

Una revisión e interpretación preliminar de la sismicidad en Veracruz, a partir del catálogo del Servicio Sismológico Nacional para el periodo 1998 - 2016

F. Córdoba Montiel¹ - Grupo de trabajo del Servicio Sismológico Nacional²
 K. Sieron¹ - L.E. Giddings Soto³ - J. Cervantes Pérez¹ - S.G. Pérez Calderón⁴

RESUMEN: A partir del incremento del número de estaciones que monitorean la actividad sísmica en el territorio de Veracruz, se ha observado en consecuencia un aumento en el registro de la sismicidad que se origina en esta importante región del país, la cual cuenta con antecedentes históricos importantes en el siglo pasado, entre los que se pueden mencionar los sismos corticales del 3 de enero de 1920 (M 6.4) cerca de la ciudad de Xalapa y el de Jáltipan del 26 de agosto de 1959 (M 6.4), ambos con una profundidad aproximada de 10 km; a los cuales se agrega el sismo ocurrido el 28 de agosto de 1973 (Mw 7.0), con profundidad intermedia de 82 km. Ambos tipos de sismos ocasionaron pérdidas humanas y severos daños en la infraestructura civil en las cercanías a su zona epicentral, por lo que representan el tipo de

eventos que deben ser considerados en la evaluación del peligro y riesgo sísmico, aunado a las condiciones geológicas locales y la estructura cortical regional.

Mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica, se realizó un análisis espacial de la sismicidad reportada en el catálogo del Servicio Sismológico Nacional para el estado de Veracruz durante el periodo 1998-2016, con la finalidad de identificar la sismicidad característica en esta región en el intervalo propuesto y establecer el mejoramiento de la capacidad de registro sísmico y su impacto en una mejor comprensión de este tipo de fenómenos, principalmente a partir de 2013, cuando entró en funciones la Red Sísmica de Banda Ancha de Veracruz, que opera de manera tripartita con la participación del Centro de Ciencias de la

1 Observatorio Sismológico y Vulcanológico del Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana.
 2 Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica de la UNAM.
 3 Coordinación Universitaria de Observatorios, Universidad Veracruzana.
 4 Licenciatura en Geografía, Facultad de Economía, Universidad Veracruzana.

Tierra de la Universidad Veracruzana, el Servicio Sismológico Nacional y la Secretaría de Protección Civil de Veracruz.

El análisis realizado se fundamenta en el marco tectónico regional y la sismicidad observada, lo que permite una mejor comprensión de los sismos que acontecen en Veracruz; sin embargo, es importante acotar que esta revisión sólo considera eventos con epicentros en el territorio de Veracruz, y que otros sismos locales o regionales pueden representar una amenaza importante, por lo que deben ser considerados en estudios enfocados a la prevención de desastres.

Palabras Clave: Sismos intraplaca, estructura cortical, Sistema de Información Geográfica, peligro y riesgo sísmico.

ABSTRACT: As a result of the increase in the number of stations monitoring seismic activity in the territory of Veracruz, there has been an increase in the seismicity record that originates in this important region of the country, which has a significant historical background in the last century. In this context, we can mention the cortical earthquakes of January 3, 1920 (M 6.4) near the city of Xalapa and that of Jáltipan of August 26, 1959 (M 6.4), both with an approximate depth of 10 km, to which is added the earthquake that occurred on August 28, 1973 (Mw 7.0), with an intermediate depth of 82 km. Both types of earthquakes caused human losses and severe damages in the civil infrastructure in the vicinity of its epicentral zone; therefore they represent the type of events that must be considered in the hazard and risk assessment, together with the local geological conditions and the regional cortical structure.

