

Capítulo 4. Características sismológicas del evento

Raúl González Herrera

(UNICACH)

Carlos Narcía López

(UNICACH)

Fuentes sismogénicas del estado de Chiapas

La costa de Chiapas presenta una situación incierta respecto a otras zonas del Pacífico mexicano (Michoacán, Guerrero y Oaxaca), ya que aunque es una zona de alta sismicidad, se han realizado pocos, o no suficientes, estudios al respecto. Quizás esto sea debido a que los sismos propios de la región no tienen influencia importante en el centro del país. Si bien desde mediados del siglo XX no han ocurrido grandes terremotos debidos a la subducción de la placa del Pacífico, a diferencia de las costas de Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero, son frecuentemente sentidos los sismos de magnitudes pequeñas y moderadas debidos, entre otros factores, a la actividad volcánica; asimismo, entre 1994 y 1995 se presentaron dos sismos profundos intraplaca de magnitud de 6.8 y 7.1, con epicentro en Villaflores y sentidos de manera intensa en Tuxtla Gutiérrez.

Pese a que existe un gran desconocimiento de la historia sísmica del sitio de subducción (costa de Chiapas, para la placa del Pacífico respecto a la placa Norteamericana), cabe claramente la posibilidad de que la zona de subducción de la costa ha estado intermitentemente inmóvil

durante más de 200 años, preparándose para un evento de grandes dimensiones.

En contraste con esto, podría argumentarse que por algún motivo desconocido, el deslizamiento relativo entre las placas de Cocos y Norteamérica se lleva a cabo en forma continua, mediante un comportamiento plástico de la falla. Si esto fuese cierto, no habría energía elástica acumulada y no sería necesaria la existencia de enormes deslizamientos para liberarla, como sucede en las demás zonas de subducción. Cabe señalar, sin embargo, que este mismo argumento se utilizó con respecto a la brecha de Michoacán antes del sismo de 1985, y que por estudios recientes se considera poco probable¹.

La alta sismicidad presentada en el estado de Chiapas se debe a la interacción de tres placas tectónicas, en donde la placa oceánica de Cocos se mueve en dirección de convergencia frontal con las placas de Norteamérica y del Caribe, como puede apreciarse en la figura 1 (Servicio Sismológico Nacional (SSN), 2002). El movimiento convergente entre las placas señaladas es mayor a 7.5 cm/año en las costas del estado de Chiapas como se observa en la figura 5.

Los sismos que han afectado al estado de Chiapas han tenido cinco fuentes sismogénicas. La primera y más importante fuente sismogénica, es la resultante del proceso de subducción de la placa de Cocos bajo la Norteamericana, misma que da origen a los sismos de gran magnitud ($M > 7.0$) ocurridos en toda la República Mexicana (Suárez y Singh, 1986; Pardo y Suárez, 1995). Los sismos producidos por esta fuente han alcanzado magnitudes de 7.7 e intensidades con isosistas en el estado de Chiapas desde VI hasta X, como en los sismos del 23 de septiembre de 1902 (Figueroa, 1973) y, recientemente, del 21 de enero de 2002, con magnitud de 6.7.² Pese a que no ha sido suficientemente estudiado, los sismos de subducción en la región de la costa de Chiapas pueden ocasionar tsunamis importantes, como lo reporta el CENAPRED en su serie Fascículos en el tomo dedicado a estos fenómenos y elaborado por Farreras y otros, (2005).

¹ Verificar en la página del Servicio Sismológico Nacional la historia sísmica de México www.ssn.unam.mx

² Revisar la página del Servicio Sismológico Nacional www.ssn.unam.mx para verificar el informe del sismo del 21 de enero de 2002.

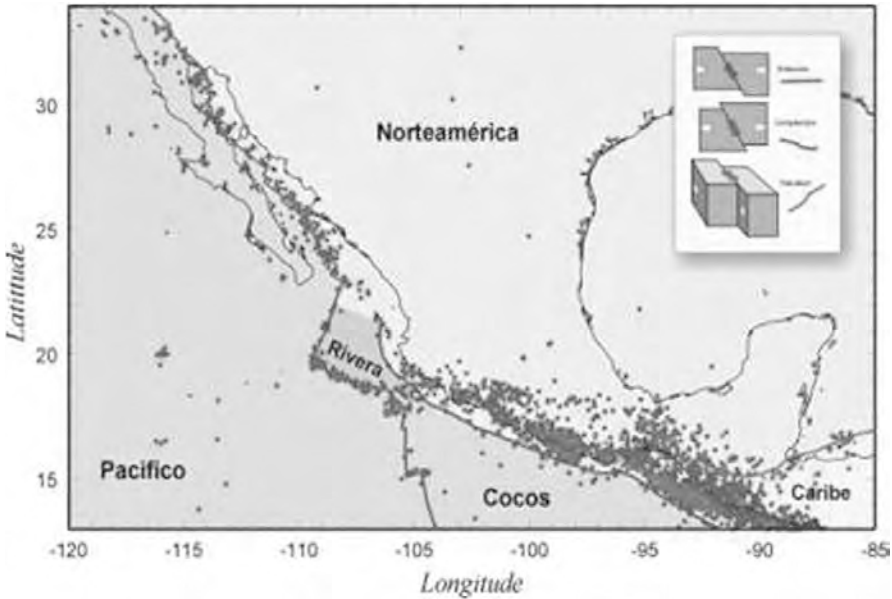


Figura 1. Distribución de placas tectónicas en México. Puntos rojos representan sismos superficiales (menores a 40 km) y azules sismos profundos (SSN, 2002).

La segunda fuente sismogénica está constituida por la deformación interna de la placa subducida, lo cual produce sismos profundos o de mediana profundidad (desde 80 hasta 300 km), como el sismo de Villaflores del 20 de octubre de 1995 —sismo motivo del presente libro, con magnitud $M_w=7.2$, una profundidad focal de 165 km y un área de ruptura de $30 \times 10 \text{ km}$ (Rebollar *et al.*, 1999)—. La profundidad de subducción de la placa de Cocos es mayor que en otras regiones del Pacífico Mexicano y cercana a los 45° , por lo que los sismos en las costas de Oaxaca, Guerrero y Michoacán no rebasan una profundidad de 80 km, mientras que en Chiapas la profundidad de los sismos alcanza valores cercanos a los 200 km, como se observa en la figura 2 (Ponce y otros, 1992; Barrier y otros, 1998).

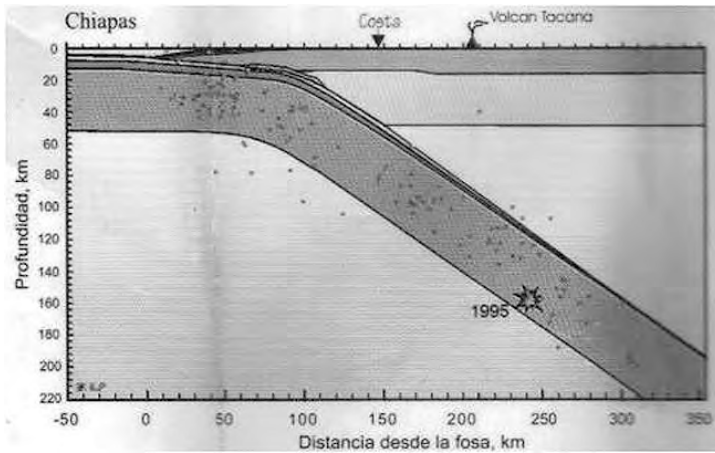
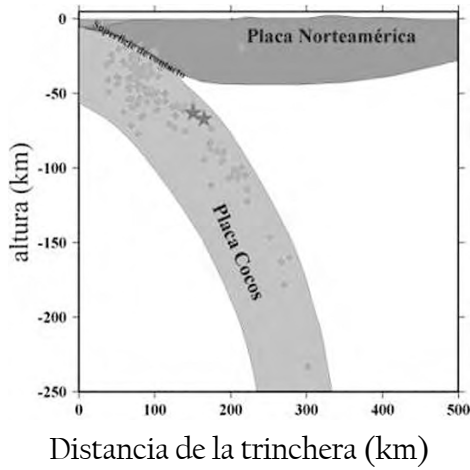


Figura 2. Profundidad y distancia donde se presentan los sismos profundos de subducción en la costa de Chiapas (Barrier y otros, 1998).

Una tercera fuente corresponde a la deformación cortical debida a sistemas de fallas superficiales que originan temblores de pequeña profundidad (menores a 40 km) presentes en el estado, como lo reporta Figueroa (1973), donde enuncia al menos 15 fallas importantes. Esta fuente origina sismos que, no obstante que son de magnitud moderada, producen daños locales importantes, ejemplo de esta fuente son los enjambres de sismos originados en Chiapa de Corzo entre los meses de

julio y octubre de 1975, ver figura 3 (modificada de Figueroa y otros, 1975). Pese a lo anterior, parte importante de la sismicidad cortical de la región ha sido atribuida a la construcción del sistema de presas del río Grijalva, llevada a cabo a finales de los años setenta, y al llenado de las cortinas de éstas por la presión de poro ejercida sobre el suelo (Rodríguez y otros, 1985).

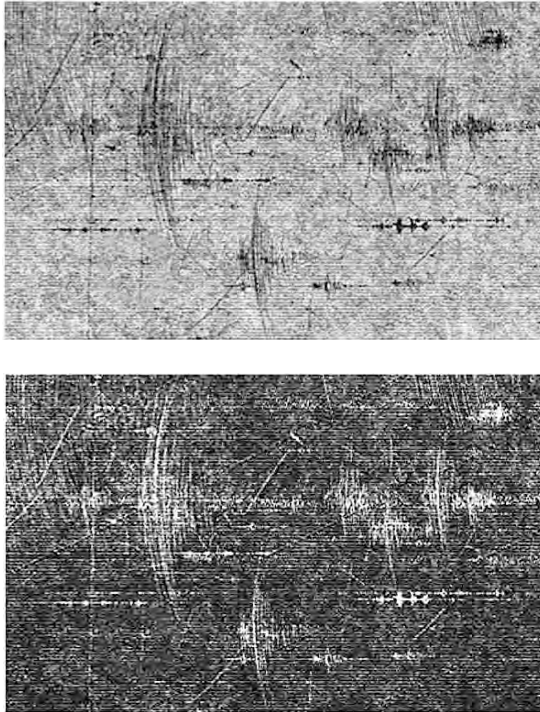
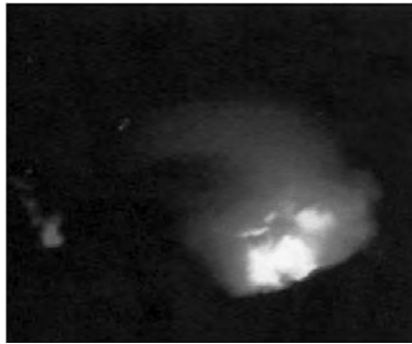


Figura 3. Enjambres sísmicos presentados frecuentemente en la región central de Chiapas durante la construcción de las presas (modificado de Figueroa y otros, 1975)

Una cuarta fuente sismogénica, que quizás es la de menor peligrosidad para el estado en su conjunto, está constituida por la presencia de los volcanes activos en el estado de Chiapas, el Tacaná y el Chichonal o Chichón. Este último mostró su potencial el 28 de marzo y el 3 y 4 de abril de 1982 donde, tras su erupción, se reportaron mil 770 personas muertas y 510 personas desaparecidas; 21 mil 911 personas damnifica-

das; 41 mil 411 hectáreas de cultivos dañadas y 205 millones de dólares en pérdidas, (ver figuras 4a y 4b). En tanto que el volcán Tacaná hizo erupción el 8 de mayo de 1986, alarmando a la población y generando fumarolas importantes y un enjambre sísmico en la ciudad de Tapachula. Actualmente los volcanes de Chiapas son monitoreados por el Servicio Sismológico Nacional, el Instituto de Protección Civil y la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (*Atlas de riesgo del estado de Chiapas 2003* y *Plan de contingencias de los volcanes 2009*).



a. Erupción del volcán Chichonal



b. Imagen posterior a la erupción

Figura 4. Erupción del volcán Chichonal en Chiapas en marzo de 1982 (*Atlas de riesgo del estado de Chiapas, 2003*)

La última fuente sísmica se deba al fallamiento lateral izquierdo entre la placa Norteamericana y la del Caribe (figura 5), que ha producido sismos muy importantes como el del 18 de abril de 1902 que destruyó gran parte de los monumentos históricos de la ciudad de Antigua Guatemala y que alcanzó intensidades de VIII en la zona del Soconusco en Chiapas (Belén y otros, 2001).

