

Regiones sismogénicas de mayor peligro sísmico para el estado de Veracruz

Regino Leyva Soberanis MI¹, MI Francisco Williams Linera¹, MI Guadalupe Riquer Trujillo¹

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.

Palabras claves— regiones sismotectónicas, localización hipocentral, características tectónicas, mecanismos focales

Introducción

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.

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.

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, controladas por la interacción 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).

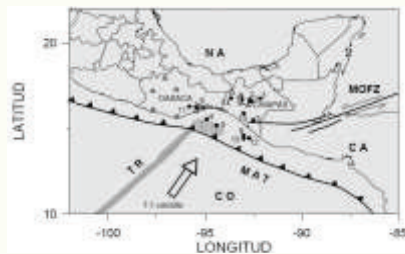


Figura 1. Marco tectónico del área de estudio.

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. Por ello se estableció este período para el catálogo pre-instrumental, que contiene 950 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

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

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) (ver Figura 2).

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).

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. El catálogo quedó constituido por 3244 eventos, cuya distribución espacial epicentral de la región (Pérez, S., 2009a, b) se muestra en la figura 3.

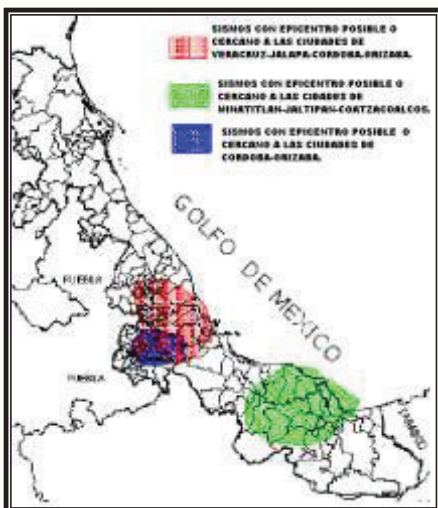


Figura 2 Probables zonas de epicentros de sismos históricos.

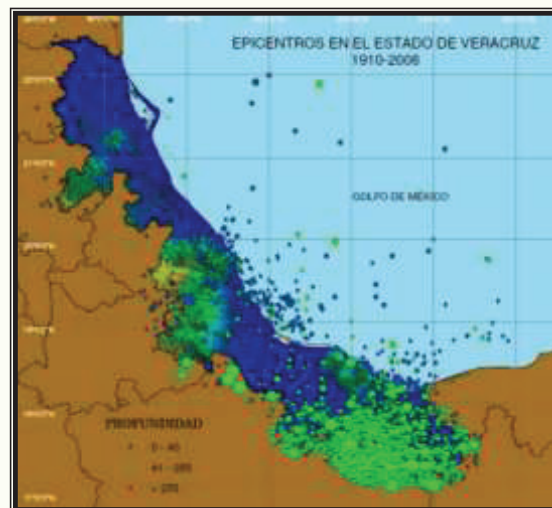


Figura 3. Epicentros registrados entre 1910 y 2008.

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 (Mw) varían entre los 5 a 7.1 (ver tabla 1).

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 transurrencias lateral derechas o lateral izquierdas. Solamente los sismos 7 y 8 presentan falla normal sin transurrencia, 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 transurrencia pura.

Una manera de interpretar estos mecanismos focales, es observando su distribución espacial (figura 4), 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 transurrencia (20, 34, 15, 17, 2, 4, 13, 19, 9, 6, 7, 8, 29 y 27) y con una orientación en general hacia el NE. Muestran una variación en la profundidad 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 transcurrancia (16, 22, 24, 26, y 12) con una orientación también hacia el NE. Muestran una variación entre los 100 a 140 km. de profundidad. 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.

Sismo	Fecha	Lat	Long	H (Km)	Mw	Mb	Planos de Falla			Tipos de Fallas	
							Az	Buz	Des		
1	1979-06-22	17.65	-	117.1	6.9	6.3	190	47	140	Normal con transcurrancia lateral derecha	
							130	62	51		
2	1980-10-24	18.14	-	63.4	7.1	6.4	311	26	114		
							105	66	79		
3	1983-09-18	17.09	-	139.3	5.4	5.1	203	32	156		
							314	78	61		
4	1984-06-04	17.62	-	62.1	5.3	5.4	289	45	108		Normal con transcurrancia 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	-	67.6	5.1	5.0	318	41	82		Normal con pequeña transcurrancia lateral izquierda
							148	49	97		
7	1985-09-15	17.70	-	71.3	6.0	5.9	290	39	90		Normal
							110	51	90		
8	1987-07-15	17.42	-	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 transcurrancia lateral izquierda
							125	53	97		
10	1988-09-07	17.39	-	155.3	5.2	5.0	238	25	158		Normal con transcurrancia lateral derecha
							348	81	67		
11	1989-05-30	17.63	-	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		
							324	49	75		
13	1993-08-05	17.62	-	53.5	5.2	4.9	294	39	45		Normal con transcurrancia lateral izquierda
							166	64	120		
14	1994-02-23	18.22	-	74.7	5.8	5.4	278	36	97	Normal con pequeña transcurrancia lateral derecha	
							90	54	85		
15	1994-05-06	18.38	-98.2	61.7	5.2	4.9	121	39	66	Normal con transcurrancia lateral izquierda	
							332	55	109		
16	1994-08-28	17.26	-	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 transcurrancia lateral derecha	
							75	63	89		
18	1998-04-25	17.77	-	75.3	5.2	4.9	237	48	-42	Inversa	
							8	55	-124		
19	1999-06-15	18.44	-	61.2	6.9	6.4	309	40	97	Normal con pequeña transcurrancia lateral derecha	
							119	51	84		
20	2000-07-21	18.25	-	56	5.8	5.4	289	33	99		
							98	57	84		
21	2001-12-19	17.57	-	177.1	5.2	4.9	177	29	144		
							300	74	66		
22	2002-01-30	18.22	-	116.6	5.9	5.6	146	27	98		
							317	63	86		
23	2002-06-11	17.61	-	143.7	5.3	4.9	178	45	-172		
							82	84	-45		
24	2004-01-17	17.90	-	106.4	5.2	5.1	325	44	103		Normal con pequeña transcurrancia lateral derecha
							128	48	78		
25	2004-04-20	17.50	-	146.2	5.4	4.9	191	50	140		
							310	61	48		
26	2004-08-07	17.25	-95.3	104.7	5.8	5.4	161	27	116		

