

REGIONES SISMOGENICAS DE MAYOR PELIGRO SÍSMICO PARA EL ESTADO DE VERACRUZ

Regino Leyva Soberanis¹, Francisco Williams Linera¹, Guadalupe Riquer Trujillo¹,
Javier Francisco Lermo Samaniego²

RESUMEN

Basados en el análisis de los catálogos histórico e instrumental y la fisiografía, se hizo una división de las regiones sismotectónicas del Estado de Veracruz, tomando consideraciones como: la historia sísmica de la región, el análisis de localización hipocentral de eventos de características similares, las características tectónicas comunes de la zona, mecanismos focales y/o patrones de fallamiento. Para este último punto, se analizaron los mecanismos focales de 34 sismos.

ABSTRACT

Based on the analysis of catalogues historical and instrumental and the physiography, a division was done of the sismotectónicas regions of the State of Veracruz, taking considerations like: the seismic history of the region, the analysis of hypocentral location of events of similar characteristics, the common tectonic characteristics of the zone, focal mechanisms and/or patterns of faulting. For this last point, the focal mechanisms of 34 earthquakes were analyzed.

INTRODUCCION

La periodicidad de ocurrencia de sismos con determinada intensidad en una zona, define el peligro sísmico de la misma. Estudiar el fenómeno depende en gran medida de la densidad y cobertura adecuada de una red de instrumentación instalada para el registro sísmico. Conocer la amenaza en una región, permite tomar medidas para atenuar las afectaciones, sobre todo en las construcciones, pues si bien los sismos actúan en forma general, afectan mayormente a las más vulnerables. Aunque los sismos de grandes magnitudes en México tienen su epicentro en las costas del Océano Pacífico, sismos importantes han marcado al estado de Veracruz (Jáltipan 1959, Jalapa 1920 y Orizaba en 1973), y su potencial sísmico aún no ha sido suficientemente estudiado por la poca información disponible.

La instrumentación en el estado de Veracruz, tienen sus inicios a principios del siglo pasado con la instalación de un sismógrafo Wiechert en la ciudad de Veracruz, que deja de funcionar en 1997. Formaba parte de las primeras acciones organizadas en México para el registro y estudio de los sismos.

Previamente a la propuesta de la subdivisión del Estado de Veracruz en regiones sismotectónicas, se elaboraron los catálogos de sismos históricos pre-instrumentales (Hernández, A., 2008), y el de sismos instrumentales (Pérez, S., 2009a, b). Así como también se analizaron los mecanismos focales de 34 sismos.

¹ Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Av. S. S. Juan Pablo II, s/n, Campus Mocambo, Fracc.Costa Verde, C.P. 94294, Boca del Río, Ver., México, Tel. (229) 7752000 ext. 22214, 22215, 22216 reginol@yahoo.com

² Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Torre de Ingeniería, 2do. Piso, Cd. Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F., Tel. (55) 56233500 ext.1264, jles@pumas.iingen.unam.mx

MARCO TECTÓNICO

Las características de la región del Istmo de Tehuantepec han despertado el interés para diversos estudios de tipo geológico, geofísico y de sismicidad, y los resultados obtenidos en este trabajo para el estado de Veracruz pueden ser relacionados con los mismos. Así, el estado de Veracruz se ubica en la vecindad de una zona de características geotectónicas complejas, en la zona de la llamada Junta Triple (ver figura 1), controlada por la iteración de tres placas tectónicas: la placa de Cocos (CO), la de Norteamérica (NA) y la del Caribe (CA). La placa de Cocos subduce a la de Norteamérica generando con ello una profunda fosa oceánica conocida como la trinchera mesoamericana (MAT). Por otro lado, el movimiento entre las placas de Norteamérica y Caribe genera una larga zona de fallas izquierdas conocidas como el sistema de fallas Motagua-Polochic (MOFZ), que originan gran actividad sísmica en la región (Bravo et al., 2003).

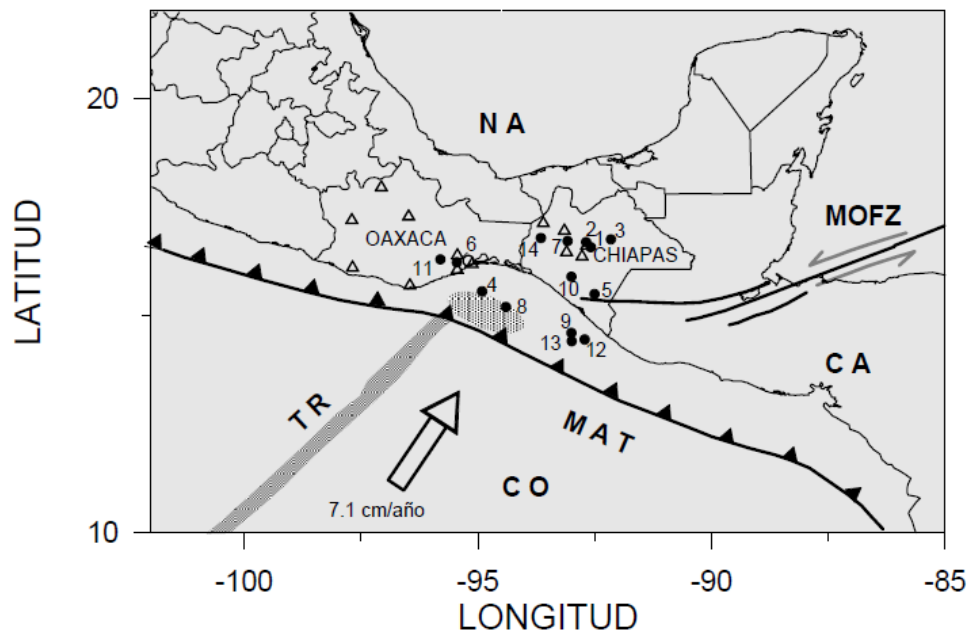


Figura 1 Marco tectónico del área de estudio.