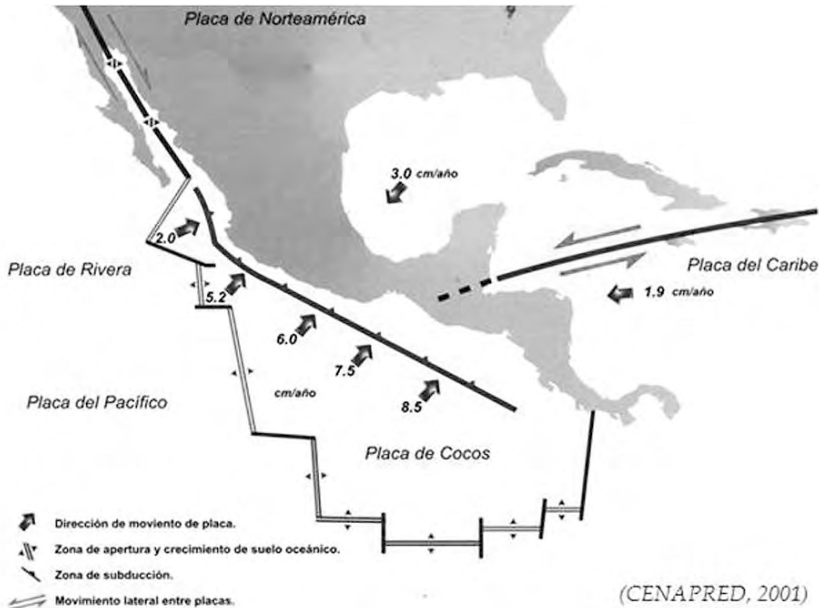


Figura 5. Marco tectónico de la República Mexicana (CENAPRED, 2001).

El peligro sísmico en la región no está bien definido a causa de la carencia de estudios sismológicos, parámetros físicos (aceleración, velocidad, desplazamientos, leyes de atenuación, entre otros) y/o estudios estadísticos como los periodos de retorno. En general, la información disponible sobre el peligro sísmico en el estado de Chiapas es escasa, debido a la falta de instrumentación, la cual se remonta a —quizás— 20 años, sin contar la instrumentación en las presas. No obstante lo anterior, se han logrado detectar sismos históricos como los mostrados en la figura 6³.

³ Figura en la obtenida de la página de internet del Servicio Sismológico Nacional www.ssn.unam.mx.

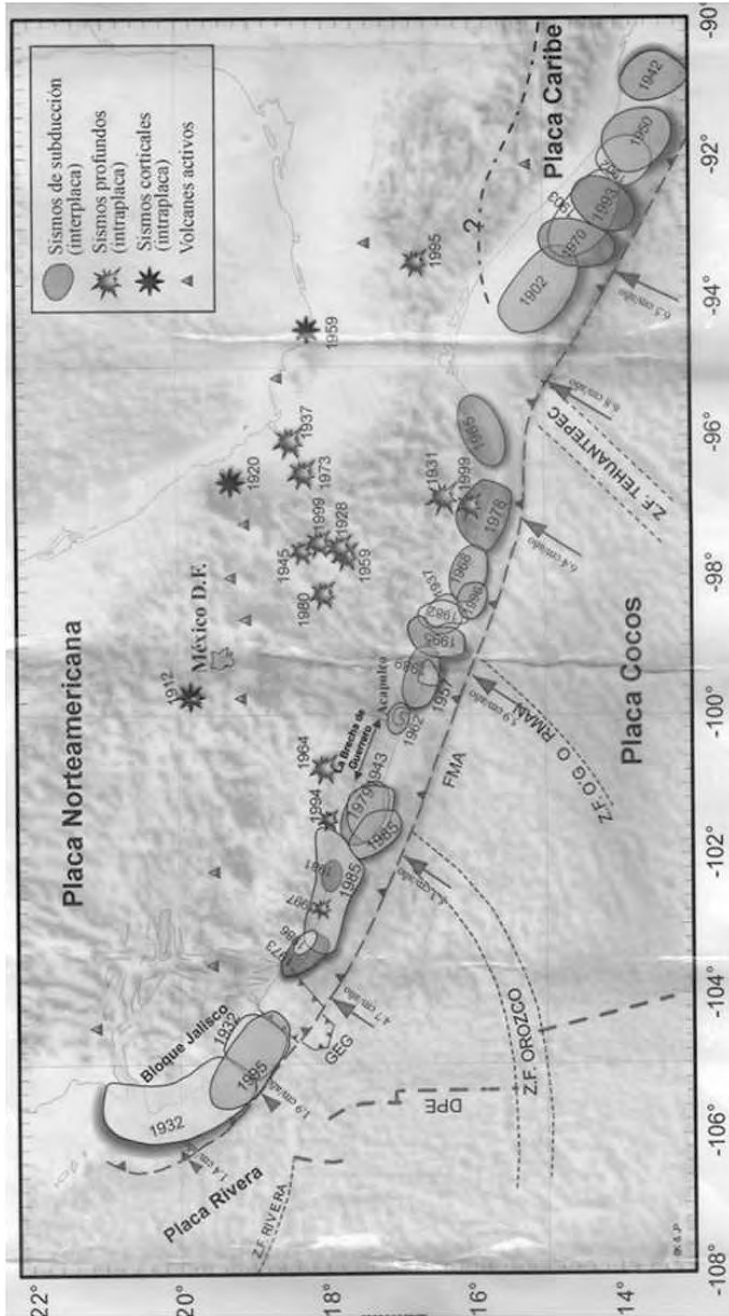


Figura 6. Principales sismos en el siglo XX en la República Mexicana (Kostoglodov y Pacheco, 1999).

Asimismo, la falta de estaciones sísmicas en el estado de Chiapas no ha permitido determinar las características de propagación de las ondas en esta región, áreas de ruptura, contornos de esfuerzos en las placas, leyes de atenuación, entre otras, por lo que sólo hay aproximaciones del peligro sísmico, como la desarrollada por Pérez Rocha y Ordaz en 2005 basada en el programa Riesgo Sísmico en México (RSMex®). La información del peligro sísmico en México se publicó en conjunto con el *Manual de obras civiles* de la Comisión Federal de Electricidad de 2008, el cual cambia la filosofía considerando los periodos de retorno como 50, 150, entre otros, así como su aceleración en gales para distintas regiones, ver la figura 7.

En la tabla 1 se muestran los sismos con magnitud superior a 6.5, cuyo epicentro se localizó en el estado de Chiapas o sus costas durante el siglo XX y el inicio del siglo XXI, según las bases de datos del Servicio Sismológico Nacional (SSN) y complementada con información de artículos y reportes de sismos de diversas fuentes que se encuentran en las referencias del capítulo, entre ellas la de Figueroa (1973). Los datos de sismos históricos son referencias cuyos parámetros son aproximados y, en muchas ocasiones, están limitadas por el estado del conocimiento en el momento en que fueron publicados.

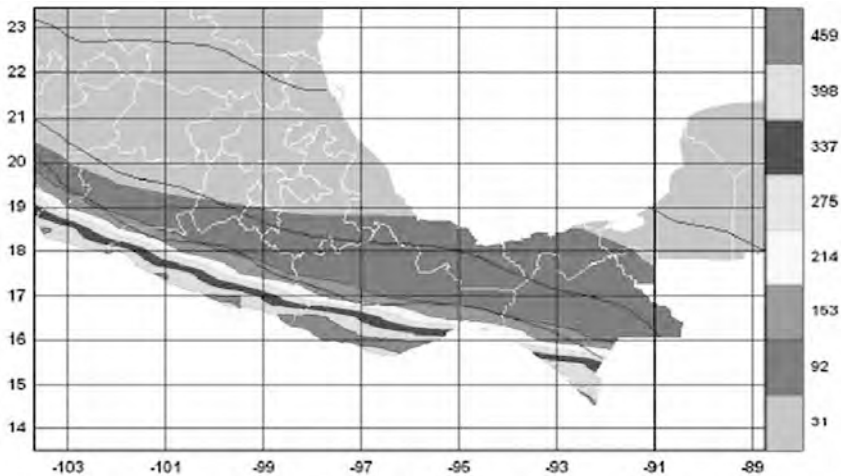


Figura 7. Aceleración esperada para el pacífico mexicano considerando un periodo de retorno de 50 años (MOC, diseño por sismo, CFE, 2008).

Tabla 1. Sismos ocurridos en el estado de Chiapas y sus costas con magnitud superior a 6.5⁴ (SSN, 2008)

Año	Mes	Día	Tiempo	Latitud	Longitud	Prof.	Magnitud	Zona
1816	07	22					7.5	Chiapas-Guatemala
1858	05	02					7.0	Chiapas-Oaxaca
1870	05	11					7.0	Chiapas
1897	06	05					7.0	Chiapas
1902	04	18					7.0	Tapachula
1902	09	23	20:18:00	16.583	-92.583	25	7.7	Tuxtla Gutiérrez
1903	01	14	01:47:36	15.000	-93.000	33	7.6	Costa de Chiapas
1908	03	26					7.5	Costa de Chiapas
1912	12	09	08:32:24	15.500	-93.000	0	7.0	Costa de Chiapas
1914	03	30	04:41:18	16.767	-92.150	150	7.2	Tabasco-Chiapas
1919	04	17	11:23:30	14.533	-92.317	100	7.0	Tapachula
1921	12	10		15.500	-92.500		7.0	Chiapas
1925	12	10	14:14:42	15.500	-92.500	0	7.0	Costa de Chiapas
1926	03	24	10:57:14	15.633	-92.100	100	6.5	Chiapas
1927	05	09	20:07:44	16.667	-93.517	100	7.0	Tuxtla Gutiérrez
1928	03	22					7.5	Oeste de Chiapas
1928	04	17					7.7	Oeste de Chiapas
1929	03	21	02:39:33	14.000	-92.467	100	6.5	Costa de Chiapas