Using a Geographic Information System (GIS), a spatial analysis of the seismicity reported in the catalog of the National Seismological Service for the state of Veracruz during the period 1998-2016 was carried out, in order to identify the seismicity characteristic for this region, and improve the seismic recording capacity

and its impact on a better understanding of this type of phenomena, especially since 2013, when the Veracruz Broadband Seismic Network started operating in a tripartite manner with the participation of the Center of Earth Sciences of the University Veracruzana, the National Seismological Service and the Secretary of Civil Protection of Veracruz.

The analysis is based on the regional tectonic framework and the observed seismicity, which allows a better understanding of the earthquakes that occur in Veracruz; however, it is important to note that this review only considers events with epicenters in the territory of Veracruz, and that other local or regional earthquakes can represent a significant threat and therefore also should be considered in studies focused on disaster prevention.

Keywords: Intraplate earthquakes, cortical structure, Geographic Information System, seismic hazard and risk

Introducción

El territorio de México se encuentra inmerso dentro de cinco placas tectónicas, principalmente sobre la placa Norteamericana, la cual contiene a toda Norteamérica y parte del océano Atlántico y de Asia. La península de Baja California se localiza sobre otra gran placa tectónica: la del Pacífico, donde también se asienta la mayor área del estado de California, en los Estados Unidos y del océano Pacífico.

El sur de Chiapas se encuentra dentro de la placa del Caribe, que es una placa pequeña que contiene a la mayoría de las islas caribeñas y los países de Centro América. Otras dos pequeñas placas oceánicas conforman el marco tectónico de México, Cocos y Rivera, que se encuentran bajo el océano Pacífico.

La placa del Caribe se desplaza hacia el este respecto a la de Norteamérica, a lo largo del sistema de fallas Motagua-Polochic. El movimiento entre estas dos placas es transcurren-

te (lateral), al igual que el movimiento entre la del Pacífico y la de Norteamérica en el norte de Baja California. La placa del Pacífico se mueve en la dirección noroeste respecto a Norteamérica, generando zonas de extensión entre las placas del Pacífico y Norteamérica bajo el Mar de Cortés. Entre las placas del Pacífico y Rivera y las del Pacífico y Cocos también se dan movimientos de extensión y transversos. Las placas de Rivera y Cocos colisionan con la placa Norteamericana a lo largo de la *Fosa Mesoamericana* (FMA), produciendo esfuerzos de compresión, que dan origen a un proceso de subducción

1. Marco tectónico y sismológico

La complicada actividad tectónica explicada genera en el territorio mexicano una geología rica en ambientes geotectónicos diversos, la presencia de un arco volcánico activo (Cinturón Volcánico Transmexicano o Faja Volcánica Transmexicana), la existencia de una elevada sismicidad en gran parte del país y una enorme riqueza de recursos, tanto en minerales como en combustibles de origen orgánico. La mayo-

ría de estos rasgos se explica por el proceso de subducción a lo largo de la costa occidental del país, antiguamente de la placa Farallón y en la actualidad de las placas Cocos y Rivera.

Las estructuras geológicas predominantes en la zona de interés del presente estudio asociadas a procesos tectónicos son la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), el Campo Volcánico de los Tuxtlas (CVLT), la Dorsal de Tehuantepec (DT), los arcos volcánicos de Chiapas, las provincias de fallas laterales e inversas y el sistema de fallas Motagua-Polochic. En el mapa de la Figura 2 se sintetizan estos rasgos.

Las curvas de igual profundidad de 80 y 100 km presentadas en el mapa de la Figura 2 no pudieron ser calculadas directamente por Pardo y Suárez (1995) debido a la escasez de eventos sísmicos a distancias mayores a 300 km de la trinchera. Estas curvas se pudieron trazar gracias a experimentos recientes (Pérez-Campos *et al.* 2008; Yang *et al.* 2009; Melgar y Pérez-Campos, 2011). Por la profundidad en la que se encuentra la placa debajo de la FVTM puede concluirse que su formación está directamente asociada a la subducción y la carencia de paralelismo puede estar asociada a la geometría.