FISIOGRAFÍA DEL ESTADO DE VERACRUZ

La mayor parte de México, está ubicado dentro de la gran placa tectónica de Norteamérica, y la zona de más alto potencial sísmico es en la zona de subducción, donde la placa de Cocos se desplaza hacia el continente. Para el estado de Veracruz (ver figura 2), las características de su relieve provocadas por tectonismo lo definen las Provincias Fisiográficas siguientes:

LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE

Es, en general, una superficie plana con suave inclinación, la altitud va del nivel del mar a 200 m; se originó por levantamientos tectónicos del cenozoico caracterizados por formas de planicie costera.

EJE NEOVOLCÁNICO (CINTURÓN VOLCÁNICO MEXICANO)

Se caracteriza como una enorme masa de rocas volcánicas de diversos tipos, acumulada en numerosos y sucesivos episodios volcánicos que se iniciaron a mediados del Terciario y continuaron hasta el presente. Uno de sus rasgos característicos es la franja de volcanes que se extiende de oeste a este. En esta región se encuentran sierras volcánicas, coladas lávicas, conos cineríticos y depósitos de ceniza.

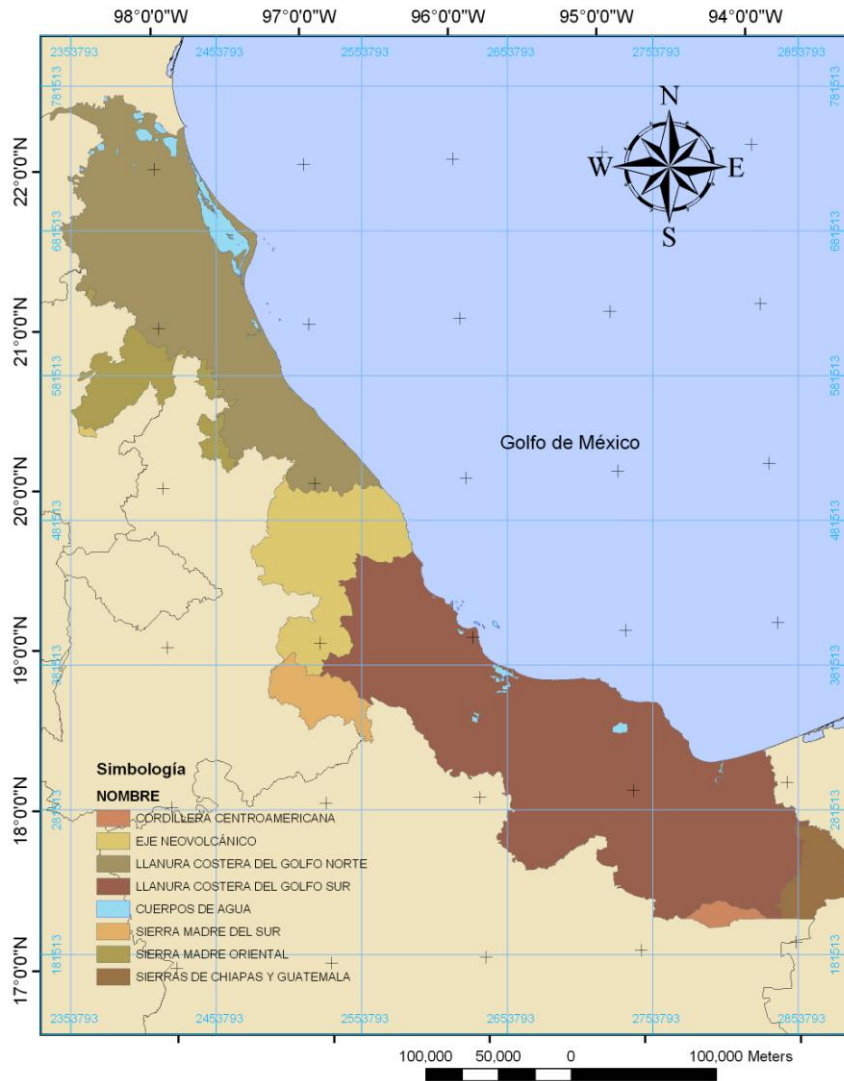


Figura 2 Fisiografía del estado de Veracruz

LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR

En ella se presentan grandes depósitos aluviales por parte de los ríos más caudalosos del país que desembocan en el Golfo de México. La mayor parte de su superficie, con excepción de la Discontinuidad Fisiográfica de Los Tuxtlas y algunos lomeríos bajos, está muy próxima a nivel del mar y cubierta por material aluvial, donde predominan materiales arcillo arenosos, asimismo, es común encontrar extensas superficies bajas sujetas a inundación.

SIERRA MADRE DEL SUR

Tiene una litología en la que sobresalen rocas intrusitas y metamórficas. En la sierra Zongolica predominan las rocas calcáreas del Cretácico, sin embargo, afloran esquistos asociados con aluviones antiguos. Sus cumbres exceden los 2000 msnm.

SIERRA MADRE ORIENTAL

Se encuentra en forma más o menos paralela a la costa del Golfo de México. Se inicia en el sur de Texas y termina en el Cofre de Perote, punto de contacto con la Cordillera Neovolcánica. Es fundamentalmente un conjunto de sierras menores de estratos plegados, de rocas sedimentarias del Cretácico y Jurásico Superior, donde predominan las calizas, areniscas y lutitas.

SIERRA DE CHIAPAS Y GUATEMALA

Está formada por sierras constituidas de rocas sedimentarias marinas del Mesozoico, principalmente calizas. Son sierras plegadas con los ejes estructurales orientados este-oeste y afectadas por fallas.

CATÁLOGO DE SISMOS HISTÓRICOS (1523-1910)

La actividad sísmica puede ser de larga periodicidad, y si nos limitamos solo a los registros instrumentales, corremos el riesgo de omitir la presencia de sismos importantes. El primer sismo en el estado al que hacen mención los españoles después de la conquista, es el ocurrido en la sierra, posiblemente cerca del Valle de Tehuacán entre los estados de Veracruz y Puebla el 1° de abril de 1523, y es hasta 1910 cuando en el gobierno de Porfirio Díaz se instala la primera estación de registro sísmico instrumental en la ciudad de Veracruz. Por ello se estableció este período para el catálogo pre-instrumental, que contiene 220 sismos “sentidos” en el estado. Se recurrió a fuentes bibliográficas como “Los sismos en la historia de México”, 1996 de García y Suárez. Esta base de datos contiene fechas de ocurrencia, características del movimiento, lugares de afectación del sismo y la respuesta de la gente entre otros datos (Hernández, A., 2008).