⁴ http://www.ssn.unam.mx/SSN/Sismos/sismicidad_mx_siglo_xx.html

Año	Mes	Día	Tiempo	Latitud	Longitud	Prof.	Magnitud	Zona
1931	09	26	19:52:28	15.000	-92.000		6.5	Costa de Chiapas
1934	12	24	14:37:50	16.033	-92.467		6.5	Chiapas
1935	12	14	22:07:18	14.717	-93.083		7.3	Tuxtla Gutiérrez
1937	05	28	15:37:21	16.717	-93.083		6.5	Chiapas
1941	02	11		15.200	-94.400		7.0	Costa de Chiapas
1942	11	20	04:05:47	16.467	-94.433	100	7.2	Chiapas
1943	06	15		14.600	93.000		7.0	Costa de Chiapas
1943	09	23	15:02:46	15.500	92.183	100	6.7	Costa de Chiapas
1944	06	28	07:58:54	15.000	-92.500		7.1	Costa de Tapachula
1945	10	27	11:24:49	14.150	-93.383	100	6.7	Costa de Chiapas
1946	06	26	07:53:49	14.717	-91.300	200	7.2	Costa de Chiapas
1946	07	11	04:46:46	17.235	-94.617	70	7.1	Chiapas, Oaxaca y Veracruz
1948	07	16	07:19:37	14.633	-91.177		6.8	Costa de Chiapas
1949	12	22	09:30:49	15.900	-93.000	100	6.5	Cerca de Tuxtla Gutiérrez
1950	10	23	16:13:24	13.800	-91.783	100	7.0	Costa de Chiapas
1950	10	23	17:47:59	13.800	-91.783	100	6.5	Costa de Chiapas
1952	12	31	20:16:27	15.417	-93.800		6.7	Chiapas
1953	08	24	13:21:14	14.533	-92.317	100	6.5	Costa de Chiapas
1954	02	05	15:18:01	17.333	-92.117	100	6.7	Chiapas
1955	09	25	08:28:32	15.833	-92.833	200	7.0	Cerca de Pijijiapan

1957	07	08	13:30:50	15.217	-92.000	100	6.5	Chiapas
1959	04	28	11:09:44	15.833	-92.833		6.6	Chiapas
1960	07	13	16:23:50	17.433	-94.450	60	6.9	Chiapas
1970	04	29	14:01:34	14.463	-92.683	44	7.1	Costa de Chiapas
1976	04	02		15.260	89.190	13	7.5	Costa de Chiapas y Guatemala
1983	12	02		14.030	91.950	35	7.0	Costa de Chiapas y Guatemala
1986	09	10		14.800	92.680	34	7.2	Costa de Chiapas
1993	09	10	19:12:57	14.800	-92.687	34	7.2	Costa de Chiapas
1994	03	14	20:51:26	15.984	-92.432	160	6.8	Chiapas
1995	10	20	02:38:58	16.794	-93.648	165	6.5	Chiapas
2001	11	28					6.5	Costa de Chiapas
2002	01	16	17:09:56	15.430	-93.550	76	6.7	Costa de Chiapas
2007	06	13	14:29:48	13.260	-91.430	20	6.6	Ciudad Hidalgo
2008	04	14	22:03:06	13.270	-91.040	40	6.5	Ciudad Hidalgo
2008	10	16	14:41:22	13.870	-92.500	23	6.6	Ciudad Hidalgo

- El tiempo empleado corresponde a Greenwich Mean Time (GMT). Tiempo universal, 6 horas más respecto al tiempo local de México (5 horas en horario de verano).

- Las magnitudes son diferentes y dependen del equipo o red que la reporta.

González y Narcía (2010) desarrollaron un análisis estadístico probabilístico de los sismos en el estado de Chiapas, empleando los datos del Servicio Sismológico Nacional desde el año 1974 hasta el 2009, donde encuentran que la magnitud media es de 4.2. En la figuras 8 y 9 se muestran los valores de la media y un mapeo de los registros considerando las profundidades en que se generan, así como la frecuencia de los mismos.

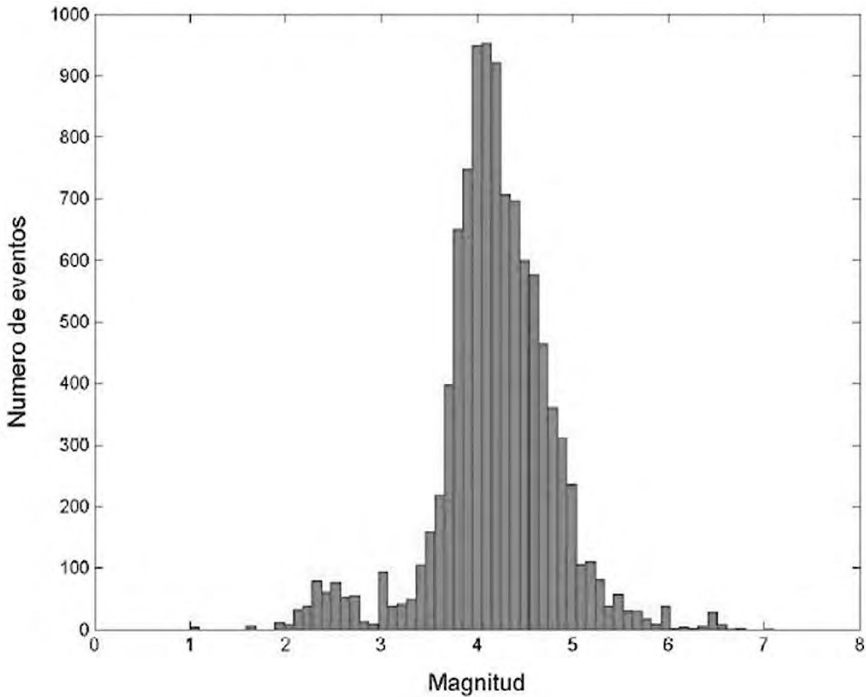


Figura 8. Número de eventos y su magnitud en Chiapas, considerando datos del SSN desde 1974 hasta 2009 (González y Narcía, 2010).

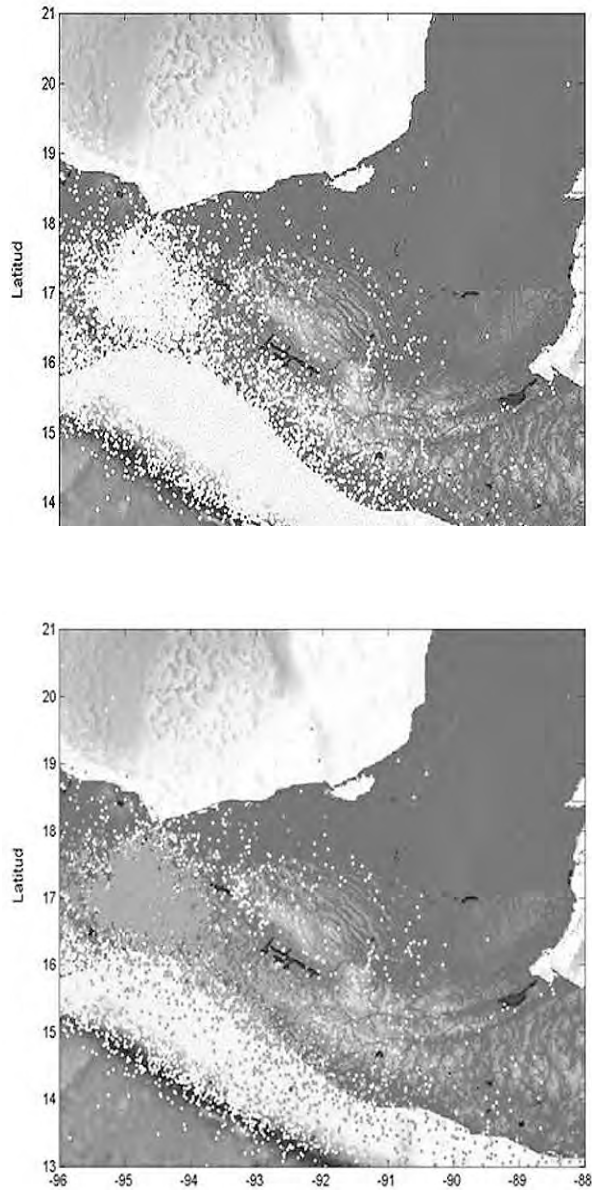


Figura 9. Mapeo de eventos sin considerar su magnitud (9a) y considerando su profundidad, empleando datos del SSN desde 1974 hasta 2009 (González y Narcía, 2010).

- a. Mazapa de Madero–San Juan. EW
- b. Comalapa–Nuevo México–La Concordia. ENW
- c. Rodolfo Figueroa–Santa Elvira–El Carmen–San Juan (sobre el curso del río Grijalva) ENW
- d. Tepancuapan W próxima Comitán
- e. San Quintín–Altamirano–Chanal
- f. Altamirano–Colonia Victorico Grajales
- g. Curso río Jatate, próximo Tecojá
- h. La sombra–Trinitaria–Sur de Comitán–Soyatitán–San Bartolomé (hoy Venustiano Carranza, destruido por macrosismo el 27 de septiembre de 1902)
- i. Chiapa de Corzo–Tuxtla Gutiérrez–El Arenal
- j. Transversales al curso del río Grijalva–Sumidero–Chiapa de Corzo
- k. Ixtapa–Chicoasén–Copainalá–Tecpatán
- l. Terán–Berriozábal–El Suspiro
- m. Oeste de Tuxtla Gutiérrez, continuando al sureste más allá de Comitán
- n. Copainalá–Malpaso, relacionada con la anterior

Guzmán Speziale y otros (2008) dentro del *Plan operativo de riesgos sísmicos* del gobierno del estado de Chiapas describe las condiciones de las fallas geológicas más importantes del estado, las cuales resume en los siguientes sistemas de fallas:

- La Falla de Motagua Polochic, con una longitud de 350 km, separando las placas de Norteamérica y del Caribe, cruza el territorio chiapaneco por los municipios de Mazapa de Madero, Motozintla, Escuintla, Acacoyagua y Mapastepec.
- La Falla de Mapastepec, que tiene una longitud aproximada de 60 km, corre de este a oeste atravesando los municipios de Frontera Comalapa, Bella Vista, Siltepec, Acacoyagua y Mapastepec.
- La Falla de San Fernando, con una longitud de 50 km, aproximadamente, presenta una dirección general de NW–SE y se extiende por una región abrupta al norte de Tuxtla Gutiérrez,

abarcando los municipios de Berriozábal, San Fernando y Tuxtla Gutiérrez.

- La Falla de Malpaso–Muñiz presenta una longitud de 165 km, aproximadamente. Se prolonga desde el Istmo de Tehuantepec y atraviesa la presa de Malpaso en el municipio de Tecpatán, pasa por los municipios de Copainalá, Usumacinta, Chiapa de Corzo y desaparece al sur de Ixtapa, en el municipio de Zinacantán.
- La Falla Chicoasén Malpaso, se extiende alrededor de 150 km, intercepta la falla Malpaso–Muñiz en el cañón del río Grijalva en el municipio de Copainalá. Atraviesa los municipios de Ocosingo, Altamirano, Chanal, Huixtán, San Cristóbal de Las Casas, Chamula, Ixtapa, Soyaló y Chicoasén.
- La Falla Chacté–Ocosingo, se extiende por una longitud de 120 km, aproximadamente, en una abrupta topografía, atravesando además los municipios de Chalchihuitán y El Bosque.
- La Falla Bajacú, tiene una longitud aproximada de 58 km, pasa por los municipios de Altamirano, Huixtán, San Cristóbal de Las Casas y Zinacantán.
- La Falla Tumbalá, se localiza en el municipio de Ocosingo y tiene una extensión aproximada de 60 km.
- La Falla Yaxchilán, tiene una orientación de NE–SW, perpendicular a la falla de Tumbalá, también se localiza en el municipio de Ocosingo y cuenta con una longitud de 30 km.
- La Falla Sontic–Itzantun se orienta de E–W y ha sido estudiada en el cañón del río Tacotalpa al norte de Huitiupán y Simojovel, se extiende a lo largo de 40 km.
- La Falla Yajalón se localiza al norte del municipio del mismo nombre y tiene una extensión aproximada de 20 km, influyendo además en el municipio de Chilón.
- La Falla La Venta, se presenta hacia el sur de la presa Malpaso y su extensión da hacia el cauce del río La Venta cerca de Ocozocuatla.