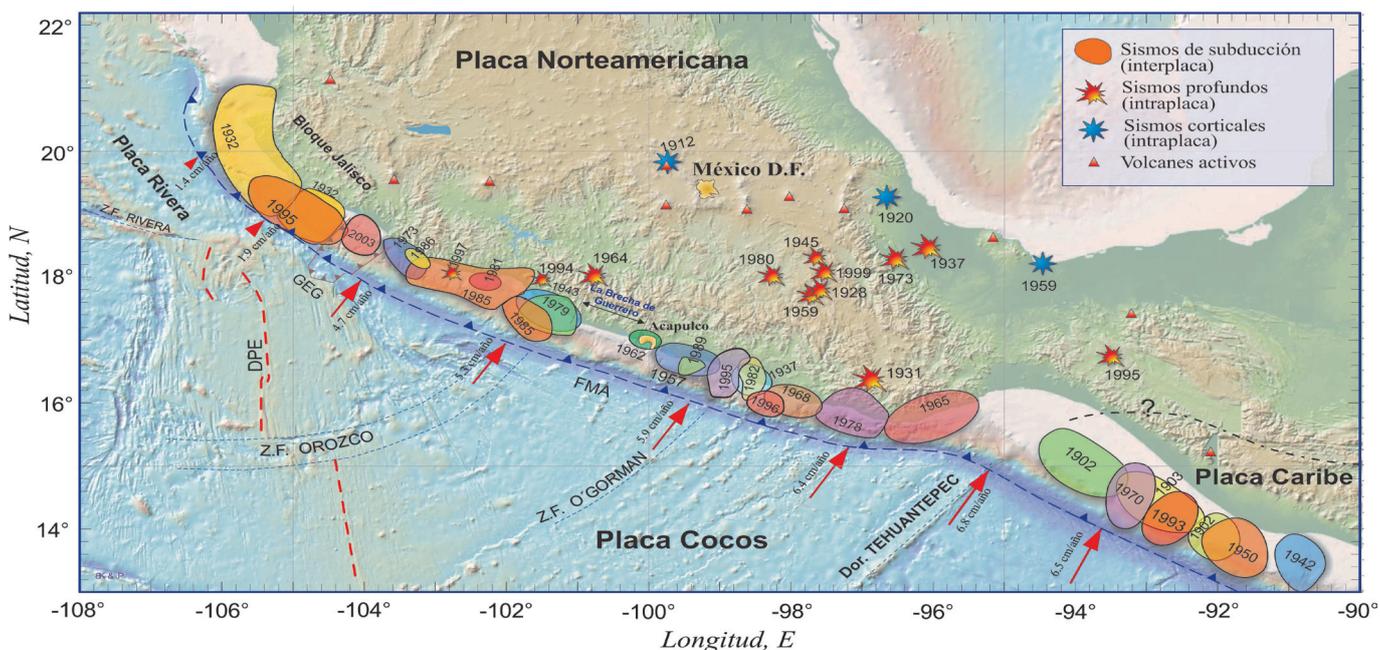


Figura 1. Sismotectónica de la región centro meridional de México. Las flechas rojas indican la dirección de convergencia de las placas suponiendo estática la Norteamericana. Se muestran las áreas de ruptura de los mayores eventos interplaca del siglo XX, así como la localización de los eventos intraplaca más notables, tanto de subducción (explosiones rojas), como corticales (explosiones azules) (Tomada de Kostoglodov y Pacheco, 1999).