Con este catálogo, se propuso un mapa con probables zonas de epicentros de sismos históricos sentidos en el estado o cerca de él (ver figura 3).

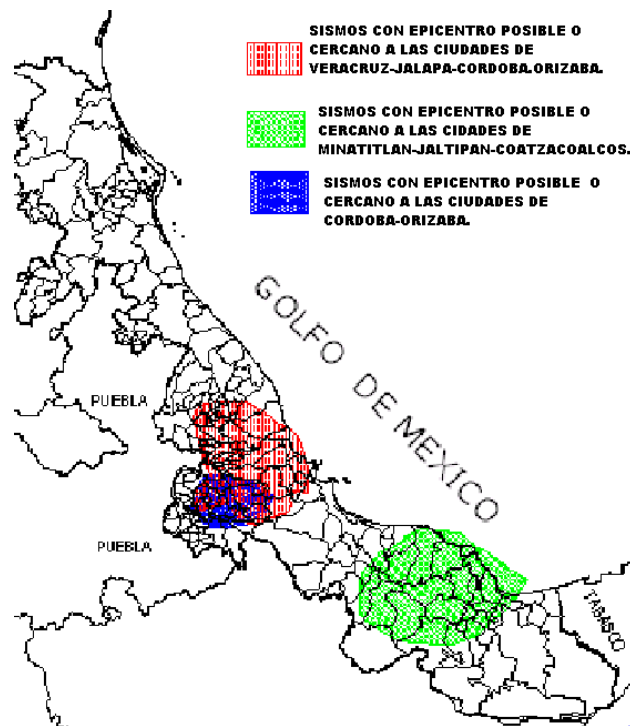


Figura 3 Probables zonas de epicentros de sismos históricos

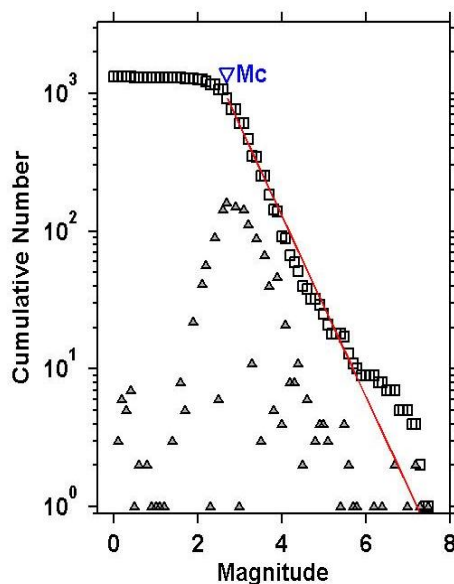
CATÁLOGO DE SISMOS INSTRUMENTALES (1910-2008)

El Catálogo de la Sismicidad de México (Zúñiga, F., 2008), fue una de las bases de datos más completa consultada, y quedó complementada con catálogos nacionales como el del Servicio Sismológico Nacional (SSN), el de la red sísmica local de Laguna Verde (CFE), el del Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana (REVIS) y el de I. Mora para el estado de Veracruz, cada uno de ellos en sus diferentes períodos. Se consultó también la agencia internacional U.S. Geological Survey (USGS).

Se evaluó el estado de homogeneidad y completitud del catálogo para considerar factores como la diversidad de aparatos de registro y la permanencia de los mismos, las técnicas usadas para la obtención de parámetros sísmicos y las imprecisiones atribuibles a la distancia de los aparatos de registro, entre otras cosas. Se tomaron solo aquellos sismos con epicentros cuyas coordenadas se localizaron en la ventana: Latitud Norte: 17° a 23° y Longitud Oeste: 93° a 99°. Incluyen al estado de Veracruz y una franja exterior de aproximadamente 20 Km de ancho, con la finalidad de comprender sismos importantes ocurridos cerca del estado como el del 28 de agosto de 1973; contiene también parte del Golfo de México.

El análisis del catálogo se hizo con el paquete ZMAP (S. Wiemer, con aportaciones de R. Zúñiga y otros), el cual es de uso cotidiano en varios observatorios sismológicos mundiales, y constituye una herramienta muy útil para el análisis de la completitud y homogeneidad de catálogos, que a su vez despliega con gráficos; define las anomalías en la tasa de sismicidad de una región y realiza análisis de detalle en regiones seleccionadas. Para el manejo y presentación de mapas se usó el programa ArcGis.

Se concluye que el catálogo posee datos confiables a partir de la magnitud de completitud $M_c=2.7$ (ver figura 4); se observa una desviación en la curva para sismos de magnitud $M_s \geq 6$, posiblemente por la falta de registros en un período más largo. Se aprecia un incremento en la capacidad de detección de la sismicidad regional a partir de 1959 (ver figura 5), por tal razón el análisis de sismicidad de la región se hizo para este periodo (Pérez,S., 2009a,b).



Maximum Likelihood Solution
 b -value = 0.655 +/- 0.02, a value = 4.73
 Magnitude of Completeness = 2.7

Figura 4 Relación magnitud frecuencia

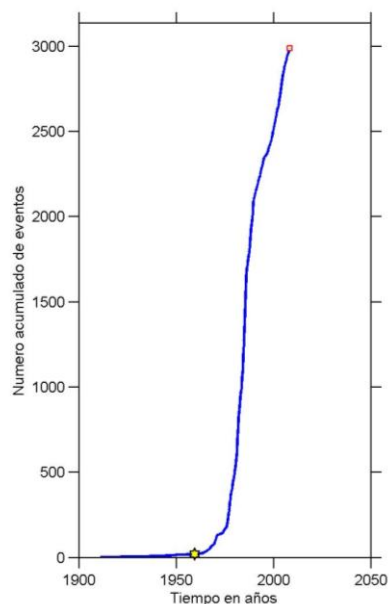


Figura 5 Capacidad de detección de la sismicidad

Se cuidó la duplicidad de un mismo evento, las unidades horarias y de magnitud, se precisaron algunas coordenadas epicentrales y se consultaron fuentes más recientes de ciertos eventos con estudios a detalle, a los que se les dio prioridad. El catálogo quedó constituido por 3244 eventos, cuya distribución espacial epicentral de la región se muestra en la figura 6a a 6f.

