características y estos fueron resumidos en los apartados 2.3 y 2.4. En la Figura 34 se muestra el crecimiento de la ciudad de San Salvador durante los años 1976-1994.

Tan elevada ha sido la destrucción por sismos en San Salvador que por lo menos dos veces se ha intentado trasladar la capital a diferentes lugares. En 1839, después de la ruina de la ciudad por dos terremotos fuertes en marzo y octubre, el General Morazán trasladó el asiento del Gobierno Federal a Cojutepeque (Lardé, 1960a). Pocos años después, cuando la ciudad de nuevo fue devastada por sismos en abril y junio de 1854, se decretó el 8 de agosto el traslado de la ciudad a la finca de Santa Tecla, cuando fue nombrada Nueva San Salvador (Grases, 1994). Sin embargo, el traslado nunca se llevó a cabo, e incluso cuando la ciudad fue destrozada por otro sismo en 1873 se inició la reconstrucción en el mismo lugar sin intentar mudarla a Santa Tecla (Grases, 1994).

Después del terremoto de 1986 de nuevo hubo especulación sobre el traslado de la capital y según Durkin y Hopkins (1987) el Presidente Duarte consultó con sismólogos de El Salvador y de los EE.UU. sobre la posibilidad de re-ubicar la capital 7.5 kms al norte en la ciudad de Apopa.

Figura 35
Crecimiento Urbano del Area Metropolitana de San Salvador



Por las frecuentes catástrofes, San Salvador no se convierte en el núcleo absorbente que atrae y anula en parte la actividad de los campos, sino en el centro distribuidor y de contacto entre gentes abocadas a hacer vida rural. Pequeñas poblaciones de indios van ya contando en el siglo XVIII con importantes grupos españoles, contribuyendo así, no solo a la uniformidad de las costumbres, sino a la difusión más rápida del idioma castellano y al fomento de un mestizaje cada vez más acentuado. Hasta fines de los primeros trescientos años de colonia, San Salvador tenía solamente 12 mil habitantes, creciendo lentamente hasta 1887 con un total de 16 mil personas. Con la difusión del café, como un nuevo producto de explotación agrícola de exportación, se acelera grandemente el crecimiento de la ciudad, manteniéndose uniforme hasta 1940, llegando a los 98 mil habitantes. El Café mejora sus precios en el mercado internacional después de la segunda guerra mundial, produciendo excedentes que fueron invertidos en la industria, coincidiendo con un cambio en el ritmo del crecimiento de San Salvador, que en 30 años triplica su población hasta los 330 mil habitantes en el año de 1971 y adquiere la fisonomía con que presenta hoy en día. Hasta el momento, no existe una política de desarrollo urbano que identifique un ordenamiento territorial urbano-rural con un integrado sistema de vinculación territorial de centros urbanos y que sea congruente con la localización y distribución de población del territorio (Sol, 1985). Además el acelerado desarrollo del AMSS y su estrecha relación con los municipios más cercanos (concentración poblaciones, medio ambiente y economía) indican que se estaría conformando ya no sólo un área metropolitana, si no más bien una Región Metropolitana, la cual debería incluir a estos municipios (Lungo y otros, 1997). En la Figura 36 se muestra un esquema de la RMSS y el detalle de los municipios que contempla.

Cuadro 14
Municipios de la RMSS

INSTITUCIÓN REGULADORA DEL USO DE SUELOS	MUNICIPIOS DE LA RMSS
OPAMSS "Gran San Salvador"	Antiguo Cuscatlán Apopa Ayutuxtepeque Cuscatancingo Ciudad Delgado Ilopango Mejicanos Nejapa Nueva San Salvador San Marcos San Martín San Salvador Soyapango
VMVDU	Colón Huizúcar Nuevo Cuscatlán Panchimalco Quezaltepeque San José Villanueva San Juan Opico Santiago Texacuangos Santo Tomás Tonacatepeque

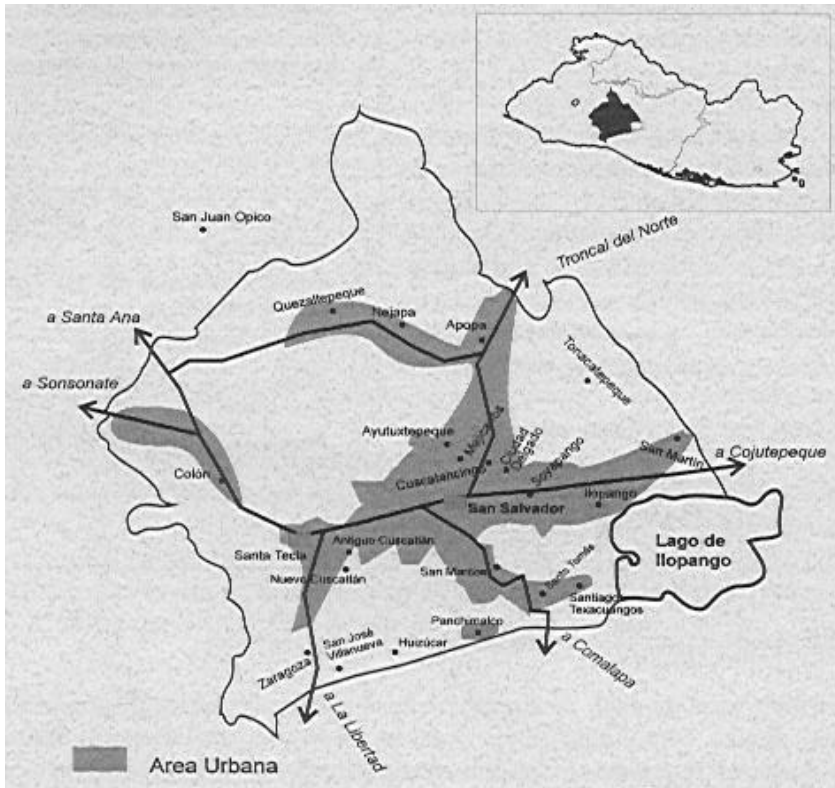
Fuente: Lungo y otros (1996)

Los actuales planes de desarrollo a nivel nacional (en proceso de elaboración) están a cargo de la Oficina de Planeamiento Estratégico OPES. Para el caso de la RMSS, únicamente los 14 municipios que conforman el actual AMSS son abarcados en la realización del Plan Maestro de Urbanización (PLAMADUR), el cual se encuentra en su etapa final.

Figura 36 Región Metropolitana de San Salvador

Mapa 1

La Región Metropolitana de San Salvador (RMSS)



AMSS

San Salvador
Soyapango
Mejicanos
Nueva San Salvador
Delgado
Apopa
Ilopango
San Marcos
Cuscatancingo
San Martín
Ntiguu Cuscatlán
Nejapa
Ayutuxtepeque

Fuera del AMSS

Colón
Quezaltepeque
Tonacatepeque
Santo Tomás
Santiago Texacuangos
San Juan Opico*
Panchimalco*
Zaragoza*
Nuevo Cuscatlán
San José Villanueva*
Huiúcar*

*parcialmente incluidos

5.2 La gestión actual del uso del suelo en la RMSS

Las instituciones que actualmente tienen como parte de sus funciones el control del uso de suelo para proyectos urbanísticos son el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano (VMVDU), Alcaldías Municipales (en el caso de que cuenten con sus propios planes de desarrollo local), la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Para los municipios que conforman la RMSS, la institución encargada de regular los usos de suelo respectivos es la indicada en el Cuadro 14.