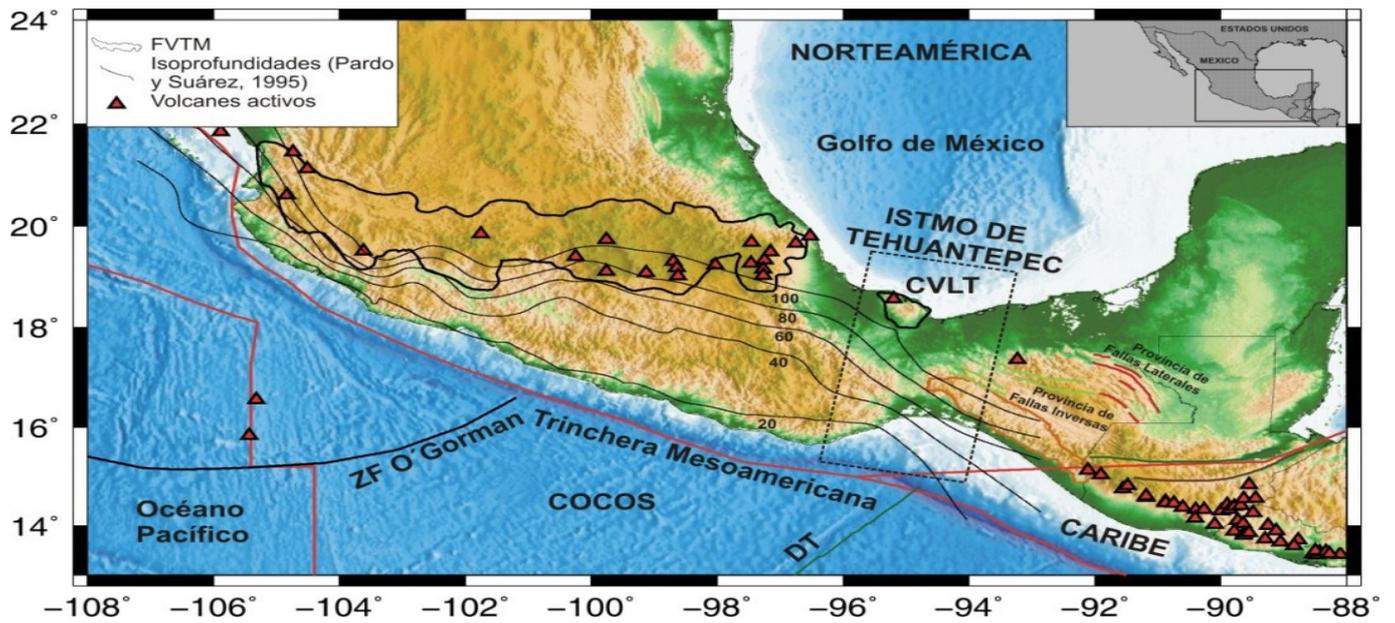


Figura 2. Mapa con los principales rasgos tectónicos de la zona de estudio donde se observan las curvas de isoprofundidades obtenidas por Pardo y Suárez (1995), la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), el Campo Volcánico de los Tuxtlas (CVLT), las Provincias de Fallas Laterales e Inversas y los arcos volcánicos en el sureste de México (Tomada de Córdoba, 2014).

Sismicidad regional

La sismicidad en Veracruz se puede dividir en dos tipos: somera y profunda. Las características de cada una de ellas de acuerdo con la tectónica regional se describen brevemente a continuación.

Sismos profundos

Estos sismos son tan peligrosos como los de subducción (interplaca), que en México son ocasionados por la fricción entre la placa Nor-

teamericana y las placas oceánicas de Cocos y Rivera (Figura 1); aunque de menor magnitud que los sismos interplaca, ocurren a profundidades mayores de 40 kilómetros (Figura 1: estrellas rojas), dentro de las placas subducidas (sismos intraplaca). Estos sismos profundos son ocasionados por fallamientos en las placas oceánicas de Rivera y Cocos en subducción. Las placas oceánicas al penetrar el manto terrestre se deforman, tomando diversas formas (geometría) en diferentes regiones del país. Por ejemplo, bajo Oaxaca, la placa de Cocos penetra con un ángulo somero, menor que los 45° (Figura 3).