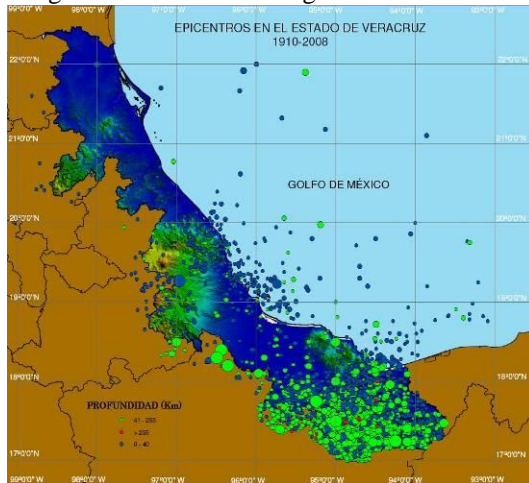


Figura 6a.- Epicentros registrados entre 1910 y 2008

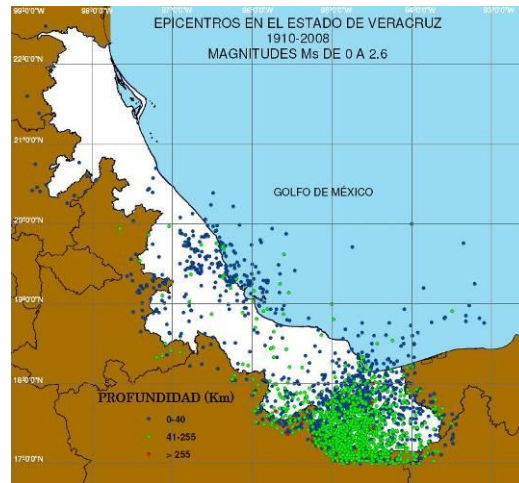


Figura 6b.- Magnitudes $0 \leq M_s \leq 2.6$

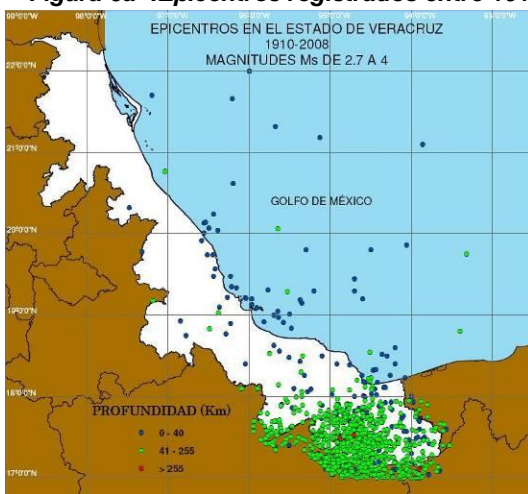


Figura 6c.- Magnitudes $2.7 \leq M_s \leq 4.0$



Figura 6d.- Magnitudes $4.1 \leq M_s \leq 5.0$



Figura 6e.- Magnitudes $5.1 \leq M_s \leq 6.0$



Figura 6f.- Magnitudes $6.1 \leq M_s \leq 7.5$

Se puede apreciar una gran actividad sísmica en el centro y sur del estado Veracruz, haciéndose más disperso al norte, aunque por la escasa instrumentación en esta última región, es posible que no sea representativa de su potencial (Figuras 6a a 6f). Las figuras 6d a 6f, muestra, en el sur del estado, eventos cuya profundidad y magnitud representan un peligro para lugares densamente poblados. De acuerdo a la distribución de los sismos registrados, se puede decir que al sur del estado se han presentado sismos profundos productos de la subducción de la placa del Pacífico, pero existen sismos de poca profundidad que no corresponden a los límites de la subducción, asociados a fuentes superficiales en el interior del continente (De la Orta et al., 1989).

MECANISMOS FOCALES DE SISMOS EN EL ESTADO DE VERACRUZ

Se consultó la base de datos del sismológico de Harvard Seismology (<http://www.seismology.harvard.edu>), de donde se obtuvieron los mecanismos focales de 34 sismos ocurridos entre los años de 1979 a 2009, entre las coordenadas 17° a 23° latitud N y de 93° a 99° longitud W y cuyas magnitudes (M_w) varían entre los 5 a 7.1 (ver tabla 1 y figura 7).

De acuerdo a las características de los planos de falla dados en la tabla 1, los sismos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33 y 34 presentan fallas de tipo normal con transcurrencias lateral derechas o lateral izquierdas. Solamente los sismos 7 y 8 presentan falla normal sin transcurrencia, mientras que los sismos 18 y 23 son los únicos que presentan fallas inversas. El sismo 30 ubicado en el Golfo de México es de transcurrencia pura.

Una manera de interpretar estos mecanismos focales, es observando su distribución espacial (figura 7), su orientación de sus ejes principales o planos de falla, el tipo de falla y su profundidad. Para esto hemos agrupado en tres zonas:

- La primera conformada por 15 mecanismos de fallamiento normal con algo de transcurrencia (20, 34, 15, 17, 2, 4, 13, 19, 9, 6, 7, 8, 29 y 27) y con una orientación en general hacia el NE. Para observar su distribución en profundidad se ha trazado la sección AA', que muestra una variación entre los 50 a 80 km. De acuerdo a estos resultados se pueden interpretar, que estos sismos están asociados al rompimiento de la parte final de la placa de Cocos subducida bajo la placa Norteamericana en la región de Puebla y Oaxaca.
- La segunda familia lo conforman 5 mecanismos que también presentan fallamiento normal con algo de transcurrencia (16, 22, 24, 26, y 12) con una orientación también hacia el NE. Para observar su distribución en profundidad se ha trazado la sección BB', que muestra una variación entre los 100 a 140 km. De acuerdo a estos resultados se pueden interpretar como sismos asociados también al rompimiento de la parte final de la placa de Cocos subducida bajo la placa Norteamericana en la región de Oaxaca, donde la placa sufre una inclinación hacia el este, como lo demuestran las profundidades de estos sismos.
- La tercera familia lo conforman 11 mecanismos que también presentan fallamiento normal con algo de transcurrencia (28, 25, 11, 31, 32, 18, 33, 1, 21, 5, 10 y 3) con una orientación en general hacia el Este. Para observar su distribución en profundidad se ha trazado la sección CC', que muestra una variación entre los 140 a 180 km. De acuerdo a estos resultados se puede interpretar que la placa de Cocos sufre un hundimiento lateral mucho mayor que la zona anterior, ya que la profundidad de estos sismos llegan hasta una profundidad de 180 km. Esto se puede corroborar al comparar las diferencias del ángulo de subducción de la placa de Cocos entre la zona de Oaxaca y la de Chiapas. En la zona de Oaxaca la placa de Cocos subduce con un ángulo somero menor de 30 grados, en la zona de Chiapas la subducción presenta un ángulo mayor a los 45 grados (ver figura 8). Esto ya fue discutido por varios autores (Ponce et al., 1992), quienes manifiestan que el Istmo de Tehuantepec está ubicado en una compleja zona donde limitan tres grandes placas: la Placa Norteamericana, la

Placa de Cocos y la Placa del Caribe. La dorsal de Tehuantepec (Bravo et al., 2003), parece actuar como una zona de transición en la morfología de la Placa de Cocos entre los estados de Oaxaca y Chiapas. De acuerdo con Barrier, et al., (1997) el Istmo de Tehuantepec es una continuación de la Zona de Fractura de Tehuantepec, es decir, una línea batimétrica inactiva de la Placa de Cocos.

En la misma figura 7, se pueden identificar los sismos 18 y 23 que se encuentran dentro de la zona de transición entre la región de Oaxaca y Chiapas y tienen fallas inversas, probablemente estén asociados a fallas relacionadas con la zona cortical de la región de Jaltipán.

El sismo 30 con epicentro dentro del Golfo de México es de transurrencia, la cual podría estar relacionada con alguna falla locales del Golfo de México (Ponce y Soares, 1985). Para comprobar esto requiere que se tengan una mayor cantidad de mecanismos de falla de la zona.

Tabla 1 Planos de falla de sismos en el estado de Veracruz

Sismo	Fecha	Lat	Long	H (Km)	Mw	Mb	Planos de Falla			Tipos de Fallas
							Az	Buz	Des	
1	1979-06-22	17.65	-93.97	117.1	6.9	6.3	190	47	140	Normal con transurrencia lateral derecha
							130	62	51	
2	1980-10-24	18.14	-97.86	63.4	7.1	6.4	311	26	114	
							105	66	79	
3	1983-09-18	17.09	-94.07	139.3	5.4	5.1	203	32	156	Normal con transurrencia lateral derecha
							314	78	61	
4	1984-06-04	17.62	-98.03	62.1	5.3	5.4	289	45	108	Normal con transurrencia lateral derecha
							84	48	73	
5	1984-09-01	17.44	-93.8	161	5.3	5.1	186	40	138	
							311	65	58	
6	1985-07-04	17.55	-97.08	67.6	5.1	5.0	318	41	82	Normal con pequeña transurrencia lateral izquierda
							148	49	97	
7	1985-09-15	17.70	-96.85	71.3	6.0	5.9	290	39	90	Normal
							110	51	90	
8	1987-07-15	17.42	-96.91	72.4	6.2	6.0	299	39	90	
							119	51	90	
9	1988-03-31	17.74	-97.3	69.7	5.0	5.1	293	38	81	Normal con transurrencia lateral izquierda
							125	53	97	
10	1988-09-07	17.39	-93.76	155.3	5.2	5.0	238	25	158	Normal con transurrencia lateral derecha
							348	81	67	
11	1989-05-30	17.63	-94.84	142.4	5.8	5.1	188	56	146	
							298	63	39	
12	1991-07-25	17.89	-95.2	132.9	5.7	5.3	166	43	107	Normal con transurrencia lateral izquierda
							324	49	75	
13	1993-08-05	17.62	-97.94	53.5	5.2	4.9	294	39	45	Normal con transurrencia lateral izquierda
							166	64	120	
14	1994-02-23	18.22	-96.82	74.7	5.8	5.4	278	36	97	Normal con pequeña transurrencia lateral derecha
							90	54	85	
15	1994-05-06	18.38	-98.2	61.7	5.2	4.9	121	39	66	Normal con transurrencia lateral izquierda
							332	55	109	
16	1994-08-28	17.26	-96.01	40.2	5.5	5.4	119	18	88	
							302	72	91	
17	1997-04-03	18.51	-98.1	51.7	5.2	5.1	258	27	93	Normal con pequeña transurrencia lateral derecha
							75	63	89	
18	1998-04-25	17.77	-94.17	75.3	5.2	4.9	237	48	-42	Inversa
							8	55	-124	
19	1999-06-15	18.44	-97.38	61.2	6.9	6.4	309	40	97	Normal con pequeña transurrencia lateral derecha
							119	51	84	
20	2000-07-21	18.25	-98.46	56	5.8	5.4	289	33	99	
							98	57	84	
21	2001-12-19	17.57	-93.89	177.1	5.2	4.9	177	29	144	
							300	74	66	
22	2002-01-30	18.22	-95.94	116.6	5.9	5.6	146	27	98	
							317	63	86	

Tabla 1 (continuación)