5.2.1 El Viceministerio de Vivienda Urbana (VMVDU)

La Ley de Urbanismo y Construcción, emitida en el año de 1951, facultaba a la Dirección de Urbanismo y Arquitectura (DUA) para aprobar Proyectos de Urbanización, a través de los llamados Planes Reguladores, los cuales controlaban el desarrollo físico de las ciuda-

des. En el año de 1979 se crea el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano (VMVDU), adscrito al Ministerio de Obras Públicas (MOP), siendo su atribución principal la de planificar, formular, coordinar y dirigir la Política Nacional de Vivienda y Desarrollo Urbano. En el año de 1986, por Decreto Legislativo, se emite el Código Municipal, en el que se les da la competencia a los gobiernos locales (Alcaldías) para la elaboración, aprobación y ejecución de planes de Desarrollo Urbano y Rurales de cada municipio. En el año de 1991 es reformada la Ley de Urbanismo y Construcción, como respuesta al crecimiento espontáneo y desordenado de núcleos de población en toda la república, producto de parcelaciones y urbanizaciones no reguladas, haciendo necesario un ordenamiento del territorio bajo normas en beneficio de los pobladores de las nuevas zonas urbanas.

En dicha Ley se faculta al VMVDU como la institución encargada de velar por el cumplimiento de las disposiciones y normas establecidas en dicho reglamento, en todas aquellas municipalidades a nivel nacional que no contaran con planes de desarrollo local. Actualmente entre las Alcaldías que cuentan con sus propios planes locales de desarrollo, se encuentran las Alcaldías de Santa Ana, Sonsonate, Usulután, San Miguel, Metapán y las que conforman el llamado "Gran San Salvador".

El reglamento del VMVDU, establece que los planes locales de cada municipalidad serán los que definirán los suelos urbanos, urbanizables y rurales. En los municipios que no cuenten con su propio plan de desarrollo local, el criterio que aplica es el siguiente:

Suelos Urbanos y Urbanizables: Aquellos que se encuentren dentro del radio de influencia de poblado y que no hayan sido calificados como reserva forestal o agrícola por el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Suelos Rurales: Las reservas antes mencionadas y los suelos que se encuentren fuera de estos radios de influencia.

La determinación de dichos radios de influencia, considera el número de habitantes y la densidad media del poblado.

Reservas Forestales: Corresponde al MAG la determinación de las zonas en toda la república con vocación agrícola, forestal y ecológica. Para proyectos que a juicio del VMVDU, por su naturaleza, ubicación y envergadura sea necesario contar con la opinión del MAG, se solicita al interesado la "calificación de reservas forestales a mantener según MAG y calificación agrológica".

Actualmente la Fiscalía General de la República (FRG) a través de la Unidad para la Defensa del Medio Ambiente y Salud, ha paralizado la ejecución de 17 proyectos urbanísticos en ejecución, lo cual, según la Cámara Salvadoreña de la Construcción (CASALCO) afecta la inversión de más de dos mil millones de colones, 25 mil empleos directos y 75 mil indirectos, sin contar los proyectos que no se inician por la situación actual de inestabilidad. De acuerdo a la FRG la paralización de los proyectos es debido a la tala ilegal de árboles en zonas protegidas por el MAG, pero según la CASALCO, los proyectos contaban con todos los permisos de las autoridades competentes (OPAMSS y VMVDU) para su ejecución, por lo que la detención es ilegal. Este hecho evidencia que en la actualidad no existe una legislación clara que identifique ciertamente en qué lugares se puede construir y en cuáles no.

5.2.2 Oficina de Planificación del Area Metropolitana de San Salvador (OPAMSS).

El gran crecimiento del desarrollo urbano del municipio de San Salvador y el de los municipios aledaños, así como la competencia conferida a las Alcaldías con el Código Municipal, son la base para la conformación del Consejo de Alcaldes del Area Metropolitana de San Salvador (COAMSS). Esto dio paso a la formación de la Oficina de Planificación del AMSS (OPAMSS), publicándose en el año de 1987 el Reglamento a la Ordenanza del Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Area Metropolitana de San Salvador (AMSS) y de los Municipios Aledaños, la cual, en 1993 mediante decreto legislativo se convierte en ley de la república.

La clasificación urbanística de los suelos del reglamento de la OPAMSS, los divide en dos tipos:

Suelo Urbano: Terrenos que cuenten con la infraestructura de los servicios de urbanización necesarios para su desarrollo, así como aquellos que no disponiendo de estos servicios formen un asentamiento humano con edificación consolidado. Igualmente constituirán el suelo urbano los terrenos que, progresivamente y por ejecución de los planes vayan disponiendo de los servicios de urbanización requeridos.

Suelo Rural: Dividido en Urbanizable y No Urbanizable.

Suelo Rural Urbanizable: Aquellos terrenos rústicos aledaños o no a los suelos urbanos, no comprendidos en el suelo rural no urbanizable.

Suelo Rural No Urbanizable: Suelos con especial protección por su excepcional valor agrícola, forestal, ganadero, paisajístico, histórico, cultural. Suelos que son necesario conservar para la defensa de la fauna, flora, equilibrio ecológico, así como las reservas Agrícolas, Forestales Ecológicas, etc. decretadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería u otras autoridades públicas, centrales o municipales, con potestad legal para hacerlo.

Tomando como base esta clasificación, el reglamento divide el Suelo Urbano y urbanizable en las diferentes zonas (Cuadro 15), las cuales están identificadas en el "Plano General de Zonificación del AMSS" También en el Cuadro 16 se presenta la clasificación del suelo rural.

Cuadro 15
Clasificación del suelo urbano y urbanizable según OPAMSS

ZONA	TIPO	CLAVE	DESCRIPCIÓN
Zona habitacional	Residencial D400	Hr-40	40o Hab/Ha
	Residencial D200	Hr-20	200 Hab/Ha
	Residencial D100	Hr-10	100 Hab/Ha
	Residencial D50	Hr-05	50 Hab/Ha
Zona de Comercio y Servicios	Centro Urbano	CU	Concentración de comercios, cuyo radio de influencia es uno o más municipios.
	Sub-Centro Urbano	SU	Concentración de comercios y servicios, cuyo radio de influencia es uno o más Distritos Urbanos.
	Corredor Urbano/Servicios	CS	Concentración de comercios y servicios, a lo largo de las principales vías de Transporte Vehicular de la ciudad.
	Centro de Barrio	CB	Concentración de comercios y servicios, mezclada con industria ligera, no molesta, a lo largo de las principales Vías de Transporte Vehicular en la ciudad
Zona Equipamiento	Institucional Administración y Servicios	ES	Concentración de comercios y servicios, cuyo radio de influencia es una o más parcelaciones habitacionales
Zona Verde	Area verde y espacio abierto	AV	Predominan las actividades destinadas al apoyo de las demás zonas de la ciudad
Zona industrial	Area de protección	AP	Protección de ríos, quebradas y otros recursos naturale
	Vecina	IV	No generan desechos, que por su contaminación puedan causar molestias a los vecinos
	Aislaca	IA	Producen desechos, ruidos, etc. Causando molestias a los usos vecinos