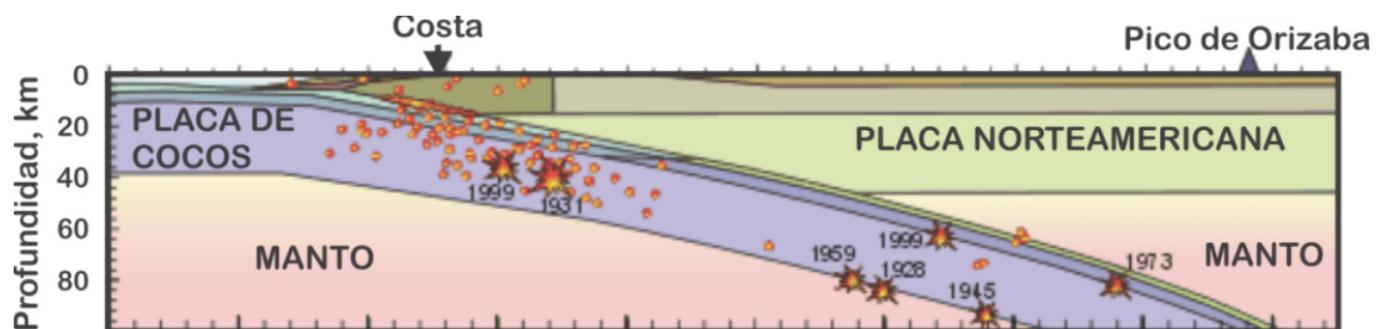


Figura 3. Geometría del proceso de subducción bajo la región de Oaxaca entre las placas de Cocos y Norteamérica. Obsérvese la ubicación del hipocentro del sismo de Orizaba de 1973 en la placa de Cocos subducida (Modificada de Kostoglodov y Pacheco, 1999).

En el siglo pasado ocurrieron sismos importantes en esta región profunda y algunos de ellos que tuvieron impacto en Veracruz incluyen al sismo del 28 de agosto de 1973 (Mw 7.0) que es el más reciente en esta zona, y produjo daños considerables en las ciudades de Orizaba, Veracruz y Serdán, Puebla; el del 24 de octubre de 1980 con epicentro en Huajuapán de León, y el del 15 de junio de 1999 en Tehuacán, Puebla.

Sismos Corticales

Otros sismos significativos que ocurrieron en México en el siglo pasado, son los corticales (marcados con estrellas azules en la Figura 1). Este tipo de eventos ocurren dentro de la placa Norteamericana, por lo que son sismos intraplaca muy superficiales (su profundidad no sobrepasa los 35 kilómetros). Las magnitudes de estos sismos son considerablemente menores que las de los sismos de subducción e incluso menores que las de los sismos profundos; sin embargo, debido a que son superficiales y ocurren principalmente a lo largo de la FTVM (donde se concentra la mayoría de la población en el país), pueden provocar graves daños (Kostoglodov y Pacheco, 1999). En 1920 ocurrió el sismo de Xalapa (M 6.4), uno de los sismos de mayor impacto en el país, aunque relativamente poco conocido. Además de daños a las edificaciones en poblaciones de importancia como Xalapa, Teocelo, Coatepec, entre otras, este sismo fue el disparador de importantes deslizamientos de laderas a lo largo del río Huiztilapan y Pescados, lo cual provocó la generación de flujos de lodo y escombros que arrasaron con varias poblaciones a lo largo de su curso. Las pérdidas de vidas humanas fueron estimadas en cientos de personas. En el sur de Veracruz, el sismo de Jáltipan de 1959 destruyó totalmente la localidad y afectó a las ciudades de Minatitlán, Coatzacoalcos y Acayucan.