Sismo	Fecha	Lat	Long	H (Km)	Mw	Mb	Planos de Falla			Tipos de Fallas				
							Az	Buz	Des					
23	2002-06-11	17.61	-94.52	143.7	5.3	4.9	178	45	-172	Normal con pequeña transcurrancia lateral derecha				
							82	84	-45					
24	2004-01-17	17.90	-95.49	106.4	5.2	5.1	325	44	103		Normal con transcurrancia lateral izquierda			
							128	48	78					
25	2004-04-20	17.50	-94.63	146.2	5.4	4.9	191	50	140			Normal con transcurrancia lateral derecha		
							310	61	48					
26	2004-08-07	17.25	-95.3	104.7	5.8	5.4	161	27	116				Transcurrancia	
							312	66	77					
27	2005-09-24	18.20	-96.85	61	5.0	5.0	80	53	44					Normal con transcurrancia lateral derecha
							320	56	134					
28	2006-01-18	17.04	-94.96	120.5	5.0	5.1	186	48	142	Normal con transcurrancia lateral derecha				
							303	63	49					
29	2007-05-04	17.5	-96.68	59.5	5.0	5.0	176	46	134		Normal con transcurrancia lateral derecha			
							302	59	55					
30	2007-05-23	21.98	-96.31	24	5.6	5.4	102	80	180			Normal con transcurrancia lateral derecha		
							192	89	10					
31	2007-09-15	17.59	-94.62	144.4	5.4	5.0	162	33	119				Normal con transcurrancia lateral derecha	
							309	61	72					
32	2007-10-01	17.68	-94.41	154.2	5.3	5.1	200	26	138					Normal con pequeña transcurrancia lateral derecha
							329	73	70					
33	2008-11-23	17.38	-94.02	167.4	5.0	4.8	173	21	-59	Normal con pequeña transcurrancia lateral derecha				
							321	72	-101					
34	2009-05-22	18.24	-98.29	60.5	5.6	5.7	289	35	-60					
							73	61	-109					

PROPUESTA DE REGIONES SISMOTECTÓNICAS DEL ESTADO DE VERACRUZ

Con base en el análisis de la tectónica, sismicidad y la fisiografía, se hizo una propuesta de regiones sismotectónicas, tomando consideraciones como la localización hipocentral de eventos de características similares, las características tectónicas comunes de la zona, mecanismos focales y/o patrones de fallamiento, características principales de la liberación de energía de los sismos dentro de cada región e identificación de aquellos eventos cuyas afectaciones a la población resultaron los más nocivos en cada región. Una referencia relevante fue el trabajo realizado por R. Zúñiga et al., “Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe”, 1997, de donde se toma la nomenclatura para esta propuesta (ver figura 9).

REGIÓN MVB

Se caracteriza por los volcanes que en su área se extienden. La mayoría de los eventos que ocurren en esta zona son de poca profundidad ($h < 40$ km) y baja magnitud ($M_s < 4$). Estos sismos someros son eventos intraplaca, y se relacionan con la placa Norteamericana (NOAM) y esfuerzos tensionales relacionados con el Cinturón Volcánico Mexicano. Posiblemente active el mecanismo de fallamiento inverso el balance entre los esfuerzos, producidos por la alta topografía del cinturón volcánico y los inducidos por la interacción de placas. El sismo característico en esta zona es de poca profundidad ($h = 24$ Km), pero con un gran potencial destructivo como el del 4 de enero de 1920 ($M_s = 6.4$).

REGIÓN MVB1

Al igual que la anterior se caracteriza por su alta topografía y actividad volcánica, aunque rodeado de una fisiografía diferente. La mayor actividad sísmica es de poca profundidad ($h < 40$ km) y magnitud ($M_s < 4$), probablemente asociados a la actividad sísmica reciente del volcán San Martín Tuxtla.