Fuente: Oficina de Planificación del Area Metropolitana de San Salvador (1996)

Cuadro 16
Clasificación del suelo rural según OPAMSS

ZONA	CLAVE	DESCRIPCION
Zona de Desarrollo Restringido	DR	Evitar la contaminación de los recursos hídricos. Autorizaciones a proyectos condicionadas al cumplimiento de restricciones
Zona de Explotación Rural	RR	Aquellas dentro del Area Rural, destinadas a la producción de bienes de tipo: silvícola, agrícola y pecuaria
Zona de Reserva Ecológica	RE	Destinada a la preservación natural

Fuente: Oficina de Planificación del Area Metropolitana de San Salvador (1996)

De acuerdo esta zonificación, y tomando en cuenta el tipo de proyecto a realizar en determinada zona, el reglamento distingue los siguientes usos de suelo:

Usos Permitidos: Aquellos usos que podrán ubicarse dentro de las zonas indicadas, sin más limitación que las establecidas por el plano General de Zonificación.

Usos Condicionados: Son aquellos usos cuya compatibilidad con los usos permitidos está condicionada a algún tipo de obra de protección o normas especiales de equipamiento urbano o arquitectónico.

Usos Prohibidos: Aquellos usos incompatibles con los permitidos en una zona determinada.

También se contemplan los **Usos Secundarios y No Conformes**, para el caso de dos o más usos en un mismo terreno y usos regales anteriores a la publicación del reglamento, respectivamente.

En la actualidad el acelerado crecimiento del AMSS ha superado las expectativas, ocasionando que las fronteras delimitadas en el Plano General de Zonificación rápidamente hayan sido sobrepasadas. Esto ha originado algunos problemas, sobre todo en la otorgación de permisos para proyectos localizados en zonas calificadas como DR y RE, por lo que se han dado casos de proyectos casi vecinos, con calificaciones diferentes, en cierta forma hasta "subjetivas".

Desde el año de 1995 se encuentra en elaboración el nuevo plan de desarrollo para el área metropolitana, conocido como PLAMADUR, financiado por el VMVDU. El proyecto se encuentra a cargo de un consorcio formado por dos empresas extranjeras y una nacional, y se espera que esté finalizado para mayo del presente año.

Con el fin de evitar que se otorguen permisos a proyectos que pudieran no estar conformes a los usos de suelo propuestos en el PLAMADUR, cada municipio ha delimitado provisionalmente, zonas de protección en las cuales actualmente no se permite ningún trámite de nuevos proyectos a través de OPAMSS hasta que entre en vigencia el PLAMADUR.

En cuanto a la conservación de los recursos, es necesario que se cuente desde ya con normativas para el control del uso del suelo acordes con la realidad nacional, en las cuales exista coherencia y uniformidad. Es vital para la conservación de los recursos el definir claramente cuáles son las zonas de reserva forestal y agrícola, en las cuales los proyectos deberán cumplir con requerimientos especiales que eviten la depredación masiva de nuestros ya escasos recursos naturales. No es posible frenar el desarrollo, con un déficit habitacional cercano al medio millón de viviendas, pero si lo es ordenarlo y controlarlo, implementando medidas en los reglamentos que concilien la ejecución de los nuevos proyectos con lo poco que queda de recursos, manteniéndose así el equilibrio y armonía necesario entre el crecimiento de las ciudades y el medio ambiente.

En lo referente al aspecto sísmico, los usos de suelo en ambos reglamentos son regidos básicamente por condiciones geográficas (cercanía con áreas pobladas), en algunos casos características agrológicas (suelos con vocación agrícola), similitud de edificaciones en cuanto a su tipo (industriales, comercio, vivienda), etc. En el caso específico del AMSS, no se observa ninguna consideración de tipo geológico o sísmico, es decir, no se norma ningún tipo de construcción por encontrarse en zonas determinadas como de alta amenaza por sus condiciones geológicas (espesores de material poco consolidado, rellenos, distribución de corrientes de lava, etc.) , ya que no son tomadas en cuenta.

5.3 Propuestas para la microzonificación de la RMSS

En la revisión de los terremotos que han afectado a San Salvador (apartado 2.4) se identificaron varios factores que contribuyeron a las altas pérdidas que no están cubiertas por el reglamento de diseño sísmico. En el Capítulo 3 se examinaron estos factores geotécnicos y el apartado 3.5 describe varios estudios de microzonificación sísmica y geotécnica para la AMSS. Debido a estos, y otros estudios ya existe una base de datos bastante amplia, pero la información todavía está dispersa y no ha sido presentada en una forma coherente e integrada. Entonces, antes de llevar a cabo más investigaciones de campo sobre las características geotécnicas y sísmicas del subsuelo en la RMSS, el primer paso ha de ser la integración de la información ya existente. Además, se debe presentar esta información en una forma que se pueda incorporar nuevos datos, para que todos los estudios posteriores contribuyan a su mejoramiento.

En una sola microzonificación se podría incorporar información sobre las fuentes sísmicas (apartado 3.1) y la amplificación del movimiento fuerte por capas de suelo blando (apartado 3.2). Una microzonificación de este tipo especificaría las cargas sísmicas que se deben aplicar en cada lugar según su cercanía a fuentes sísmicas y la geología superficial. Realmente una microzonificación de este tipo para la RMSS podría ser incorporada al reglamento de diseño sismorresistente, tal como fue previsto para el reglamento actual (apartado 4.1). Aunque hasta cierto punto este elemento de amenaza ya está cubierto por el espectro de diseño en el nuevo reglamento, una microzonificación facilitaría la aplicación de cargas apropiadas en cada zona. La microzonificación dividiría el área metropolitana en distintas zonas y especificaría un espectro de diseño para cada zona. Podría resultar necesario tener dos espectros para cada zona, uno correspondiente a sismos de la cadena volcánica y el otro a sismos en la zona de subducción, ya que la respuesta dinámica de los suelos frente a los diferentes tipos de movimientos (Figura 7) puede ser distinta.

Los otros elementos de amenaza geotécnica no inciden en las cargas inerciales a las que se someten los edificios durante un terremoto, sino en el comportamiento y falla de sus cimentaciones. Estos elementos incluyen los derrumbes y deslizamientos (apartado 3.3) y la licuefacción y el asentamiento (apartado 3.4). En estos casos se requiere de un mapa mostrando el nivel de cada amenaza en diferentes áreas de la región. La mitigación del riesgo asociado a estas amenazas se consigue a través de medidas preventivas (compactación de rellenos, estabilización de taludes, etc.) o la prohibición de las construcciones en las zonas de alto peligro.