Espesor de la corteza terrestre

Algunos estudios que han contribuido a delimitar el espesor de la corteza en Veracruz recientemente incluyen los trabajos de Espíndola-Castro (2009), quien estimó la profundidad del Moho (espesor de la corteza) utilizando estaciones de la red sísmica de banda ancha del Servicio Sismológico Nacional. Las profundidades mínima y máxima que observó en el territorio de México fueron de ~30 y 40 km. Por su parte, Melgar y Pérez-Campos (2011) utilizaron datos telesísmicos a lo largo de un transecto (46 estaciones de banda ancha) denominado VEOX (por una línea sísmica en Veracruz-Oaxaca) y obtuvieron funciones receptor que apilaron para estudiar la topografía del Moho y visualizar la geometría de la placa subducida debajo del Istmo de Tehuantepec. En un trabajo en el que emplearon la técnica de funciones receptor, Zamora-Camacho et al. (2010), determinaron que el espesor de la corteza en el Campo Volcánico de Los Tuxtlas (CVLT), varía entre 28 y 34 km.

mitar el espesor de la corteza en Veracruz recientemente incluyen los trabajos de Espíndola-Castro (2009), quien estimó la profundidad del Moho (espesor de la corteza) utilizando estaciones de la red sísmica de banda ancha del Servicio Sismológico Nacional. Las profundidades mínima y máxima que observó en el territorio de México fueron de ~30 y 40 km. Por su parte, Melgar y Pérez-Campos (2011) utilizaron datos telesísmicos a lo largo de un transecto (46 estaciones de banda ancha) denominado VEOX (por una línea sísmica en Veracruz-Oaxaca) y obtuvieron funciones receptor que apilaron para estudiar la topografía del Moho y visualizar la geometría de la placa subducida debajo del Istmo de Tehuantepec. En un trabajo en el que emplearon la técnica de funciones receptor, Zamora-Camacho et al. (2010), determinaron que el espesor de la corteza en el Campo Volcánico de Los Tuxtlas (CVLT), varía entre 28 y 34 km.

2. Metodología

Datos

Para el presente análisis se utilizaron datos del catálogo de sismicidad del Servicio Sismológico Nacional (<http://www.ssn.unam.mx/>, SSN) comprendidos en dos periodos: el primero entre 1998-2005 y el segundo en el intervalo 2006-2016. Para los fines de esta revisión, sólo se consideraron años completos, por lo que se descartó tomar en cuenta la sismicidad del presente año. Del primer periodo, de acuerdo con el criterio de clasificación del SSN, se concentraron los registros de cuatro regiones de interés: Veracruz-Oaxaca, sur de Veracruz, costa norte de Veracruz y costa de Veracruz. En el segundo caso, el filtro aplicado al catálogo disponible en línea fue por estados de la república mexicana (Veracruz). Estos datos fueron formateados para generar un archivo de tipo shape que se empleó en la realización de los análisis de sismicidad por medio del Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto QGIS.

Instrumentación sísmica

Es importante establecer la dependencia que existe entre la cobertura de estaciones en una determinada región, con la detección de eventos sísmicos que ahí ocurren. Al respecto, como lo desglosa la Tabla 1, hasta hace un poco más de 20 años, en la entidad Veracruzana únicamente operaban dos estaciones sísmicas pertenecientes al SSN (en Laguna Verde y Tuzandépetl, centro y sur del estado respectivamente). El número reducido de estaciones limitó la detección de la sismicidad de baja magnitud, pese a contar con datos regionales de otras estaciones del SSN instaladas en los estados vecinos (Hidalgo, Puebla, Oaxaca y Chiapas). En 2009, se instalaron en Veracruz dos estaciones acelerográficas pertenecientes al Instituto de Ingeniería de la UNAM, mismas que se ubican en las ciudades de Xalapa y Minatitlán (XALA y MIHL, respectivamente) y que a la fecha aportan la información que registran para reforzar las actividades rutinarias del SSN de localización de los parámetros focales de sismos locales y regionales.