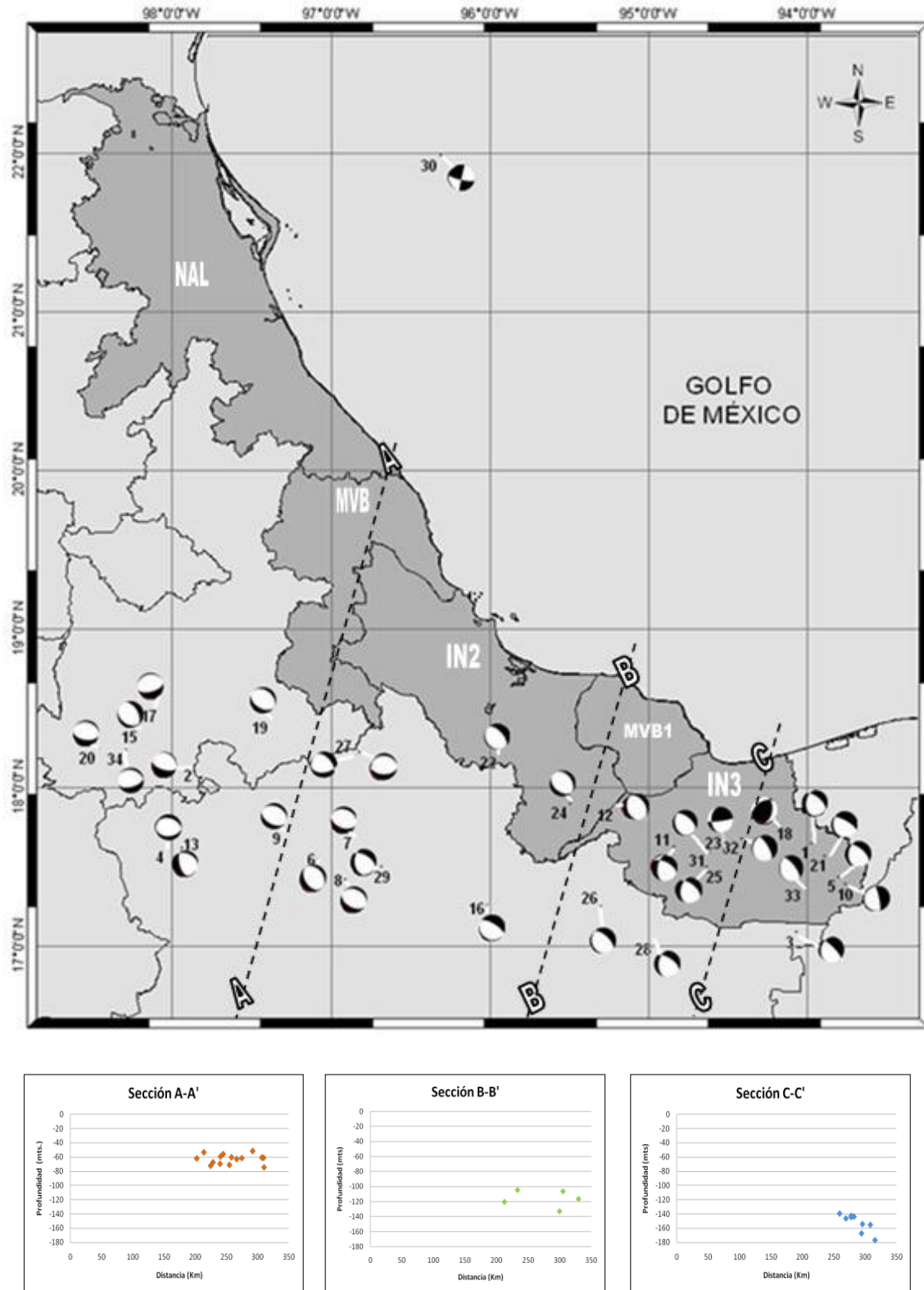


Figura 7 Plano y secciones de hipocentros del estado de Veracruz

REGIÓN NAM

Es una zona con una mayoría de eventos intraplaca (NOAM) someros ($h < 40$ km) y magnitud $M_s < 4$ (ver figura 8). Para esta región destaca el sismo del 26 de agosto de 1959, con una profundidad superficial (20 km) y magnitud de $M_w = 6.4$, conocida como el temblor de Jáltipan, así como los dos sismos de fallamiento inverso reportados en el análisis de los mecanismos focales (18 y 23).

REGIÓN IN2

Esta región comprende la sección profunda de la zona de subducción (ver figura 8) y corresponde a la extensión de la zona SUB2 (Zúñiga et al., “Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe”, 1997). Los sismos que ocurren en esta zona muestran fundamentalmente mecanismos focales de falla normal, con sus ejes de máxima tensión en la dirección paralela al echado de la placa subducida, como se puede observar en el análisis de los mecanismos focales de la primera familia (sección AA' y BB', figura 7). La mayoría de los eventos son de mediana profundidad (40 y 200 km) y en este siglo han ocurrido eventos con magnitud $M_s > 7$. Como un evento importante destaca el del 28 de agosto de 1973, con una $M_s = 7.3$ y profundidad $h = 82$ km, conocido como el temblor de Orizaba por los daños en esa ciudad.

REGIÓN IN3

Esta región corresponde a la extensión a profundidad de la zona SUB4 (Zúñiga et al., “Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe”, 1997). Comprende sismos, principalmente del tipo de fallamiento normal, de profundidad intermedia a profunda dentro de la placa de subducción (Figura 8), como se puede observar en el análisis de los mecanismos focales de la tercera familia (sección CC', figura 7). La densidad de sismicidad umbral es mucho mayor que en la vecina zona IN2. Zona cercana a la de transición de la subducción de Cocos por debajo de NOAM, a subducción bajo la placa del Caribe. En el Estado destaca el sismo del 11 de agosto de 1948, con una profundidad $h = 100$ km, y $M_s = 6.7$.

REGIÓN GMX

Es una región con eventos intraplaca someros, aunque con una sismicidad registrada escasa no deja de ser importante por su cercanía a ciudades densamente pobladas, así como de gran peligro para plataformas marinas. Por su magnitud ($M_s = 7.5$) y ubicación, vale la pena mencionar los sismo del 26 de agosto de 1959 con una profundidad $h = 20$ km cerca de Coatzacoalcos y el del 11 de marzo de 1967 con una profundidad $h = 24$ km y magnitud $M_s = 5.6$, frente a la ciudad y puerto de Veracruz. Del análisis de los mecanismos focales, destaca el sismo número 30 (del 23 de mayo del 2007, prof = 24 km, $M_s = 5.4$) ubicado en el Golfo de México, que presenta un fallamiento de transcurrencia pura.

REGIÓN NAL

Es una zona de baja actividad sísmica detectada por la red nacional, con eventos solamente localizables por redes de cobertura local. El sismo máximo registrado es de $M_s = 4.6$ el 25 de Noviembre de 1966, con profundidad indefinida.

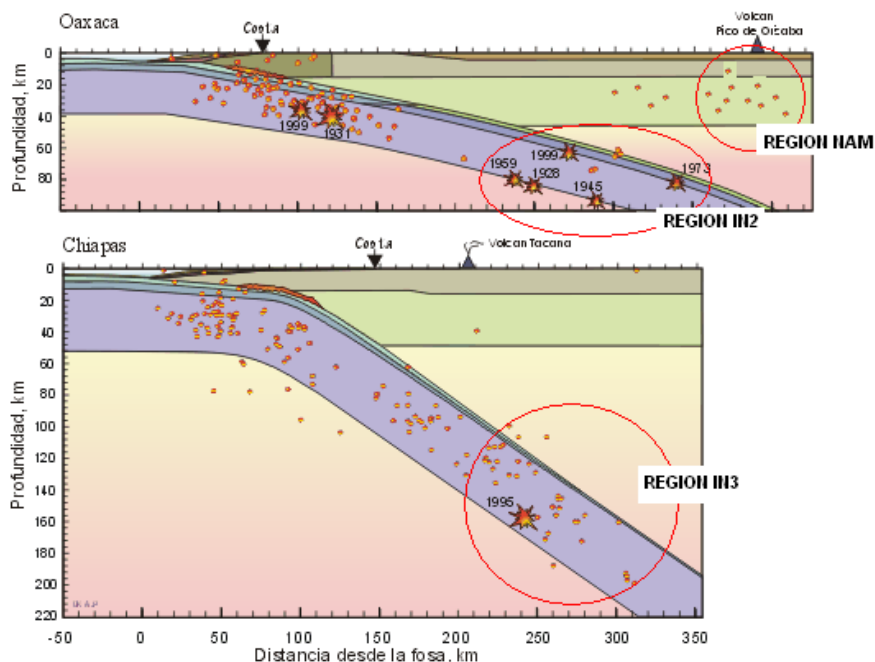


Figura 8 secciones de hipocentros del estado de Oaxaca y Chiapas (tomado de Kostoglodov y Pacheco, 1999)

CONCLUSIONES

Se puede apreciar una gran actividad sísmica en el centro y sur del estado Veracruz, haciéndose más disperso al norte (Región NAL), aunque por la escasa instrumentación en esta última región, es posible que no sea representativa de su potencial. La actividad sísmica del centro del estado está asociada principalmente, a los esfuerzos tensionales del Cinturón Volcánico Mexicano, como se describe en la región MVB, cuyas características son de poca profundidad ($h < 40$ km) y baja magnitud ($M_s < 4$), como se puede observar en la figura 6. Otra zona de menor sismicidad que la anterior, es la región IN2, donde probablemente la parte de mayor peligrosidad de esta región sea la zona límite con el estado de Oaxaca, donde probablemente también se encuentre los límites de la placa de Cocos subducida, como se puede observar en el análisis de los mecanismos focales de esta zona (sección AA', figura 7).