Una vez completada la integración de los datos existentes y la definición del formato de los mapas de microzonificación, habrá que iniciar programas de investigación sobre las amenazas sísmicas y geotécnicas en la RMSS. Estos estudios investigarán la ubicación y la actividad de fallas geológicas, las propiedades dinámicas de los suelos en la región y posibles medidas de estabilización para rellenos y taludes, entre otros temas. El primer objetivo de estas investigaciones será complementar los datos existentes y al mismo tiempo resolver contradicciones entre ellos. El segundo objetivo será establecer las medidas necesarias para mitigar el impacto de las diferentes amenazas con el fin de disminuir el riesgo sísmico en la RMSS.

VI

ESTRATEGIAS PARA LA MITIGACION DEL RIESGO SISMICO EN LA RMSS

En este informe se han señalado los factores que contribuyen al alto nivel de riesgo sísmico en la Región Metropolitana de San Salvador (RMSS). De continuar el acelerado y desordenado proceso de urbanización que se viene dando en la RMSS se seguirá aumentando el nivel de riesgo y futuros terremotos (en los próximos años o décadas) podrían provocar pérdidas humanas y económicas muy elevadas.

No existe una panacea para solucionar el problema del riesgo sísmico. La estrategia para proteger la sociedad del impacto de los terremotos ha de incluir una serie de medidas de diferentes tipos que tendrán un efecto beneficioso a corto o a largo plazo. Por la naturaleza multi-disciplinaria de una estrategia de mitigación del riesgo sísmico, que se debe a la complejidad del problema, el proceso ha de involucrar todos los “actores”, muchos de los cuales han sido identificados en este informe. Por lo tanto aquí no se pretende prescribir una estrategia de mitigación sino proponer algunas medidas para estimular la discusión e interacción entre los diferentes actores, incluyendo los gremios de la ingeniería civil y arquitectura, los organismos de planificación y gestión urbana, las universidades y empresas aseguradoras. Este proceso de discusión también servirá para poner el problema sísmico en su perspectiva real e identificar la relación entre el riesgo sísmico y otros riesgos, tanto antropológicos como naturales. El riesgo sísmico, aunque de gran importancia, no es de las principales amenazas a la vida en la RMSS y existen muchos otros problemas para enfrentar también. Por tanto no se debe abordar la mitigación del riesgo sísmico como si fuera el único o el mayor peligro aunque hay que tener en cuenta que los terremotos en El Salvador han tenido un fuerte impacto en la sociedad y la economía comprometiendo en muchos casos el desarrollo económico del país. De igual manera es importante entender que la mitigación de algunos elementos del riesgo sísmico está estrechamente relacionada con la reducción de aspectos asociados a riesgos que no tiene un vínculo directo con los terremotos.

En términos generales se puede clasificar las medidas de mitigación como tecnológicas y políticas, aunque en realidad muchas medidas tienen ambas dimensiones y hay que buscar un balance entre ellas. Este balance ha de ser ajustado a las condiciones actuales en la RMSS, no con el propósito de reflejar lo que parece “correcto” según algunos criterios absolutos (y tal vez extranjeros) ni tampoco resignado a un concepto de una realidad inmutable en el país, si no de ser eficaz en proporcionar protección sísmica a la sociedad.

En cuanto a las medidas tecnológicas de mitigación el panorama actual es bastante alentador porque hay una creciente actividad en El Salvador dedicada al aumento de la seguridad sísmica. Para destacar entre estas actividades, es el desarrollo del nuevo reglamento para el diseño sísmico, el cual se ha beneficiado del esfuerzo de muchos profesionales y al mismo tiempo ha generado mucho interés en la problemática sísmica. Al mismo tiempo se están dando pasos importantes en la formación de profesionales en áreas relacionadas con la mitigación del riesgo sísmico, como cursos y seminarios que se han dictado en ASIA y CASALCO y la incorporación de materias de ingeniería sísmica en las carreras universitarias, especialmente en la Universidad de El Salvador (UES) y en la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA). Además se ha incrementado en los últi-

mos años el nivel de investigación sísmica en El Salvador, especialmente en las ya mencionadas Universidades y en el Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG) del Ministerio de Obras Públicas. Estos proyectos han sido objeto de ayuda económica y tecnológica del extranjero, como el apoyo del Centro de Prevención de Desastres en Centroamérica (CE-PREDENAC) para el CIG, el apoyo del Servicio Geológico Británico mediante una colaboración entre el CIG y el UES, y de la Comunidad Europea para proyectos en la UES y la UCA. A través de todas estas iniciativas, el número de profesionales capacitados en las áreas de sismología e ingeniería sísmica en el país está creciendo y en paralelo se aumenta la capacidad y la producción de los centros nacionales de investigación. Todo esto es de importancia fundamental para la mitigación del riesgo sísmico a largo plazo.

El reglamento de diseño sísmico es probablemente la herramienta de mayor importancia en la mitigación del riesgo sísmico a largo plazo. El reglamento actual es el tercer código de diseño sísmico que se ha publicado en El Salvador, pero tiene las virtudes de no haber sido desarrollado como respuesta inmediata a una catástrofe sísmica, sino de haber sido elaborado por un equipo grande de profesionales nacionales, de amplia envergadura a lo largo de un proceso coherente y sostenido en el tiempo. Obviamente, hay partes del reglamento que se podrían mejorar y está previsto un proceso periódico de revisión y modificación. Esto refleja la práctica en casi todos los países que se encuentran en zonas sísmicas del mundo, donde se invierte muchísimo trabajo de investigación para desarrollar y mejorar los reglamentos de diseño sísmico. En los EE.UU., Japón y Europa, por citar algunos ejemplos, los académicos que trabajan en la ingeniería sísmica orientan muchas de sus investigaciones al mejoramiento de los códigos sísmicos. Este proceso de revisión y extensión será nutrido por las investigaciones que se llevan a cabo en el país y actualizado constantemente por las actividades de los gremios de ingeniería y arquitectura.

En su forma actual, la principal debilidad del reglamento no consiste en su contenido sino en el mecanismo de su imposición. Está ampliamente reconocido que aunque el nuevo reglamento ya existe como decreto legal, no parece haber una entidad oficial encargada de inspeccionar y regir su cumplimiento. Por el propio interés profesional e integridad del gremio de la ingeniería civil, seguramente muchos ingenieros adoptarán y aplicarán el nuevo reglamento, pero una ley sin mecanismos para asegurar su cumplimiento no será obedecida por todos.

A largo plazo, la aplicación del reglamento de diseño sísmico puede reducir enormemente el nivel de riesgo sísmico, pero a corto plazo su impacto no necesariamente será muy fuerte. Aún suponiendo que el nuevo reglamento fuese universal y correctamente aplicado en todo diseño estructural y hubiese control adecuado sobre la calidad de construcción, es debatible cuanto reduciría la vulnerabilidad de la RMSS antes de que vuelva a temblar el Valle de las Hamacas.