Para 2012, la red de banda ancha del SSN experimentó un crecimiento importante en el estado de Oaxaca, con la incorporación de cinco estaciones más de banda ancha a la red nacional. A su vez, como parte de tres proyectos cofinanciados por el Fondo de Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) y el Gobierno de Veracruz, el Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana y la Secretaría de Protección Civil de Veracruz pusieron en marcha una red regional de estaciones de banda ancha con la finalidad de realizar el monitoreo y estudio de la sismicidad en el sector oriental de México (Red Sísmica de Veracruz, RSV). A estos trabajos se sumó el SSN, que además de participar en la instalación y puesta en marcha de las estaciones de esta red, así como en la recepción en tiempo real de las trazas sísmicas; reporta oportunamente los eventos que ocurren en el área mencionada. Las estaciones de la RSV comenzaron a operar en su mayoría a partir de 2013. La Tabla 1 representa la evolución cronológica de la instrumentación sísmica en Veracruz, en tanto que el mapa de la Figura 4 ilustra la cobertura y distribución de este tipo de estaciones al día de hoy.

Tabla 1. Distribución de estaciones sísmicas que han contribuido a la determinación de los parámetros focales de eventos sísmicos ocurridos en el estado de Veracruz durante el periodo 1998-2016.

No.	Estación	Lat N	Lon W	Digitalizador	Sensor de Velocidad	Acelerómetro	Fecha de instalación	Estado Actual
1	LVIG ¹	19.73	96.42	Q330	STS-2	FBA-23	11/04/96	Activa
2	TUIG ¹	18.03	94.42	Q680	STS-2	FBA-23	06/11/92	Activa
3	MIHL ²	17.99	94.54	ETNA Episensor	--	FBA ES-T	2009	Activa
4	XALA ²	19.53	96.90	Kinometrics Basalt	--	FBA ES-T	2009	Activa
5	EVV ³	18.46	95.35	--	Mark L4C	--	--	Inactiva
6	PMUV ⁴	18.54	95.12	Q330	CMG-3T	CMG-5T	12/04/13	Activa
7	UXUV ⁴	17.31	94.15	Q330	CMG-3T	CMG-5T	27/06/13	Activa
8	NEUV ⁴	17.71	95.80	CMG-DM24S6-EAM	CMG-3T	CMG-5T	07/01/13	Activa
9	CTUV ⁴	21.47	98.36	CMG-DM24S6-EAM	CMG-3T	CMG-5T	16/05/13	Activa
10	CXUV ⁴	20.17	97.59	CMG-DM24S6-EAM	CMG-3T	CMG-5T	21/05/13	Activa
11	JAUV ⁴	19.37	96.80	CMG-DM24S6-EAM	CMG-3T	CMG-5T	2014	Activa