Peligro sísmico en Chiapas

Debido a que el estado de Chiapas no contaba con instrumentos para documentar la presencia de sismos hasta 1955, cuando se colocó una estación sismográfica en Comitán de Domínguez, existen pocos registros locales, siendo el más importante el del 20 de octubre de 1995, conocido como el sismo de Villaflores. Es por esto que la información relacionada con los efectos de los sismos se obtenía de los relatos reportados en los diarios o en tradiciones orales de los pueblos y comunidades. En 1967 se colocó un sismógrafo en la zona denominada Malpaso, el cual funcionó intermitentemente. No fue sino hasta la década de los setentas cuando Comisión Federal de Electricidad (CFE), al construir las presas hidroeléctricas en el embalse del río Grijalva, colocó 3 equipos en Malpaso y uno en La Angostura, los cuales estuvieron a cargo del Instituto de Ingeniería de la UNAM, hasta que fueron retomados por la CFE a mediados de la década de los noventa. Tras la erupción del Chichonal en marzo y abril 1982 se instrumentaron los volcanes activos del estado, el Tacaná y el Chichonal.

Previo a la conformación y entrada de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) a la Red Interuniversitaria de Ingeniería Sísmica (RIIS) en el año de 1996, y debido a las gestiones del maestro Rober-tony Cruz Díaz, se dotó a la Facultad de Ingeniería en el año de 1994 de un acelerógrafo, con el cual se registró el sismo del 20 de octubre de 1995 y se derivó la primera propuesta de microzonificación para Tuxtla Gutiérrez con participación de la UNACH y la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A), véase la figura 11.

La Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) en el 2004, mediante un convenio con el CENAPRED y Protección Civil estatal y municipal, obtuvo equipamiento para las instalaciones de Ciudad Universitaria en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, además de equipos para el monitoreo de los volcanes activos del estado. La misma UNICACH desarrolló dos proyectos en el mismo sentido, uno para COCYTECH (Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas) y otro en el Programa Integral de Fortalecimiento Institucional 3.3 (PIFI), con lo que en los

años 2005 y 2006, respectivamente, se consiguieron dos aparatos móviles más para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, lo que redunda en cuatro equipos, dos fijos y dos portátiles en la ciudad (dos en la UNACH y dos en la UNICACH).

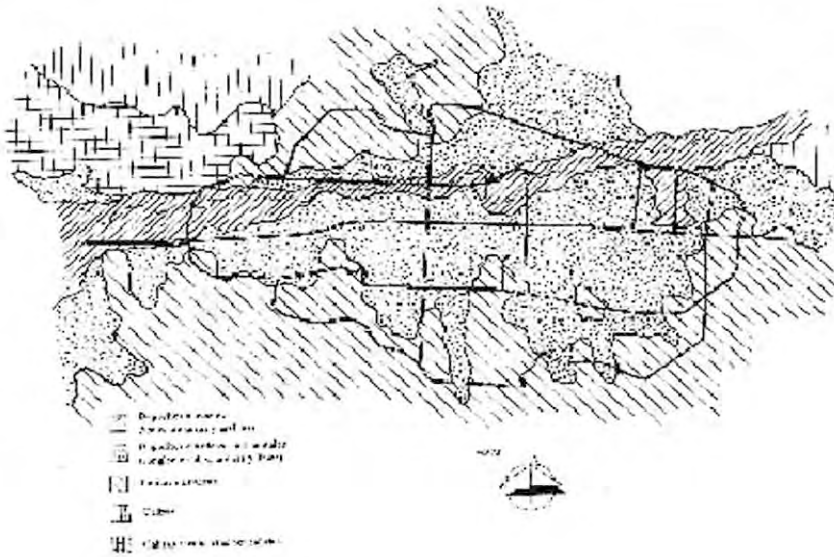


Figura 11. Mapa de zonificación sísmica de Tuxtla Gutiérrez realizado tras el sismo del 20 de Octubre de 1995 (Alonso y otros, 1995)

A continuación se presenta en la tabla 2 una relación de los sismos históricos más importantes del estado de Chiapas, los resultados de los mismos han sido obtenidos de diversas fuentes, también se incluyen diversas épocas y por lo tanto hay involucrados diversos criterios, como el relativo a la época prehistórica y colonial, donde los sismos eran considerados como actos que venían de Dios para castigo. Para el año de 1823 comienza una nueva era para la sismología mediante el inicio de la interpretación científica, la cual se consolida pasando el año de 1850 a una sismología cualitativa y a partir de 1900 a una sismología instrumental.

Tabla 2. Sismos históricos ocurridos en el estado de Chiapas, reportados mediante distintas fuentes con intensidad igual o mayor que VI (Figueroa, 1973; García y Suarez, 1996, SSN)

Año	Mes	Día	Magnitud	Intensidad	Zonas afectadas
1545	12	25		VI	Pérdidas moderadas y zozobra, coincide con el ingreso de Fray Bartolomé a Ciudad Real (San Cristóbal de Las Casas)
1565	8			VIII	Daños importantes en San Cristóbal de Las Casas, Zinacantán y Chiapa de Corzo, donde se daña la fuente. En Zinacantán una peste a partir de los muertos del sismo provocó la pérdida de la mitad de los pobladores.
1591	3	14		VIII	Importantes daños en Chiapas y hasta San Miguel, El Salvador. En San Cristóbal de Las Casas cayó la torre de la iglesia y se dañaron construcciones importantes
1607				VIII	Importante sismo en Chiapas
1623	4	4		VII	Fuerte sismo desde Puebla hasta Chiapas
1652				VIII	Colapso de campanario de Catedral, graves daños desde Tabasco hasta Guatemala
1662	5	2		VI	Daño en Chiapa de Corzo
1679				VI	Importante sismo en Chiapas
1681				VI	Importante sismo en Chiapas
1683				VI	Importante sismo en Chiapas
1684				VI	Importante sismo en Chiapas
1689				VI	Importante sismo en Chiapas
1714				VI	Importante sismo en Chiapas
1726				VI	Importante sismo en Chiapas
1729				VIII	Abarcó el estado de Chiapas y se extendió hasta Guatemala

1743					VI	Importante sismo en Chiapas
1744	5	30			VII	Terremoto daña iglesias y convento de Ciudad Real (San Cristóbal de Las Casas)
1765					VI	Importante sismo en Chiapas
1785					VI	Importante sismo en Chiapas
1791					VI	Importante sismo en Chiapas
1798					VI	Importante sismo en Chiapas
1804					VII	Daños en la Catedral de San Cristóbal de Las Casas entre otras estructuras
1816	7	22			VIII	Abarcó todo el estado de Chiapas y Guatemala. En San Cristóbal dañó la Catedral
1828	3	5			VI	San Andrés, María Magdalena, Santa Martha, daño en la iglesia.
1855	1	12			VI	Chiapas y Guatemala, actividad del Santa María.
1858					VI	Fuerte sismo en Chiapas
1864					VI	Fuerte sismo en Chiapas
1869	7				VI	Fuerte sismo sentido en Chiapa de Corzo
1870	6	18			VII	Daños importantes en Chiapas y menores en Oaxaca
1871	2	6			VI	Sismo sentido con más intensidad en Chiapa de Corzo, Cunduacán y San Cristóbal de Las Casas.
1872	1				VI	Fuerte sismo en Chiapas
1872	8	30			VI	Sismo sentido en San Cristóbal de Las Casas
1875					VI	Fuerte sismo en Chiapas
1875	3	25			VII	Terrible sismo fuertemente sentido en San Cristóbal de Las Casas
1875	5	25			VI	Sismo sentido en San Cristóbal de Las Casas
1878	1	2			VI	Tres sismos durante un día sentidos en Tuxtla Gutiérrez

1879	9	9		VI	Fuerte sismo sentido en Tuxtla Gutiérrez
1880	1	23		VI	Fuerte sismo sentido en San Cristóbal de Las Casas
1880	5	2		VI	Fuerte sismo sentido en San Cristóbal de Las Casas
1881	5	31		VI	Fuerte sismo sentido en San Cristóbal de Las Casas
1881	8	17		VI	Fuerte sismo sentido en San Cristóbal de Las Casas
1887	8	1		VII	Tonalá, Cintalapa, Tuxtla Gutiérrez y San Cristóbal de Las Casas
1892				VII	Temblor destructor San Cristóbal de Las Casas
1892	7	12		VI	Fuerte sismo en Tapachula
1896	11	15		VI	Fuerte sismo sentido en Tuxtla Gutiérrez
1897	5	29		VI	Fuerte sismo sentido en Tonalá
1897	7	5		VI	Fuerte sismo sentido en Chiapas
1899	3	25		VII	Fuerte sismo en Tuxtla dañó el palacio de gobierno, en Zinacantán hundió parcialmente la iglesia principal y daños importantes en Huistán
1902	4	18	7.0	VII	Daños en Tapachula. Destruccion en Guatemala
1902	9	23	7.8	X	El sismo más importante originado en Chiapas. Destruccion de Venustiano Carranza y graves daños en San Cristóbal, Chiapa de Corzo y Tuxtla Gutiérrez. Según Isosistas grados VI hasta X.
1903	5	6		VI	En la región costera de Chipas, limitrofe con Oaxaca
1904	12	1		VI	Fuerte sismo en Tapachula
1906	6	21		VI	Fuerte sismo en Tapachula
1906	8	21		VI	Fuerte sismo en Tuxtla Gutiérrez y San Cristóbal de Las Casas
1907	6	23		VI	Fuerte sismo en Chiapas
1907	7	21		VI	Fuerte sismo en Tuxtla Gutiérrez

1907	8	18		VI	Fuerte sismo Motozintla
1908	3	26		VI	Fuerte sismo en Tapachula
1908	7	19		VI	Motozintla y Tapachula
1908	11	6		VI	Tapachula
1909	2	26		VI	Fuerte sismo en Chiapas
1909	11	16		VI	Chicharras con fuertes ruidos subterráneos
1909	12	15	5.6	VI	Cintalapa, Providencia, Tuxtla Gutiérrez y Tonalá
1914	3	30	7.5	IX	Daños considerables en Altamirano, Ocosingo y Huixtán. Grado VI en San Cristóbal y Tuxtla Gutiérrez
1919	4	17	7.0	VIII	El Soconusco
1920	7	3	6.0	VII	Daños en Cintalapa
1920	10	9	6.0	VII	En la región costera de Chiapas
1924	6	4	6.0	VII	Tonalá y Arriaga
1925	3	25	4.0	VI	Ciudad Hidalgo
1925	11	28	5.5	VI	Gran alarma en Altamirano y Ocosingo
1925	12	16	6.0	VI	La providencia y Cintalapa
1926	3	24	6.5	VII	Comalapa y Chicomuselo
1927	5	9	7.0	VII	Muy fuerte en Tuxtla Gutiérrez. También sentido en Jiquipilas, Cintalapa y La Providencia
1931	2	12	6.0	VII	Teopisca, Totolapa, Venustiano Carranza. Muy fuerte en San Cristóbal de Las Casas
1931	2	15	5.5	VI	Jiquipilas, Cintalapa y Ocozocuautla
1931	9	26	6.5	VI	Talismán, Tuxtla Chico, Tapachula y Huixtla