Esta hipótesis se basa en el hecho de que hay muchas áreas de importancia que quedan fuera del reglamento. Por ejemplo, el sector de vivienda informal, que realmente no está cubierto por las normas debido a que no hay intervención ingenieril en su construcción. En el nuevo reglamento - que aborda todos aspectos de la construcción y no solamente el diseño contra efectos de sismo - hay un capítulo que trata de las construcciones en adobe, con el título: *Lineamientos para construcción en adobe* (folleto complementario a la norma especial para diseño y construcción de viviendas). Esto es muy importante porque en muchos de los sistemas tradicionales de construcción, como lámina, adobe y bahareque, hay una serie de medidas relativamente sencillas que pueden disminuir apreciablemente la vulnerabilidad de una construcción. Es cuestionable si se puede, y de hecho si se

debe, intentar regular legalmente la calidad de la construcción informal. Programas de reducción de vulnerabilidad que se han llevado con algún éxito en otros países en vías de desarrollo han sido enfocados en enseñar a los constructores de viviendas los elementos que se pueden incorporar en la construcción tradicional para aumentar su resistencia sísmica. Un primer paso en El Salvador podría ser un estudio del sector de vivienda informal, identificando las formas de construcción que actualmente dominan, su aplicación y la vulnerabilidad de cada sistema. La aplicación de los elementos sismorresistentes en la construcción tradicional, aunque generalmente son de bajo costo, puede requerir de apoyo técnico y económico por parte del gobierno o de de las ONGs porque habrán casos en los que el incremento del costo podría ser prohibitivo para muchas familias.

Las normas del reglamento sísmico no inciden fuertemente en la mitigación de las amenazas sísmicas secundarias, como son los deslizamientos y derrumbes, licuefacción y asentamiento de rellenos. La mitigación del riesgo que existe a raíz de estos elementos de amenaza ha de incluir el control o la regulación del uso del suelo urbano. Para evitar repeticiones del desastre del tipo que ocurrió en Santa Marta en octubre de 1986 es necesario que se controle la construcción en zonas de inestabilidad geotécnica, tales como taludes de los volcanes y en las orillas de las barrancas. Esto no necesariamente significa prohibir la construcción en estas zonas, pero sí asegurar que al urbanizar tales zonas se tomen las medidas necesarias para estabilizar el suelo. Con respecto a este último punto urge aumentar y profundizar la investigación sobre el comportamiento de los suelos en la RMSS, al tiempo que se debe desarrollar y divulgar la tecnología de mejoramiento de suelos y estabilización de taludes. Sin embargo, se han invertido ya bastantes esfuerzos en producir las diferentes propuestas de microzonificación que se han presentado en este informe, pero ninguna de ellas ha sido adoptada. Por tanto, aunque es útil que continúen las investigaciones sobre los suelos de la RMSS y su comportamiento sísmico, antes de publicar una microzonificación hay que identificar claramente cómo y por quién se empleará. Como se mostró en el apartado anterior, actualmente ninguna de las instituciones encargadas de la gestión del uso de suelo en las zonas urbanas usa información sobre amenazas geológicas y sísmicas y por ende estas amenazas no se toman en cuenta en la gestión urbana. La producción de mapas de microzonificación se debe llevar a cabo en consulta con estas instituciones para asegurar que incluya la información necesaria para su aplicación y que el formato de estos mapas sea el apropiado.

Tal vez, a corto plazo, el elemento de mayor riesgo que el reglamento no aborda es el gran número de edificios dañados en previos terremotos, los cuales se encuentran en un estado de alta vulnerabilidad. En el terremoto de 1986 se vio claramente la importancia del daño acumulado con el colapso de varios edificios grandes que habían sido debilitados por los sismos de 1965 y 1982. La reparación de una estructura dañada por sismo no es sencilla porque se ha de estudiar como las mismas reparaciones modifican el comportamiento sísmico del edificio. Por ejemplo, en la UES varios edificios de cuatro plantas quedaron seriamente dañados en su primera planta en el sismo de 1965. Rosenblueth (1965), en su informe para UNESCO, advirtió que era necesario no solamente reparar la primera planta sino la totalidad de la edificación. A pesar de esta recomendación, los edificios fueron reparados simplemente aumentando las dimensiones de las columnas en las primeras dos plantas. En el sismo de 1986, tal como Rosenblueth había predicho, la rigidez incrementada de las primeras plantas simplemente impuso mayores fuerzas inerciales a las plantas superiores, que no habían sido reforzadas, fallando esta vez las columnas en la planta superior. La reparación y refuerzo de una estructura dañada por sismo ha de comenzar con un análisis del comportamiento dinámico para identificar sus deficiencias en cuanto a rigidez, fuerza y ductilidad, y las modificaciones han de tomar en cuenta el efecto sobre

estas tres características del comportamiento del edificio en futuros movimientos sísmicos. La reparación y refuerzo o la demolición de edificios dañados también tiene su aspecto político muy delicado, como en el muy conocido caso del Edificio Rubén Darío. No es fácil imponer un reglamento sobre la seguridad de estructuras ya existentes, sobre todo en la ausencia de una fuerte gestión urbana. Sin embargo, si los patrones vistos en el terremoto de 1986 se repiten en el próximo terremoto, entonces el colapso de los edificios dañados parcialmente en octubre de 1986 será un factor de marcada importancia en determinar el nivel de desastre. Precisamente en la cuestión de la seguridad de edificios antiguos es donde más urge la interacción entre los actores para encontrar soluciones a este problema debido a su complejidad. Por ejemplo, en el sismo del 10 de octubre de 1986 quedaron dañados unos edificios multi-familiares de FONAVIPO en la Colonia Atlacatl. A juicio de FONAVIPO los edificios estaban en un estado precario y por tanto fueron declarados inhabitables, pero no han podido convencer desde entonces a los habitantes que abandonen los edificios a pesar de haberles ofrecido alojamiento en otros lugares. El pleito se llevó en 1995 a la corte y el juez decidió a favor de los habitantes de los edificios multi-familiares a permanecer allí. También hay que tomar en cuenta que actualmente existe el peligro - por la feroz competencia entre las empresas aseguradoras - que se aseguren edificios muy vulnerables en los casos en los que al dueño le es más conveniente asegurar el edificio que reforzarlo. Es claro, que en esta problemática inciden factores políticos, económicos, legales y tecnológicos y urge enfrentarlos para buscar soluciones. De lo contrario, será necesario esperar el próximo cataclismo sísmico como una oportunidad para iniciar la renovación urbana y la verdadera reducción del riesgo en la RMSS.