							312	66	77	
27	2005-09-24	18.20	-	61	5.0	5.0	80	53	44	Normal con transcurrencia lateral izquierda
							320	56	134	
28	2006-01-18	17.04	-	120.5	5.0	5.1	186	48	142	Normal con transcurrencia lateral derecha
							303	63	49	
29	2007-05-04	17.5	-	59.5	5.0	5.0	176	46	134	Transcurrencia
							302	59	55	
30	2007-05-23	21.98	-	24	5.6	5.4	102	80	180	Normal con transcurrencia lateral derecha
							192	89	10	
31	2007-09-15	17.59	-	144.4	5.4	5.0	162	33	119	Normal con transcurrencia lateral derecha
							309	61	72	
32	2007-10-01	17.68	-	154.2	5.3	5.1	200	26	138	Normal con pequeña transcurrencia lateral derecha
							329	73	70	
33	2008-11-23	17.38	-	167.4	5.0	4.8	173	21	-59	Normal con pequeña transcurrencia lateral derecha
							321	72	-101	
34	2009-05-22	18.24	-	60.5	5.6	5.7	289	35	-60	
							73	61	-109	

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

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. Muestran 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. 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 4, 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.

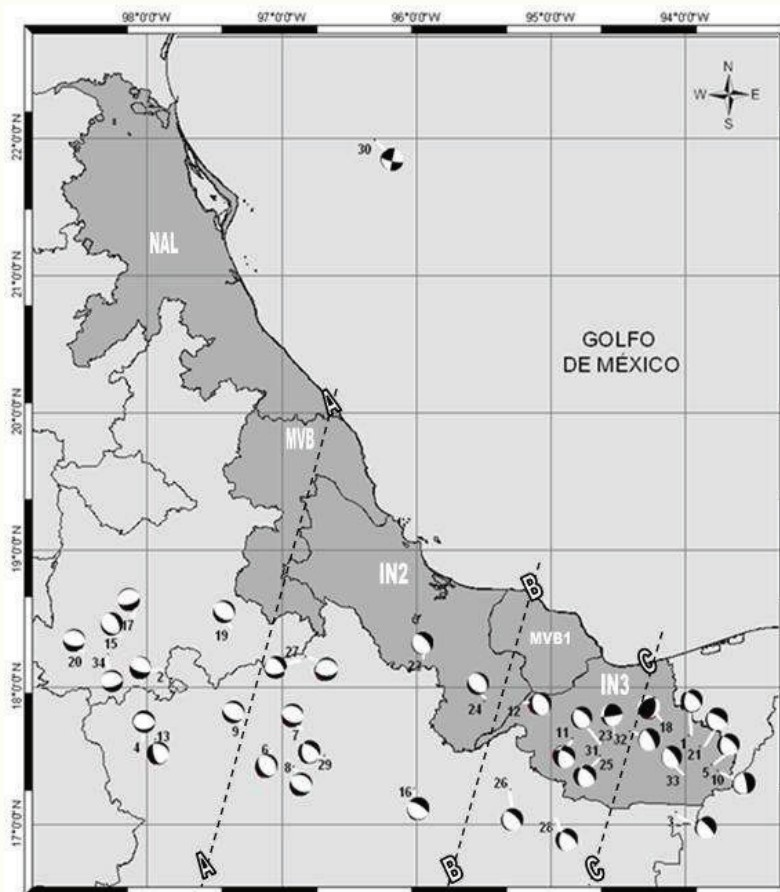


Figura 4 Mecanismos focales de sismos

El sismo 30 con epicentro dentro del Golfo de México es de transcurrencia, la cual podría estar relacionada con alguna falla

locales del Golfo de México (Ponce y Suarez, 1985). Para comprobar esto requiere que se tengan una mayor cantidad de mecanismos de falla de la zona.

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 5).

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.

Región NAM

Es una zona con una mayoría de eventos intraplaca (NOAM) someros ($h < 40$ km) y magnitud $M_s < 4$ 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 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. 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.



Figura 5. Regiones Sismotectónicas

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. 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 sismos 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.

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 3. 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.

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 Zúñiga 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.

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.
- 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.
- 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.
- Zúñiga, F. (2008), "Catálogo de la sismicidad de México", sin publicar.
- Zúñiga, R., Suárez, G., Ordaz, M., García-Acosta, V. (1997), "Proyecto: Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe", Reporte final, Capitulo 2, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Ottawa, Canadá.