1933	8	12	6.0	VI	La Concordia, Trinitaria, Jaltenango y Socoltenango
1934	5	19	6.2	VI	Trinitaria, Socoltenango, La Concordia y Venustiano Carranza
1934	7	27	6.2	VII	Motuzintla, Niquivil, Mazapa de Madero
1934	12	24	6.5	VI	Chicomuselo y Trinitaria
1935	12	14	7.3	VIII	Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo y San Cristóbal. Muy fuerte en Chicoasén
1936	9	3	6.0	VI	Rivera de Cangui y Chiapilla
1937	1	11	6.0	VI	Chicoasén, Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo, San Cristóbal de Las Casas y otras poblaciones
1937	5	28	6.5	VII	Tuxtla Gutiérrez y en municipios cercanos
1937	6	8	6.2	VI	Tapalapa, Pichucalco y Ocoatepec
1939	9	28	6.2	VI	Ciudad Hidalgo, Puerto Madero y Tapachula
1939	12	5	6.2	VI	Escuintla, Acapetahua y Pueblo nuevo
1941	6	27	6.2	VI	Tonalá y lugares próximos
1942	11	20	6.7	VI	Chiapas en la región sur limitrofe con Oaxaca
1943	9	23	6.7	VII	Amatenango de la Frontera, Mazapa y Motuzintla
1944	8	24	6.0	VI	Arriaga y Tonalá
1945	1	12	5.7	VI	Arriaga, Tonalá, Villaflores y Villacorzo
1945	10	27	6.7	VI	El Soconusco
1947	5	26	6.0	VI	Ángel Albino Corzo y Jaltenango
1947	5	26	5.8	VI	Ángel Albino Corzo y Jaltenango
1949	12	22	6.5	VI	Villaflores, Rivera de Cangui, Tuxtla Gutiérrez, Villacorzo, Chiapa de Corzo y San Cristóbal de Las Casas
1950	10	28	6.0	VI	Motuzintla y Mazapa

1950	10	31	5.8	VI	Puerto Madero y Ciudad Hidalgo
1950	11	5	6.0	VI	Ciudad Hidalgo y Puerto Madero
1951	1	29	5.8	VI	Motuzintla
1951	2	13	6.0	VI	Motuzintla y Mazapa de Madero
1952	2	4	5.7	VI	Escuintla, Pueblo Nuevo y Acapetahua
1952	6	2	5.0	VI	Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo, San Cristóbal de Las Casas y Suchiapa
1952	8	20	5.7	VI	Trinitaria y Las Margaritas
1953	8	24	6.5	VII	Ciudad Hidalgo y Puerto Madero
1954	2	5	6.7	VI	Graves daños en Tila, Yajalón, Petalcingo y Chilón. Tuvo 13 repeticiones
1954	4	1	6.0	VI	Tapalapa, Ixtacomitán y Pichucalco
1955	1	10	6.0	VI	Motuzintla
1955	5	5	5.7	VI	Motuzintla y Mazapa de Madero
1955	9	26	7.0	VII	Jaltenango, Pijijiapan y Ángel Albino Corzo
1956	1	9	5.8	VI	Altamirano
1956	1	10	5.6	VI	Cintalapa y La Providencia
1956	12	4	6.0	VI	San Cristóbal de las Casas, Motuzintla y Mazapa de Madero
1957	6	22	6.4	VI	Arriaga, Tonala y Villaflores
1958	9	2	6.0	VI	Puerto Madero y Ciudad Hidalgo
1958	9	3	6.2	VI	Puerto Madero, Ciudad Hidalgo y Mazatán
1959	2	20	6.4	VI	Independencia y Tenosique
1959	4	28	6.6	VI	Ángel Albino Corzo, Jaltenango y La Concordia
1959	4	29	5.8	VI	Ciudad Hidalgo y Puerto Madero
1959	5	12	5.8	VI	Ciudad Hidalgo y Puerto Madero

1960	1	15	5.6	VI	Ciudad Hidalgo
1960	4	13	5.6	VI	Motuzintla y Mazapa de Madero
1960	6	5	5.8	VI	Ciudad Hidalgo y Puerto Madero
1961	11	22	5.8	VI	Motuzintla
1961	12	20	5.9	VI	Ciudad Hidalgo y Puerto Madero
1964	9	14	6.1	VI	Ángel Albino Corzo y Jaltanango
1965	3	1	6.4	VI	Rivera de Cangui, Villaflores y Villa Corzo
1968	1	21	6.2	VI	Mapastepec, Pijijiapan y Sesecapa
1968	5	9	5.5	VI	Providencia
1968	9	25	6.0	VIII	Soconusco (48 muertos, daños en Acapetahua por 7 millones 500 mil interrupción en comunicaciones), 333 casas destruidas y 608 dañadas
1968	11	11	5.5	VI	Puerto Madero y Ciudad Hidalgo
1969	9	16	5.0	VI	Pijijiapan y Mapastepec
1970	4	29	7.3	VII	Suchiapa, Mazapa de Madero, Motuzintla, Tapachula, Huixtla y Ciudad Hidalgo (siete repeticiones el mismo día y 32 en total)
1970	5	23	4.9	VI	Tapachula
1970	6	11	4.9	VI	Mapastepec y Sesecapa
1970	12	23	5.3	VI	Puerto Arista
1975	6	30		VII	El Amatal, Chiapa de Corzo, Chicoasén, Comitán y Tehuantepec
1975	10	15		VI	El Amatal, Chiapa de Corzo y Cupiá
1995	10	21	7.1	VII	Villaflores, Villacorzo y Tuxtla Gutiérrez
2002	01	16	6.7	VII	Arriaga, San Cristóbal de Las Casas, Tapachula y Tuxtla Gutiérrez

Durante el año 2008 se registraron, en todo México, 1, 765 sismos. De éstos, 485 se ubicaron en territorio chiapaneco, encontrándose que más del 90% de los mismos se registran hacia las regiones Costa y Soconusco del estado de Chiapas (Narcía y otros, 2009).

Por otro lado, el plano de intensidades sísmicas desarrollado por el CENAPRED (Gutiérrez y otros, 1991) utilizando 49 mapas de isosistas (líneas que separan áreas de igual intensidad) elaborados para los sismos ocurridos entre el 7 de abril de 1845 y el 19 de septiembre de 1985 (Figueroa, 1963 y 1986), nos muestra (ver figura 12) el peligro sísmico de la zona centro del estado de Chiapas, que incluye la capital del estado y sus municipios aledaños.

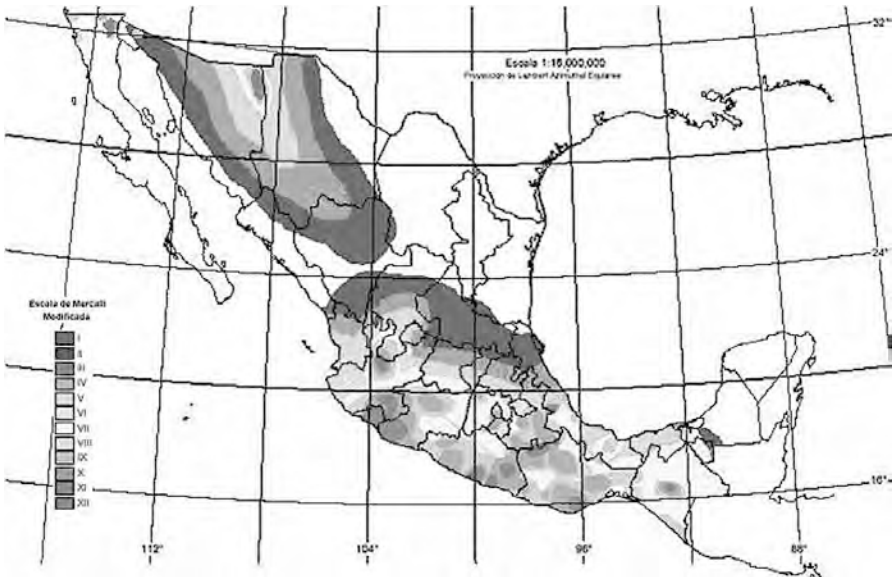


Figura 12. Mapa de intensidades sísmicas de México (Gutiérrez y otros, 1991).

Analizando las tablas 1 y 2, obtenidas de distintas fuentes documentales, se observa (ver figura 13) que desde el año 1900 y hasta el año de 1970, la cantidad de sismos de magnitud igual o superior a 6.5, e intensidad igual o superior a VI, eran abismalmente superiores a los presentados del año 1971 en adelante, lo cual no implica que la actividad

sísmica haya cambiado en el estado, sino que actualmente hay equipos y personal con mayor calificación para determinar de manera más cercana a la realidad la frecuencia, magnitud y consecuencias de los sismos en la entidad.

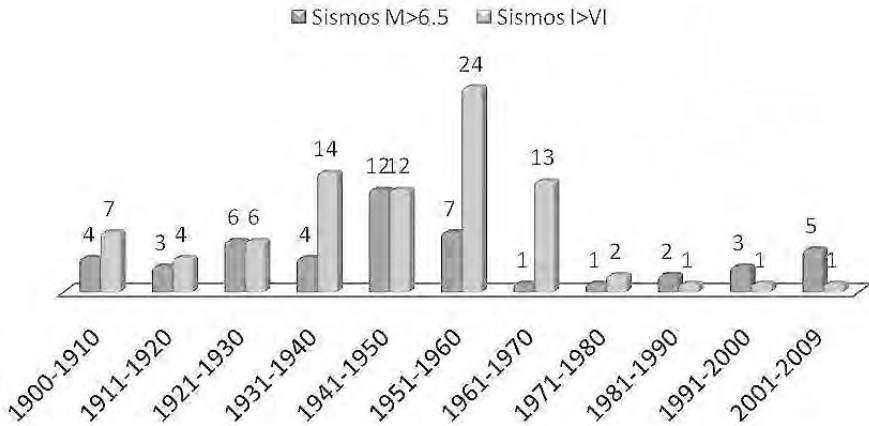


Figura 13. Histogramas conteniendo la frecuencia e intensidad de sismos moderados e intensos en el estado de Chiapas.

El sismo del 20 de octubre de 1995

El evento fue un sismo intraplaca de magnitud de momento $M_w=7.2$ en escala de Richter, registrado por varios aparatos locales y telesísmicos, y ubicado en 93.649° W y 16.795° N a 165 km de profundidad focal (Rebollar y otros, 1999).

La duración de la sacudida más fuerte se alcanzó a partir del segundo 10 en la ciudad de San Vicente (cerca del volcán Tacaná), mientras tanto, casi al segundo 20 este efecto se percibió en el noroeste, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, situada cerca del epicentro. La inversión de la onda P usando la solución del mecanismo focal de Harvard indica que el momento sísmico fue lanzado en tres eventos con una duración total cercana a los 20 segundos (Rebollar y otros, 1999).

El evento no generó réplicas, lo que ha sido estudiado y caracterizado para los eventos de profundidad intermedia de la placa subducida

debajo de Chiapas y en otras regiones del mundo, lo cual redujo considerablemente los daños que se generaron en el territorio chiapaneco. El mecanismo focal indica fallamiento normal con ejes tensionales a lo largo de la placa.

Las aceleraciones máximas del terreno (PGA por sus siglas en inglés) se extienden desde 21 hasta 436 cm/sec² con las distancias hipocentrales desde 174 hasta 256 kilómetros, respectivamente (ver figura 14). La aceleración registrada en el terreno es más grande que las experimentadas en Copala, Guerrero, durante el terremoto del 14 de septiembre de 1995, que correspondió a un sismo superficial (16 kilómetros) con una magnitud similar ($M_w=7.4$).

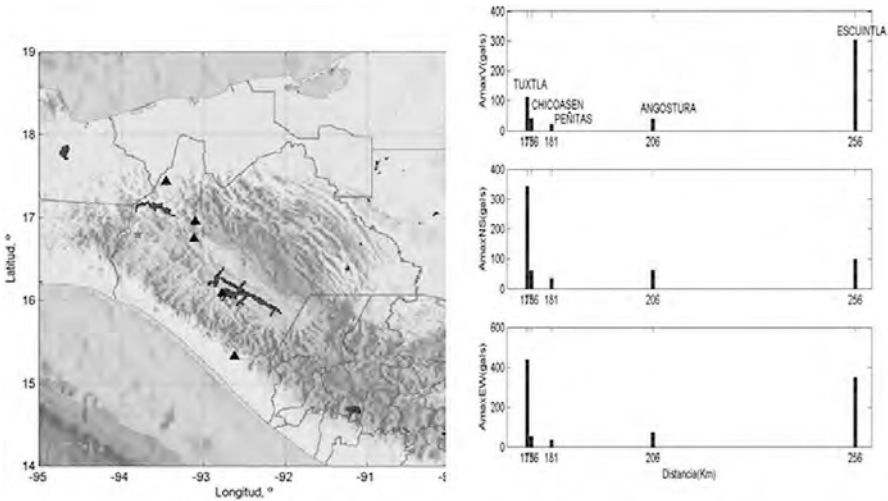


Figura 14. Red acelerográfica del doctor Cecilio Rebollar en el estado de Chiapas durante el evento y sus niveles de aceleración considerando la distancia del epicentro (Narcía, 2009).