Sin embargo, esto no debe ser un ejercicio académico, sino que debe estar dirigido específicamente a sus usuarios. Como se mostró en el apartado anterior, actualmente ninguna de las instituciones encargadas del uso del suelo en las zonas urbanas utiliza información sobre amenazas geológicas y sísmicas, y por ende estas amenazas no se tomen en cuenta en la gestión urbana. La producción de mapas de microzonificación se debe llevar a cabo en consulta con estas instituciones, para asegurar que incluya la información necesaria para su aplicación, y que el formato sea apropiado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar, C.E. (1986) Geología, Geografía de El Salvador. Dirección de Publicaciones, Ministerio de Cultura y Comunicaciones, San Salvador, pp. 29-87.
- Aguilar Colato, R.A. (1990) Microzonificación en base a criterios geotécnicos, estimación de las propiedades dinámicas y análisis de respuesta local de los suelos del Area Metropolitana de San Salvador (AMSS). Seminario Internacional de microzonificación y de seguridad de sistemas y servicios públicos vitales. Lima, Perú.
- Alfaro, C.S., A.S. Kiremidjian y R.A. White (1990) Seismic zoning and ground motion parameters for El Salvador. *Report No. 93*, The John A. Blume Center for Earthquake Engineering Research, Stanford University.
- Algermissen, S.T., S.L. Hansen y P.C. Thenhaus (1988) Seismic hazard evaluation for EL Salvador. Informe preparado parra USAID.
- Algermissen, S.T. y D.M. Perkins (1976) A probabilistic estimate of maximum accelerations in rock in the contiguous United States. *US Geological Survey Open-File Report*.
- Ambraseys, N.N. y R.D. Adams (1996) Large Central American Earthquakes 1898-1930. *Geophys. J. Intern.* **127**, 665-692.
- Alvarez, J. (1982) Informe técnico sobre aspectos sismológicos del terremoto en El Salvador, del 19 de junio de 1982. Centro de Investigaciones Geotécnicas, Ministerio de Obras Públicas, San Salvador.
- Atakan, K y R. Torres (1994) Local site effects in the October 10, 1986 earthquake in San Salvador, El Salvador. *Submitted to Geophysical Journal International*.
- Bertero, V.V. (1994) Major issues and future directions in earthquake-resistant design. *Proceedings, Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, Madrid, julio de 1992, **11**, 6407-6444.
- Bilham, R. (1988) Earthquakes and urban growth. *Nature* **336**, 15 December, 625-626.
- Bommer, J. (1985) The politics of disaster - Nicaragua, *Disasters: The International Journal of Disaster Studies and Practice*, Vol. 9, No. 4, 270-278.
- Bommer, J. (1994) Sismología para ingenieros. Papel Técnico F93001, UCA, San Salvador.
- Bommer, J. (1996) Terremotos, urbanización y riesgo sísmico en San Salvador. *Boletín PRISMA* **18**.
- Bommer, J.J. y N.N. Ambraseys (1989) The Spitak (Armenia, USSR) earthquake of 7 December 1988: a summary engineering seismology report. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **18**, 921-925.
- Bommer, J.J., D.A. Hernández, J.A. Navarrete & W.M. Salazar (1996) Seismic hazard assessment for El Salvador. *Geofísica Internacional*, **35**, 3, 227-244.
- Bommer, J.J. & S.R. Ledbetter (1987) The San Salvador earthquake of 10 October 1986. *Disasters*, **11**, 83-95.

Bommer, J.J., A. Udías, J.M. Cepeda, J.C. Hasbun, W.M. Salazar, A. Suárez, N.N. Ambraseys, E. Bufor, J. Cortina, R. Madariaga, P. Médez, J. Mezcua y D. Papastamatiou (1997^a). A new digital accelerograph network for El Salvador. *Seismological Research Letters*, May/June 1997, vol. **68**, No. **3**.

Bommer, J.J., C. McQueen, W. Salazar, S. Scott y G. Woo (1997b) Spatial distribution of seismic hazard in El Salvador. *Seminario sobre Evaluación y Mitigación del Riesgo Sísmico en el Area Centroamericana*, 22-27 de septiembre. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, San Salvador, El Salvador

Chieruzi, R. (1987) The San Salvador earthquake of October 10, 1986 – Geotechnical Effects. *Earthquake Spectra*, **3**, 483-489.

Coburn, A. y R. Spence (1992) Earthquake protection. Wiley.

Comité de Emergencia Nacional (1997) Listado de comunidades sujetas a posibles deslizamientos.

Compañía Suiza de Reaseguros (1987) Notas Técnicas TS/EG 1987-S-1000.

Dewey, J.W. & Suárez (1991) Seismotectonics of the Middle America. *In: Slemmons et al.* eds. Neotectonics of North America, Geol. Soc. Am. Decade Map, vol. **1**, 323-338.

Dowrick, D.J. (1977) Earthquake resistant design: a manual for engineers and architects. Wiley.

Durkin, M.E. (1987) The San Salvador earthquake of October 10, 1986 – casualties, search and rescue, and response of health care system. *Earthquake Spectra*, **3**, 609-620.

Elnashai, A.S., J.J. Bommer y A.Y. Elghazouli (1989) The Loma Prieta (Santa Cruz, California) earthquake of 17 October 1989. *ESEE Research Report No. 89-11*, Imperial College, Londres.

Faccioli, E., C. Battistella, P. Alemani & Tibaldi (1988) Seismic microzoning investigations in the Metropolitan Area of San Salvador, El Salvador, following the destructive earthquake of October 10, 1986. *Proceedings, Int. Seminar on Earthquake Engineering*, Universität Innsbruck, Austria, 28-65.

Flores, P. (1996) Estadísticas de edificios dañados por el terremoto del 10 de octubre de 1986. Memorias del Seminario: *La ingeniería sísmica de El Salvador a diez años del terremoto del 10 de octubre de 1986*. Universidad de El Salvador.

Fourier d'Albe, E. (1988) An approach to earthquake risk management. *Engineering Structures* **4**, 147-152.

Guinea, R.A., A.C. Manzano, E.A. Martínez, A.R. Pineda y R. I. Torres (1995) Metodologías para la evaluación del riesgo sísmico en El Salvador, con aplicación a las instituciones educativas. Tesis de Graduación, UCA, San Salvador.

Grases, J. (1974) Sismicidad de la región centroamericana asociada a la cadena volcánica del Cuaternario. UCV-OEA, Caracas.

Grases, J. (1994) Terremotos destructores del Caribe, 1502-1990. UNESCO-RELACIS. Montevideo, Uruguay.

Guzmán Urbina, M.A. & E. Melara (1997) Propiedades ingenieriles del suelo del Area Metropolitana de San Salvador, C.A. Revista ASIA.

Guzmán Velasco, C.L., R.E. Linares Guzmán & M.R. Morales Huevo (1996) Microzonificación geotécnica del AMSS : primera etapa. Tesis de Graduación, UCA.

Harlow, D.H., R.A. White, M.J. Rymer y S. Alvarado G. (1993) The San Salvador earthquake of 10 October 1986 and its historical context. *Bull. Seism. Soc. America*, **83**, 1143-1154.

Harlow, D.H., R.A. White, M.J. Rymer y S. Alvarado G. (1993) The San Salvador earthquake of 10 October 1986 and its historical context. *Bull. Seism. Soc. America*, **83**, 1143-1154.

Instituto Panamericano de la Geografía y la Historia (1996) Catálogo sísmico para El Salvador. Lancaster University, England.

Joyner, W. y D. Boore (1982) Prediction of earthquakes response spectr., *U.S. Geological Survey Open File Report 82-977* Menlo Park, California.

Keefer, D.K. (1984) Landslides caused by earthquakes. *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. **95**, p. 406-421.

Lara, M.A. (1987) History of construction practices in San Salvador. *Earthquake Spectra*, **3**, 491-496.

Lara, M.A. (1982) The El Salvador earthquake of June 19, 1982, *EERI Newsletter*, **17**, 1, January, 87-96.