Sin embargo, la región de mayor peligrosidad para el estado de Veracruz, es sin duda las regiones NAM y IN3, asociadas a la gran actividad sísmica superficial y profunda, relacionadas con la presencia de tres grandes placas: la Placa Norteamericana, la Placa de Cocos y la Placa del Caribe. Aún cuando en este trabajo se ha intentado describir su distribución espacial de estas dos zonas activas (NAM y IN3), así como alguna de sus características de ruptura, falta mucho por detallar cada una de estas zonas, ya sea sus límites de acción, parámetros de fuente, periodos de recurrencia, etc; lo cual solo se podrá lograr instrumentando esta zona con un mayor número de sismógrafos de banda ancha.

De igual forma, están las otras dos regiones propuestas, me refiero a la zona MVB1 y GMX. La primera asociada principalmente a la actividad sísmica reciente del volcán San Martín Tuxtla, y la segunda de mayor dimensión asociada a la tectónica del Golfo de México, requieren también de un mayor número de estaciones sísmicas para evaluar su verdadero potencial sísmico, así como muchos otros parámetros sismológicos.

RECONOCIMIENTOS

Estos trabajos son financiados por los Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del estado de Veracruz (FOMIX) y forma parte del proyecto: “Propuesta de zonificación sísmica para el estado de Veracruz”, (2007-2009), clave 32675.

Al Dr. Ramón Zuñiga por la información del Catalogo de sismos instrumentales.

A la Ing. Sara Pérez Torres por su participación en el procesado de la información y el dibujo de mapas.



Figura 9 Regiones Sismotectónicas

REFERENCIAS

Barrier, E., Velasquillo, L., Chavez, M., Gaulon, R. (1998), **“Neotectonic evolution of the Isthmus of Tehuantepec (southeastern México)”**, Tectonophysics 287, págs. 77-96.

Bravo, H., Rebollar, C., Uribe, A., Pérez, M.E., López, P., Jiménez, O. (2003), **“Estructura de la corteza y geometría de la zona de Wadati-Benioff en la zona del Istmo de Tehuantepec”**, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, León Guanajuato, México.

Castro ,R., Nava, E. (1986), **“Análisis de la actividad sísmica local en la zona de Laguna Verde, Ver., durante 1985”** . Instituto de Ingeniería, UNAM.

De la Orta S., Aguilar F. (1989), **“Estudio de riesgo sísmico para la determinación de espectros de diseño sísmico para las zonas petroleras de Coatzacoalcos, Ver. y Salinas Cruz, Oax”**, VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Gro., México, Volumen I, Págs A-14 a A-32.

García, V., Suárez, G. (1996), **“Los sismos en la historia de México, tomo I”**. Ediciones Científicas Universitarias de la UNAM y el Fondo de Cultura Económica. ISBN 968-16-4874-9. México, D.F.

Hernández, A. (2008), **“Catálogo de sismos históricos para el estado de Veracruz (1523-1912”** . Tesis para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Región Veracruz-Boca del Río, Universidad Veracruzana.

Molina, R. (2008), **“Localización de epicentros de sismos en el estado de Veracruz”** . Tesis para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Región Veracruz-Boca del Río, Universidad Veracruzana.

Pérez, S. (2009a), **“Catálogo sísmico instrumental del estado de Veracruz (1910-2008)”** . Tesis para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Región Veracruz-Boca del Río, Universidad Veracruzana.

Pérez, S., Riquer, G., Williams,F., Leyva,R. (2009b), **“Catálogo sísmico instrumental del Estado de Veracruz (1910-2008)”**, Tercer congreso internacional de ciencias, tecnología, artes y humanidades, Coatzacoalcos, Ver., México.

Ponce, L., Gaulon, R., Suarez, G., Lomas, E. (1992), **“Geometry and state of stress of the downgoing Cocos Plate in the Isthmus of Tehuantepec, México”** ,Geophysical Research Letter, Vol. No. 8, Págs. 773-776, April 24 1992.

Ponce, L and G Suárez (1985), **“Evaluation of seismicity and of the maximum earthquake potential at the Laguna Verde Nuclear Power plant”**, Informe del Instituto de Geofísica, UNAM.

Kostoglodov, V., y J. Pacheco, (1999). **“Cien años de sismicidad en México”**, Poster, Instituto de Geofísica, UNAM.

Riquer, G., Williams,F., Lermo,J., Leyva, R., Neri,I., Santamaría, J. (2008), **“Ampliación de la red de registro sísmico basada en una regionalización sismotectónica preliminar del Estado de Veracruz”**, XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Veracruz, Ver., México.

Riquer,G., Williams,F., Leyva,R., Lermo,J. (2009), **“Ampliación de la red de registro sísmica del estado de Veracruz fundamentada en una propuesta de regionalización sismotectónica”**, Tercer congreso internacional de ciencias, tecnología, artes y humanidades, Coatzacoalcos, Ver., México.

Zúñiga, F. (2008), **“Catálogo de la sismicidad de México”** , sin publicar.

Zúñiga, F. ,Wyss, M. (1995), **“Inadvertent changes in magnitude reported in earthquake catalogs: Influence on b-value estimates”** . Bulletin of the Seismological Society of America, V.85, 1858-1866.

Zúñiga,R., Suárez, G.,Ordaz, M.,García-Acosta,V. (1997), **“Proyecto: Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe”** , Reporte final, Capítulo 2, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Ottawa, Canadá.