Se registraron aceleraciones superiores a las esperadas, hasta de 436 gals en la componente E-O (ver figura 15), probablemente debido al acoplamiento de la señal que viaja por la placa y a efectos de sitio, ya que la ubicación del aparato que captó la señal se encuentra en una zona cercana a los afluentes del río Sabinal y con un importante espesor

de lutitas intemperizadas de alta compresibilidad y potencial de expansión. Estas amplificaciones son similares a las registradas en otros terremotos de profundidad intermedia en la zona de la subducción de Japón (Molas y Yamazaki, 1995) citados por Rebollar y otros (2009).

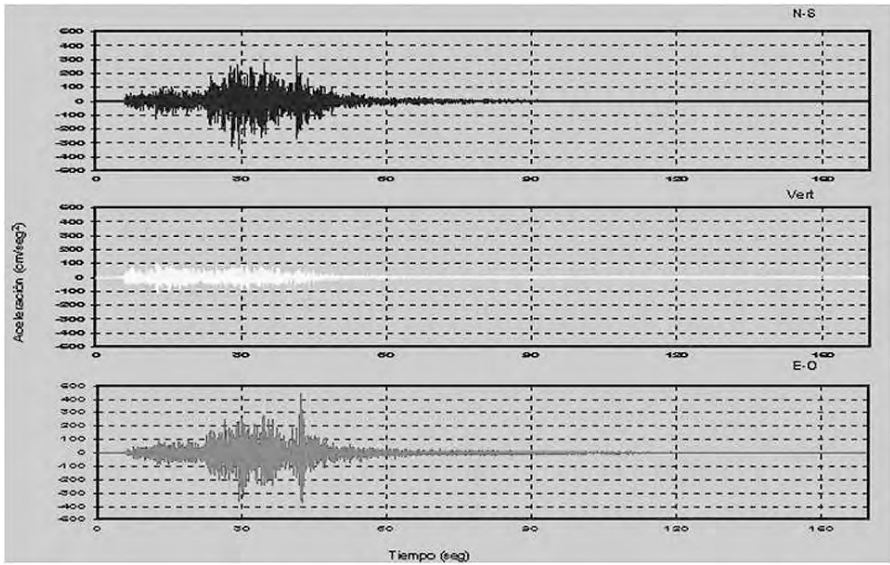


Figura 15. Acelerograma del sismo del 20 de octubre de 1995 registrados en la Estación Central UNACH (SMIS, RIIS) (Alonso *et al.*, 1995)

Este sismo dañó fuertemente a los municipios de Tuxtla Gutiérrez, Jiquipilas, Cintalapa y Villaflores con intensidades de VII y X, respectivamente, fue registrada por diez estaciones sismológicas dentro del estado de Chiapas, siendo las estaciones TUX y ESC las que registraron las mayores aceleraciones: 437 y 349 gales, respectivamente (Rebollar y otros, 1999). Considerando este sismo y los que se mostraron anteriormente, se podría clasificar como zona sísmica D (alta peligrosidad sísmica) a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

Durante esa época había pocas redes en el país, coincidentemente el doctor Rebollar del CICESE (ver figura 16) tenía instalados en el estado ocho equipos en red (considerando las presas), pero adicionalmente la RIIS tenía un equipo de la UAM que aún se encuentra en comodato

en la UNACH. Éste fue el primer terremoto de profundidad intermedia registrado con acelerógrafos y sismómetros en el sureste de México.

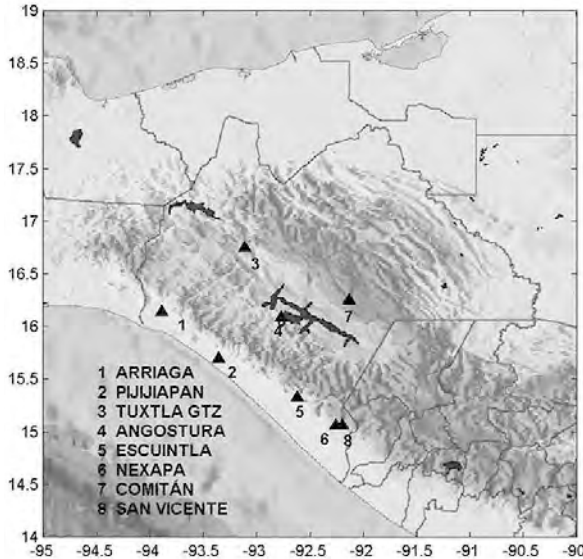


Figura 16. Red acelerográfica del doctor Cecilio Rebollar en el estado de Chiapas durante el evento (Narcía, 2009).

Los resultados de la inversión indican que la ruptura se propagó del noroeste al sureste a lo largo de una distancia de 30 kilómetros. De análisis espectral, se obtuvo un momento sísmico total de $5.2 \pm 0.5 \times 10^{19}$ N-m equivalente a una magnitud de momento $M_w = 7.1$. Para el análisis Rebollar y otros (1999) empleó tres fuentes con una profundidad media de 150 kilómetros, con una duración de 40 segundos, considerando los registros de las estaciones sísmicas de banda ancha de Huatulco (HUIG) y de Pinotepa Nacional (PNIG). Para la estación situada en Tuxtla Gutiérrez (TUXD), utilizó dos fuentes. El espectro de la amplitud en las distancias tele-sísmicas sigue un modelo de Brune (1970) citado por Rebollar y otros (1999), quien obtuvo una frecuencia de 0.045 hz del espectro, que es equivalente a un radio de la fuente de 15 kilómetros si se asume que la falla fue circular.

Estudios sísmicos tras el evento

A mediados de los noventa la UAM Azcapotzalco (Alonso *et al.*, 1995) coordinó a un equipo de especialistas que determinó el primer mapa de Microzonificación para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez (figura 11), donde mediante vibración ambiental se estudiaron 75 puntos de la ciudad considerando espectros de Fourier. En este trabajo se hicieron, adicionalmente, las primeras aproximaciones para la microzonificación en la ciudad de Tapachula, las cuales no se concluyeron.

Los trabajos desarrollados incluyeron un mapa de isoperiodos que manifestó que la ciudad presenta un suelo muy homogéneo con tres curvas: 0.15, 0.20 y 0.25. Esto redundó en un solo espectro para suelo firme con amortiguamiento del 5.0% y con un coeficiente sísmico de 0.60, el cual difiere un poco de las propuestas desarrolladas por Trigos (1988) de un coeficiente sísmico de 0.72; y difiere bastante respecto a las de Esteva y Ordaz (1988) de un coeficiente sísmico de 0.44, CFE (1993) de un coeficiente sísmico de 0.36 y la del *Reglamento de construcciones de Tuxtla Gutiérrez* (1995) de un coeficiente sísmico de 0.30, que es el valor que actualmente se emplea. En la figura 17 se presenta una comparación de los espectros obtenidos en cada uno de los estudios.

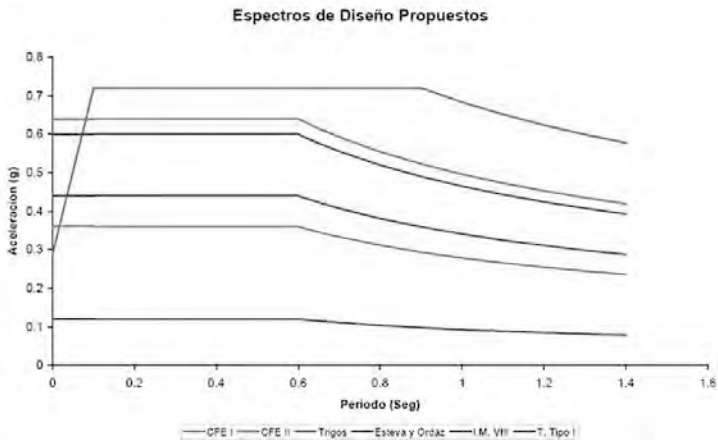


Figura 17. Comparación de los espectros resultados de distintos estudios en el estado de Chiapas (Alonso y otros, 1999).

Los estudios de microzonificación para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas continuaron en los años 2004, 2005 y 2006, con los trabajos desarrollados por la UNACH y la UNICACH (Narcía y otros, 2006), mediante los cuales se complementó el mapa de microzonificación para la ciudad, considerando las nuevas colonias y refinando puntos del estudio previo (se pasó desde 75 hasta 96 puntos de medición), los resultados se observan en la figura 18.

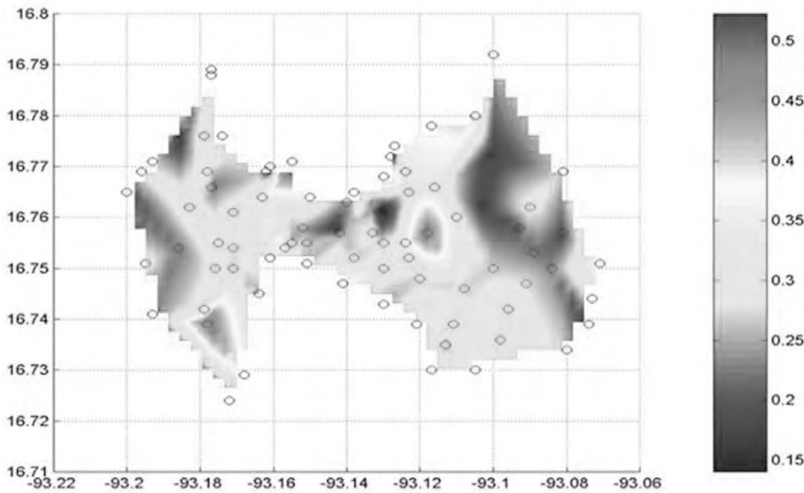


Figura 18. Período natural de vibración del suelo de acuerdo con los estudios de Narcía y otros, 2006.

El estudio empleó la técnica de cocientes espectrales de Nakamura, 1989 (divide la componente horizontal entre la vertical del espectro de Fourier), como retoman las mediciones de 1994, algunas de las cuales no contaban con datos de la componente vertical. Para resolverlo se empleó una técnica desarrollada por Narcía y otros, 2006, con un modelo de Newmark y Rosenbleuth (1976), el cual relaciona el periodo fundamental del suelo y la velocidad de las ondas de corte, con la expresión mostrada en la ecuación uno, con la cual resultó la variación de los espesores de sedimentos que aportan el efecto de sitio para el suelo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, con una velocidad promedio de ondas de corte $\beta=150$ m/s.

$$T = 4 \sum_i^n \frac{h_i}{\beta_i} \quad (1)$$

El estudio señaló que el periodo natural de los suelos de Tuxtla Gutiérrez es desde 0.10 y hasta 0.53 segundos, las amplitudes encontradas son del orden de 13 y se hace conciencia de la vulnerabilidad sísmica de la cuenca sedimentaria donde se desplanta la ciudad. En la figura 19 se presentan los espesores de los sedimentos que van desde 3.82 y hasta los 19.95 m. Se concluyó que el terreno debe clasificarse como firme para las zonas rígidas, e intermedio para la mayoría del valle.