Lardé, J. (1960a) Historia sísmica y erupción-volcánica de El Salvador: documentación histórica, crítica y conclusiones. Obras Completas, Tomo I, Ministerio de Cultura, San Salvador.

Lardé, J. (1960b) Los terremotos del 6 de septiembre de 1915 y los demás terremotos de El Salvador. Obras Completas, Tomo I, Ministerio de Cultura, San Salvador, 31-133.

Linares, R. A. (1985) Microzonificación sísmica del AMSS, basada en la observación de microtemblores, espectros de respuesta y registros de sismoscopios. Tesis de Graduación, UCA.

Lindholm, C., W. Rojas, H. Bungum, A. Dahle, E. Camacho, H. Cowan y M. Laporte (1995) New regional seismic zonation for Central America. *Proceedings, Fifth International Conference on Seismic Zonation*, vol **1**, 437-444.

Lomnitz, C. & R. Schulz (1966) The San Salvador earthquake of May 3, 1965. *Bull. Seism. Soc. America*, **56**, 561-575.

Lungo, M., F. Oporto, R. Chinchilla (1996) Proceso de urbanización y sostenibilidad en El Salvador. PRISMA No. 17.

Martínez, M.A. (1980) Cronología sísmica y eruptiva de la república de El Salvador a partir de 1520. Centro de Investigaciones Geotécnicas, Ministerio de Obras Públicas, San Salvador.

Martínez H., M.A. (1979) Microzonificación sísmica del área metropolitana de San Salvador. *Tecnología y Ciencia*, UCA, abril-junio, año 1, no. 2, 111-133.

Meyer-Abich, H (1952) Terremotos de Jucuapa en El Salvador (América Central), 6-7 de mayo de 1951. Comunicaciones del Instituto Tropical de Investigaciones Científicas, Universidad de El Salvador.

Mejía E.B. (1996) Incidencia en la infraestructura hospitalaria del ISSS y el impacto al sistema de atención. Memorias del Seminario: *La ingeniería sísmica de El Salvador a diez años del terremoto del 10 de octubre de 1986*. Universidad de El Salvador

Melara, E.E. (1987) Aspectos geotécnicos relevantes posteriores al terremoto de San Salvador del 10 de octubre de 1986. *Revista ASIA* No. **86**

Méndez, M.P. (1985) Evaluación del péndulo de torsión libre como instrumento para la determinación de la velocidad de ondas de corte en los suelos. Tesis de Graduación, UCA.

Ministerio de Obras Públicas (1997) Reglamento de Diseño Estructural para las Construcciones

Molnar, P. & L.R. Sykes (1969) The tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity. *Bulletin of the Geological Society of America*, **80**, 1639-1684.

Montessus de Ballore, F. (1884) Temblores y erupciones volcánicas en Centroamérica. San Salvador.

Murphy, J.R. y L.J. O'brien (1977) The correlation of peak ground acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters. *Bull. Seism. Soc. America*, **67**, 877-915.

Nakamura, Y. (1989) A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *QR of RTRI*, **30** (1), 25-33.

Oficina de Planificación del Area Metropolitana de San Salvador (1996) Reglamento a La Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Area Metropolitana de San Salvador y los Municipios Aledaños (1996).

PRISMA (1997) Hacia una estrategia ambiental para la Región Metropolitana de San Salvador. Boletín No. 22.

Rosa, H. y D. Barry (1995) Población, territorio y medio ambiente en El Salvador. PRISMA 11, mayo-junio.

Rosenblueth, E. y J. Prince (1966) EL temblor de San Salvador, 3 de mayo de 1965: ingeniería sísmica. Ingeniería, UNAM, vol. **36**, 1, 31-58.

Rosenblueth, E. (1965) The San Salvador earthquake of 3 may 1965. Earthquake Engineering Report to UNESCO.

Roth, R. (1997) Insurance. Earthquake Basics Brief. No. **3**. *EERI*.

Rymer, M.J. (1987) The San Salvador earthquake of October 10, 1986 - geologic aspects. *Earthquake Spectra*, **3**, 435-463.

Rymer, M.J. & R.A. White (1989) Hazards in El Salvador from earthquake induced landslides. Brabb & Harrod eds., Landslides : extent and economic significance, Balkema, Rotterdam, 105-109.

Salazar, W.M. , N.N. Ambraseys, J.J. Bommer (1997) Compilación de un catálogo sísmico para El Salvador y zonas aledañas, 1898-1993. *Seminario sobre Evaluación y Mitigación del Riesgo Sísmico en el Area Centroamericana*, 22-27 de septiembre. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, San Salvador, El Salvador.

Schmidt-Thomé, M. (1975) The geology in the San Salvador area (El Salvador, Central America): a basis for city development and planning. *Geologisches Jahrbuch*, **13**, 207-228. Hannover, Alemania.

Shulz, R. (1965) Mapa sísmico de la República de El Salvador. Centro de Est. Invest. Geotec. Boletín Sismológico. 10:8.

Shakal, A.F., M. Moh-Jiann Huang y R. Linares, 1987. The San Salvador earthquake of October 10, 1986 - processed strong motion data. *Earthquake Spectra*, **3**, 465-481.

Singh, S.K., C. Gutiérrez, J. Arboleda y M. Ordaz (1993) Peligro sísmico en El Salvador. Universidad Autónoma de México, México.

Sol, L. (1985) Conferencia Población y Desarrollo Urbano. Asociación Demográfica Salvadoreña.

Stoiber, R.F. y M.J. Carr (1977) Geological setting destructive earthquakes in Cenral America. Geological Society of American Bulletin. Vol. 88, 9. 151-156

Superintendencia del Sistema Financiero (1996) Anuario Estadístico de Seguros, Vol. 24-34

Sutch Osiecki, P. (1981) Estimated intensities and probable tectonic sources of historic (pre-1898) Honduran earthquakes. *Bull. Seism. Soc. America*, **71**, 865-881.

Ulrich, F.P. (1946) Report on seismological work in El Salvador. Internal Report, US Coast and Geodetic Survey.

Vargas, J.F. (1996) Impacto dle sismo del 10m de octubre de 1986 sobre las instalaciones de salud y medidas implementados por el Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social. Memorias del Seminario: La Ingeniería Sísmica de El Salvador a diez años del terremoto del 10 de octubre de 1986. Universidad de El Salvador.

Weyl, R. (1980) Geology of Central America. Gebrüder Borntrager, Alemania.

White, R.A. (1991) Tectonic implications of upper-crustal seismicity in Central America. *In: D.B. Slemmons et al. eds, Neotectonics of North America*, Geol. Soc. Am. Decade Map Volume **1**, 323-338.

White, R.A. & D.H. Harlow (1993) Destructive upper-crustal earthquakes of Central America since 1900. *Bull. Seism. Soc. America*, **83**, 1115-1142.

GLOSARIO

Aceleración máxima. El valor absoluto del pico máximo de aceleración en un acelerograma.

Acelerógrafo. Instrumento que registra la aceleración del terreno en el campo cercano de un sismo.

Acelerograma. Un registro de aceleración en función del tiempo.

Astenosfera. La capa dentro del manto que se encuentra por debajo de la litosfera, caracterizada por bajas velocidades de propagación.

Atenuación. Disipación de la energía sísmica con la distancia desde la fuente sísmica.

Amortiguamiento. Es la capacidad de un sistema para disipar energía durante vibraciones.

Campo cercano. Área alrededor de una fuente sísmica delimitada por una distancia desde la falla comparable con la dimensión máxima de la ruptura.

Cortante basal. La fuerza horizontal usada en el diseño que actúa al nivel de la base de una estructura en un sismo.

Corteza. La parte rocosa más exterior de la Tierra.

En echelon. Patrón de grietas paralelas que aparecen en el terreno asociadas con la ruptura de una falla de desgarre.

Epicentro. El punto en la superficie de la Tierra directamente. Encima del foco.

Espectro de Respuesta. Representación de la máxima respuesta, en términos de aceleración, velocidad o desplazamiento, de un sistema elástico con solo grado de libertad a un movimiento fuerte en función de la frecuencia natural o el período natural.

Falla activa. Una falla geológica a lo largo de la cual ha habido desplazamientos de falla en tiempos históricos o donde se han localizado focos de terremotos.

Falla de desgarre. Una falla geológica a lo largo de la cual sólo hay deslizamiento de falla horizontal.

Falla geológica. Una fractura o zona de fractura en rocas a lo largo de la cual los dos lados se han desplazado, el uno con relación al otro, paralelamente a la fractura.

Falla normal. Una falla geológica en la cual el bloque superior se ha movido hacia abajo con respecto al bloque inferior.

Fosa oceánica. Trinchera en el suelo oceánico en una zona de subducción donde la corteza oceánica desciende por debajo de la corteza continental.

Fuente. El punto, área o volumen desde donde se origina la radiación de las ondas sísmicas.

Graben. Bloque de corteza generalmente largo y estrecho, que se ha hundido con respecto a los bloques adyacentes y se encuentra bordeado por fallas normales.

Grado de libertad. Número de coordenadas independientes requeridas para definir la deformación de un sistema.

Ingeniería sísmica. La aplicación de los conocimientos de los sismos y las vibraciones del suelo al diseño y la construcción de obras civiles y obras públicas para proporcionar protección a vidas y recursos en caso de un terremoto.

Intensidad. Es una medida de la fuerza de la sacudida en un lugar y se evalúa en base a observaciones de los efectos sobre personas, edificios y el terreno. La escala más utilizada en América Latina es la de Mercalli Modificada (MM) de 12 grados (Véase Anexo A).

Listosfera. La parte rígida más exterior de la Tierra compuesta de la corteza y la parte exterior del manto.

Magma. Material de roca fundida que forman las rocas ígneas cuando se solidifican; incluye material de la corteza fundida en zonas de subducción que se conoce como lava cuando llega a la superficie.

Magnitud. Es una medida de la fuerza de un terremoto o más exactamente de la energía sísmica liberada, calculada en base a registros de las ondas sísmicas (sismogramas). La primera escala de magnitud la inventó Charles **Richter**. La escala de magnitud es logarítmica, por lo que un incremento de una unidad de magnitud corresponde a un aumento de 30 veces en la energía liberada, es decir, que por ejemplo un sismo de magnitud 7 libera casi mil veces más energía que un sismo con magnitud 5. Los terremotos más grandes han alcanzado magnitudes del orden de 8.5.

Manto. La parte más voluminosa de la Tierra entre la corteza y el núcleo, compuesta de rocas silicatadas densas y dividida en cierto número de capas concéntricas.

Mapa de amenaza sísmica. Mapa que se construye evaluando la amenaza en una serie de puntos y trazando curvas de igual nivel de aceleración. Tales mapas además de identificar las áreas de mayor peligro para fines de planificación, establecen los niveles de aceleración que se deben considerar en el diseño sísmico.

Mapas de isosistas. Mapas que muestran curvas que delimitan zonas que experimentaron la misma intensidad durante un terremoto.

Movimiento fuerte. Temblor del suelo en el campo cercano de un terremoto de gran amplitud, perceptible por personas.

Núcleo. Parte central de la Tierra, compuesta de hierro y silicatos, fundido en su parte externa y sólido en su parte central.

Ondas internas. Nombre colectivo para las ondas P y S.

Ondas P. Las ondas sísmicas que viajan más velozmente, también conocidas como ondas primarias.

Ondas S. Las ondas sísmicas que viajan más lentamente que las ondas P, también conocidas como ondas secundarias.

Ondas sísmicas. Ondas elásticas dentro de la Tierra, generadas por un terremoto o una explosión.

Período natural. El período de vibración de un sistema sometido a un desplazamiento.

Período fundamental. El período natural más alto de un sistema con múltiples grados de libertad.

Premonitores. Sismos de pequeña magnitud que ocurren antes de un terremoto.

Presión de Poros. Es la presión inducida en el fluido (agua) que llena los poros de un suelo.

Rocas ácidas. Roca ígnea cuyo porcentaje de Oxido de Silicio es mayor al 66%.

Rocas básicas. Roca ígnea cuyo porcentaje de Oxido de Silicio es menor al 52%.

Rocas efusivas. Rocas ígneas volcánicas que se originan por el enfriamiento rápido de las corrientes de lava expulsadas por las erupciones volcánicas.

Rocas ígneas. Rocas originadas por el enfriamiento del magma.

Rocas intermedias. Roca ígnea cuyo porcentaje de Oxido de Silicio está entre el 52% y el 66%.

Rocas piroclásticas. Rocas formadas por la agregación de fragmentos de lava solidificada producidos durante las explosiones volcánicas, o por la proyección en la atmósfera de lava líquida que se consolida total o parcialmente antes de caer al suelo.

Rocas sedimentarias. Rocas formadas por la acumulación de los productos resultantes de la destrucción de otra roca anterior, tienen una composición química muy distinta de la correspondiente a la roca primitiva.

Réplicas. Sismos de pequeña magnitud que siguen un terremoto.

Tectónica. Adjetivo para referirse a la estructura de la superficie de la Tierra, y a las fuerzas y deformaciones de la misma.

Sismo. Sinónimo de terremoto.

Sismoscopio. Instrumento que registra el movimiento del terreno en un sismo sin señales de tiempo.

Sismógrafo. Instrumento que registra los movimientos de la superficie de la Tierra en función del tiempo, que son causados por ondas sísmicas.

Sismograma. El registro producido por un sismógrafo.

Vida útil. El período de tiempo durante el cual está previsto el uso de una construcción.

Volcán. Abertura de la corteza que ha permitido al magma salir de la superficie.

Zonificación sísmica. Mapa de una región que indica áreas donde el nivel de amenaza sísmica es casi constante, o donde se exigen los mismos criterios para el diseño sismorresistente.



3a. Calle Poniente No. 3760, Col. Escalón, San Salvador
Dirección Postal: Apartado 01-440, San Salvador, El Salvador, C.A.
Tels.: (503) 298-6852, (503) 298-6853 y (503)224 3700; Fax: (503) 223-7209
International Mailing Address: VIP No. 992, P.O. Box 52-5364, Miami FLA 33152, U.S.A.
E-Mail: info@prisma.org.sv URL: <http://www.prisma.org.sv>