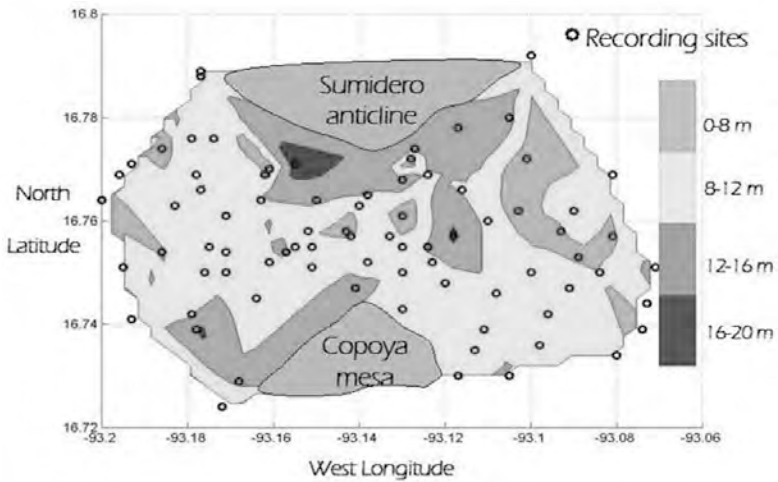


Figura 19. Espesores de los sedimentos para Tuxtla Gutiérrez de acuerdo con los estudios de Narcía y otros, 2006.

Tras comparar el mapa de CFE, 2008, donde se muestra el nivel de aceleraciones en gales que alcanzaría la capital del estado de Chiapas para distintos periodos de retorno (50, 100 y 150 años), y considerando el acelerograma del sismo de Villaflores encontramos que los valores son bastante distintos y con variaciones desde 4 hasta 1 (ver figura 20).



Figura 20. Aceleraciones en gales obtenidas en Tuxtla Gutiérrez a partir del sismo de Villaflores de 1995.

González y Narcía (2010) desarrollaron un análisis estadístico probabilístico de los sismos en el estado de Chiapas, empleando los datos del Servicio Sismológico Nacional del año 1974 hasta 2009, con lo que elaboraron mapas de frecuencia de sismos, energía liberada y profundidad media, respectivamente (ver las figuras 21 hasta la 23).

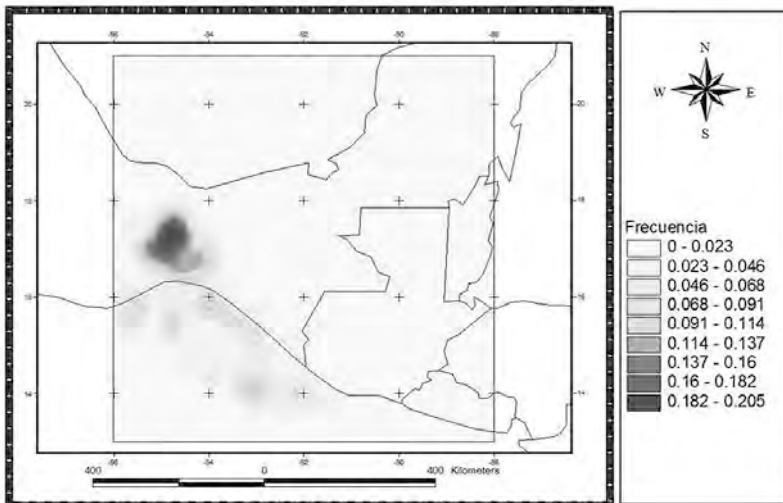


Figura 21. Frecuencia sísmica en Chiapas (González y Narcía, 2010)

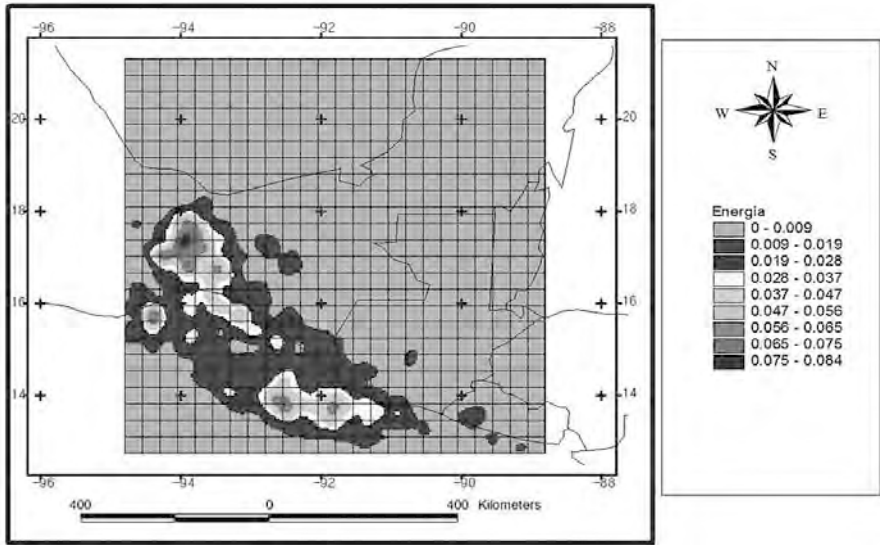


Figura 22. Energía total liberada en Chiapas (González y Narcía, 2010).

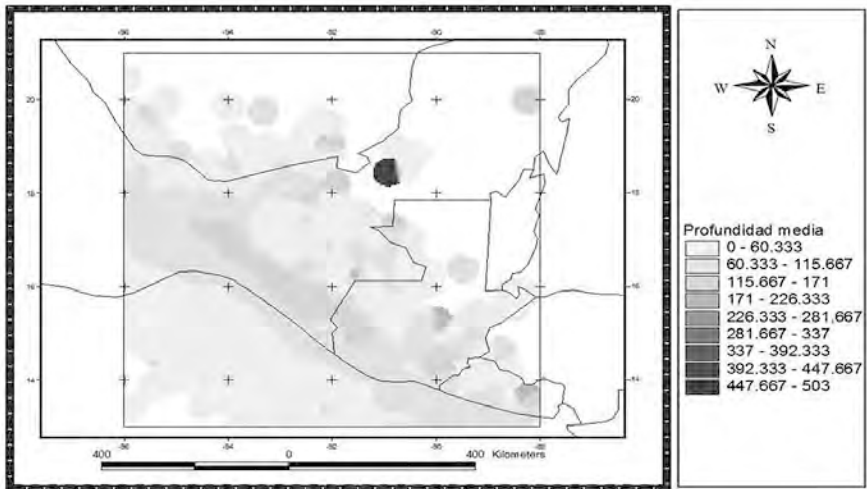


Figura 23. Profundidad media de los eventos sísmicos en Chiapas (González y Narcía, 2010).

No obstante que hay más estudios desarrollados ya sea en el estado de Chiapas, en el resto del país o incluso en el extranjero, los autores consideraron presentar éstos, ya sea por el desconocimiento de otros o por la relación de estos estudios con lo expuesto en el texto.

Estudios geotécnicos de Tuxtla Gutiérrez

Para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, y no así en otras regiones del estado, se han desarrollado estudios geotécnicos a cargo del Instituto de Ingeniería de la UNAM, a cargo de Espinosa (1976), quien consideró que la ciudad tenía dos tipos de suelos (materiales limosos y arenas, de buena capacidad y otra de depósitos aluviales con problemas de expansividad).

Posterior al estudio de la UNAM investigadores de la UNACH realizaron estudios, como los de Ordóñez (1994 y 2008), donde hace notar que existen estratos plásticos saturados de hasta 10 m de profundidad en la zona de la cuenca del río Sabinal, y divide a la ciudad en tres zonas, en la tabla 3 se muestran las propiedades mecánicas de las distintas zonas y en la figura 24 se muestra la zonificación geotécnica.

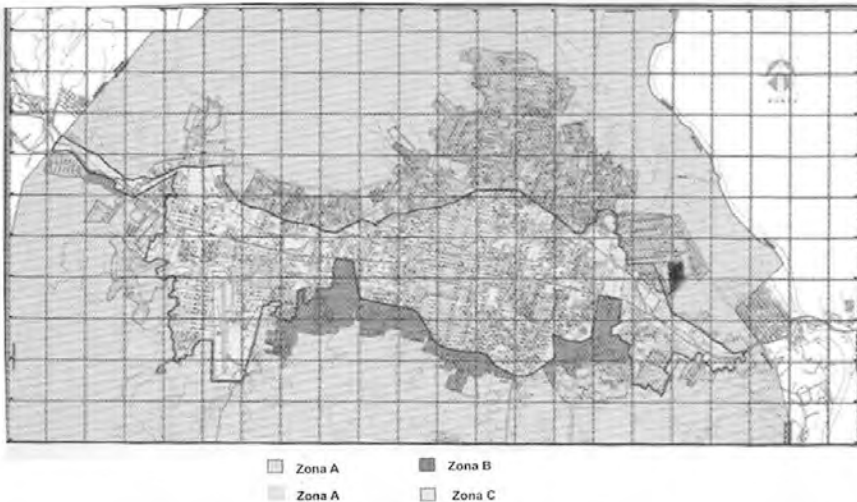


Figura 24. Mapa de zonificación geotécnica del Valle de Tuxtla Gutiérrez, (Ordóñez, 2008).

Tabla 3. Propiedades índices de las distintas zonas geotécnicas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Ordoñez (2008)

Propiedades índice y de resistencia de los suelos de la zona A, del centro de la ciudad (limos y arcillas de color café claro, no expansivo), Ordoñez, 2008.

ω %	G _w %	S _s	WL %	WP %	PL %	F %	S %	G %	γ _m Mg/m ³	e	C _s	C _c	q _u KPa	u	P _c KPa	P ₀ KPa
15-24	65-80	2.5-2.7	25-55	13-22	22-30	85-100	5-15	0-15	1.7-1.95	0.5-0.9	0.07-0.005	0.15-0.27	60-250	14°-28°	130-250	30-120

Propiedades índices, resistencia y deformación de las arcillas de color gris oscuro a café claro, zona A (suelos expansivos)

ω %	G _w %	S _s	WL %	WP %	PL %	F %	S %	G %	γ _m Mg/m ³	e ₀	C _s	C _c	q _u KPa	u	P _c KPa	P ₀ KPa	SPT No de golpes
12-36	70-100	2.35-2.60	40-80	11-30	25-60	90-100	0-10	0-2	1.3-1.7	0.6-1.10	0.07-0.00153	0.12-0.00435	50-200	6°-19°	40-75	25-55	8-35

Propiedades índice y de resistencia de los suelos de la zona B (lutitas)

ω %	G _w %	S _s	WL %	WP %	PL %	F %	S %	G %	γ _m Mg/m ³	N Prom seco	q _u KPa	N Prom saturado	q _u KPa	Ñ Prom (roca)	qu KPa
10-28	25-95	2.5-2.7	41-65	15-35	20-50	60-90	8-40	0-8	1.7-1.9	N≥20	100-200	3-7	50-100	N>40	>400

Propiedades índice y de resistencia de los suelos de la zona C (caliche y roca caliza)

ω %	G _w %	S _s	W _L %	W _p %	P _L %	F %	S %	G %	γ _m Mg/m ³	ε _u	q _u KPa	u	P _c KPa	P ₀ KPa
12-24	12-70	2.5-2.7	15-45	13-22	8-25	85-100	5-15	0-15	1.7-1.95	0.4-0.65	60-250	14°-28°	130-250	30-120

Siendo: ω humedad natural, G_w grado de saturación, S_s densidad de sólidos, W_L límite líquido, W_p límite plástico, P_L índice plástico, S resistencia al corte, G módulo de cortante estático, γ_m peso volumétrico, P₀ presión inicial suelo consolidado, P_c presión en suelo reconsolidado, q_u capacidad de carga de falla del suelo, N número de golpes promedio de la prueba de penetración estándar (SPT).

Otros estudios presentan una propuesta que subdivide a la ciudad en cinco zonas (ver figuras 25 y 26) considerando la base de datos de estudios de mecánica de suelos de la UNACH y la empresa GEORTEC, S.A. de C.V. (Díaz y otros, 2006).

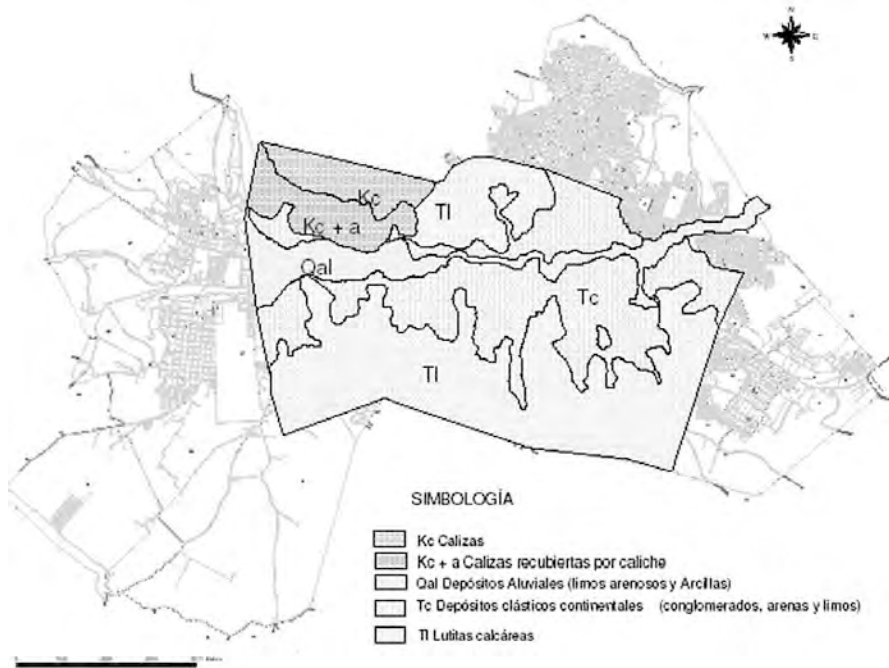


Figura 25. Mapa geológico del Valle de Tuxtla Gutiérrez (Díaz y otros, 2006)

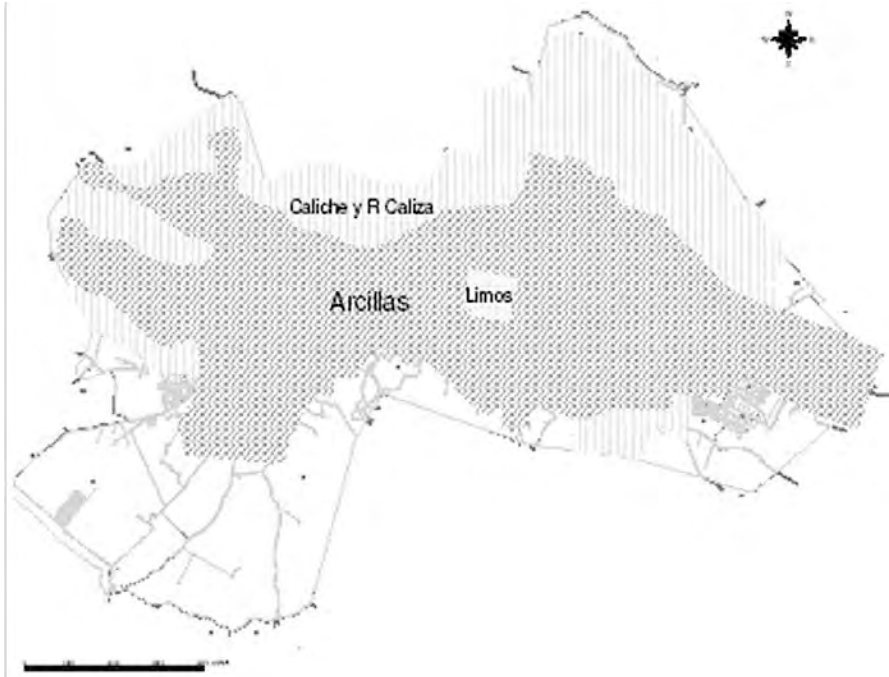


Figura 26. Mapa de zonificación geotécnica de Tuxtla Gutiérrez (Díaz *et al.*, 2006)

De acuerdo con los estudios de Ordoñez (2008), las arcillas expansivas cubren gran parte del área urbana de Tuxtla Gutiérrez con espesores de hasta 4.5 m de profundidad y, de acuerdo con la experiencia que se ha tenido con ellas en el mundo, producen daños severos en construcciones que esfuerzan al suelo con demandas menores de 5 ton/m^2 , es decir, viviendas, escuelas, pavimentos, entre otras estructuras, las cuales corresponden a la mayoría del inventario constructivo presente en la ciudad. Las presiones de expansión generadas son desde 1.0 hasta 1.5 kg/cm^2 (100 hasta 150 KPa).

Bibliografía

Alonso, G., R. Cruz, F. Cruz, M. Ramírez, M. Ruiz y J. Iglesias, 1995, *Zonificación sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez*, Universidad Autónoma de Chiapas, Universidad Metropolitana, México, D.F.

Alonso, G., R. Cruz, F. Cruz, M. Ramírez, M. Ruiz y J. Iglesias, 1999, “Resultados de la zonificación sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez”, *XII Congreso nacional de ingeniería sísmica*, México, D.F.

Atlas de riesgos del estado de Chiapas, 2003, Protección civil y Gobierno del Estado, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Barrier, E., L. Velasquillo, M., Chávez y R., Gaulon, 1998, “Neotectonic evolution of Isthmus of Tehuantepec (Southern Mexico)”, en *Elsevier Science Tectonophysics*, 287, 77–96.

Belén, B., E., Molina y L., Laín, 2001, “Metodología para estudio de amenaza sísmica en Guatemala, aplicación al diseño sismoresistente”, Reporte de investigación, Guatemala.

CENAPRED. 2001, Servicio Sismológico Nacional, información de los sismos en México. www.ssn.unam.mx.

Comisión Federal de Electricidad, 1993, *Manual de diseño de obras civiles, estructuras, C.1.3. Diseño por sismo*, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos, México.

Comisión Federal de Electricidad, 2008, *Manual de obras civiles. Diseño por sismo*, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos, México.

Díaz, V., G., Alonso G., Ordóñez y F., Nangüelu. 2006, “Propuesta de zonificación geotécnica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez”, *XXIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos*, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, México.

Espinosa L., 1976, *Propuesta de zonificación geotécnica de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Instituto de Ingeniería de la UNAM, México, D.F.

Esteva L. y Ordaz M. 1988, “Riesgo sísmico y espectros de diseño en la República Mexicana”, *Memorias del III Simposio Nacional sobre Ingeniería Sísmica*, Guadalajara, Jalisco, 420–458.

Farreras, S., R., Domínguez y C. Gutiérrez, 2005, Serie Fascículos: Tsunamis. Centro Nacional de Prevención de Desastres Naturales, México, D.F. Segunda impresión, 44pag.

Figuroa J. 1973, *Sismicidad en Chiapas*, Instituto de Ingeniería de la UNAM, México, D.F.

Figuroa, J., C., Lomnitz, A., Dawson, R., Meli, y J., Prince, 1975, *Los sismos de julio a octubre de 1975*, Instituto de Ingeniería de la UNAM, México, D.F.

Figuroa, J., 1986, *Isosistas de grandes temblores ocurridos en la República Mexicana*, Series del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

García, V. y Suárez, G., 1996, *Los sismos en la historia de México*, Ediciones Científica Universitaria, Fondo de Cultura Económica, UNAM, México, D.F.

González y Narcía. 2010, *Análisis de la peligrosidad sísmica en el sureste de México con base en el catálogo del Servicio Sismológico Nacional desde 1974 hasta 2009*, Tesis de licenciatura de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, en revisión.

Gutiérrez, C., S. Millar, C. Montoya y R. Tapia, 1991, *Diagnóstico de peligro sísmico para la República Mexicana y evaluación de intensidades para sismos históricos*, Coordinación de Investigación, Área de Riesgos Geológicos, CENAPRED, RG/02/91.

Guzmán Speziale, Ramos, S., 2008, *Plan operativo de riesgos sísmicos*. Gobierno del Estado de Chiapas, México.

Kostoglodov, V. y J. Pacheco. 1999, *Cien años de sismicidad en México*. Instituto de Geofísica, UNAM.

Narcía, C., González, R., Palacios, R. J., Vera, P., Nájera H. A., García, C. M. y R. A. Vázquez, 2009, "Importancia del estudio de los sismos en Chiapas". Rodolfo Palacios Silva (coordinador), *Estudios ambientales y Riesgos Naturales, aportaciones al sureste de México*, pp. 43–67. Cuerpo Académico Estudios Ambientales y Riesgos Naturales, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Colección Jaguar, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Narcía C., J. Aguilar, M. Ramírez, R. Cruz y R. González. 2006, "El periodo natural de vibración del suelo en la ciudad de Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas", revista *Quehacer Científico en Chiapas*. volumen I, número I, segunda época, pp. 22–38, enero junio, editada por la Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Newmark, N. y E. Rosenbleuth, 1976, *Fundamentos de ingeniería sísmica*. Editorial Diana, México, D.F.

Ordoñez, J. 2008, *Zonificación geotécnica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*, Universidad Autónoma de Chiapas, México.

Ordóñez, J., 1994, *Estabilización de arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez con caliche y arena*. tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Pardo, M. y G. Suárez, 1995, "Shape of the Subducted Rivera and Cocos Plates in Southern Mexico: Seismic and Tectonic Implication", en *Journal of Geophysical Research*, 100, 12357–12373

Ponce, L., R. Gaulon, G. Suarez y E. Lomas, 1992, "Geometry and State of Stress of the Downgoing Cocos Plate in the Isthmus of Tehuantepec, Mexico", in *Geophysical Research Letters*, vol. 19, No. 8, page 773–776.

Rebollar, C., L. Quintanar, J. Yamamoto y A. Uribe, 1999, "Source process of the Chiapas, Mexico, Intermediate–Depth Earthquake of 21 October 1995", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89, 2, pp. 348–358, April 1999.

Gobierno del Estado de Chiapas, 1995, "Reglamento de construcciones y servicios urbanos, Para los Municipios de Tuxtla Gutiérrez, Tapachula, San Cristóbal de Las Casas, Comitán, Tonalá, Huixtla, Arriaga y Villaflores". en *Periódico Oficial*, Chiapas, México.

Rodríguez, M., E. Nava, T. Domínguez y J. Havskov, 1985, *Informe de los sismos ocasionados durante la construcción de la presa Manuel Moreno Torres (Chicoasén)*, Instituto de Ingeniería de la UNAM, México, D.F.

Servicio Sismológico Nacional, SSN, 2002, *Reporte del sismo de Chiapas del 16 de enero de 2002 (Magnitud 6.7)*, Instituto de Ingeniería de la UNAM, México, D.F. <http://www.ssn.unam.mx/> consultado el 7 de abril de 2009.

Suárez, G. y K. Singh, 1986, "Tectonic Interpretation of the Trans Mexican Volcanic Belt Discussion", *Tectonophysics*, 127, 155–160

Trigos J., 1998, "Riesgo sísmico, construcciones y reglamentos en México", *Memorias del III Simposio nacional sobre ingeniería sísmica*, Guadalajara, Jalisco, pp. 323–345.