1 Red IG Servicio Sismológico Nacional

2 Red II Instituto de Ingeniería de la UNAM

3 Red RC Servicio Sismológico Nacional

4 Red Universidad Veracruzana, Secretaría de Protección Civil de Veracruz y SSN

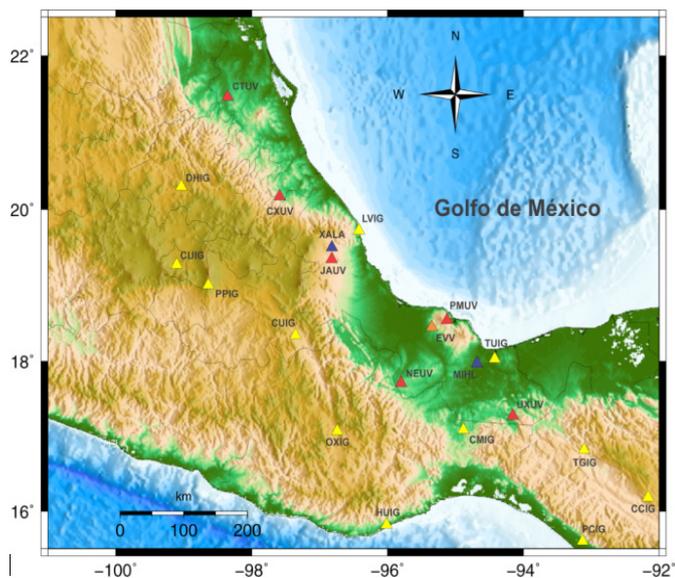


Figura 4. Mapa de localización de las estaciones sísmicas mencionadas en la Tabla 1 que han transmitido datos al SSN para efectos de localización de sismos y determinación de su magnitud y profundidad durante el periodo 1998-2016. Los triángulos en amarillo representan estaciones del SSN, los rojos los de la RSV, los de color azul las estaciones acelerográficas del Instituto de Ingeniería de la UNAM y en naranja, una estación de la red Red Convencional (RC) del SSN.

Procesamiento de la información sísmica

La revisión del catálogo del SSN en este trabajo se enfocó en los siguientes objetivos:

1. Corroborar que el incremento de los eventos sísmicos que se han detectado y reportado por conducto del SSN obedece al aumento en el número de estaciones en funciones y en consecuencia, a una mejor resolución debida a la mejor cobertura.
2. Identificar en qué banda de magnitud y profundidad ocurren principalmente los sismos que se reportan hoy en día en Veracruz, lo que permita caracterizar la sismicidad base de esta zona de interés.
3. Reconocer cuáles son los factores que contribuyen a un mayor registro de la sismicidad en Veracruz.
4. Comprender el origen de los sismos en territorio veracruzano de acuerdo con las condiciones tectónicas regionales.

El universo de sismos se seleccionó del catálogo

del SSN considerando sólo aquellos cuyos epicentros estuviesen localizados dentro del territorio de Veracruz o en su defecto, en las costas de Veracruz en el Golfo de México. Es necesario señalar que en futuras evaluaciones de peligro y riesgo sísmico, se deberán incluir eventos locales y regionales en las proximidades de Veracruz. Los 1082 eventos recopilados bajo este criterio se observan en el mapa de la Figura 5.

De este mapa, se observa la concentración de eventos en la zona sur de Veracruz, por lo que partiendo del marco tectónico de la región, se realizó el mapeo de la sismicidad aplicando dos criterios generales para identificar: (1) sismicidad cortical en la placa de Norteamérica (profundidad < 40 km) y (2), sismicidad intraplaca (profundidad > 40 km) localizada en la placa de Cocos subducida.

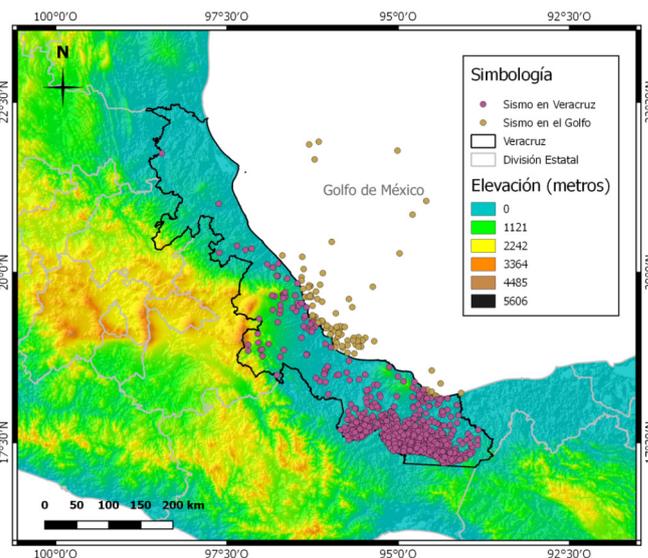


Figura 5. Mapa de los epicentros seleccionados con el criterio mencionado en el texto para sismos ocurridos durante el periodo 1998-2016.

Los mapas resultantes que se muestran en la Figura 6, corresponden a la sismicidad intraplaca localizada en la placa de Norteamérica a distintas profundidades.

En el mapa de la Figura 7, se presentan los eventos que de acuerdo con su profundidad, se ubicarían en la placa de Cocos subducida.

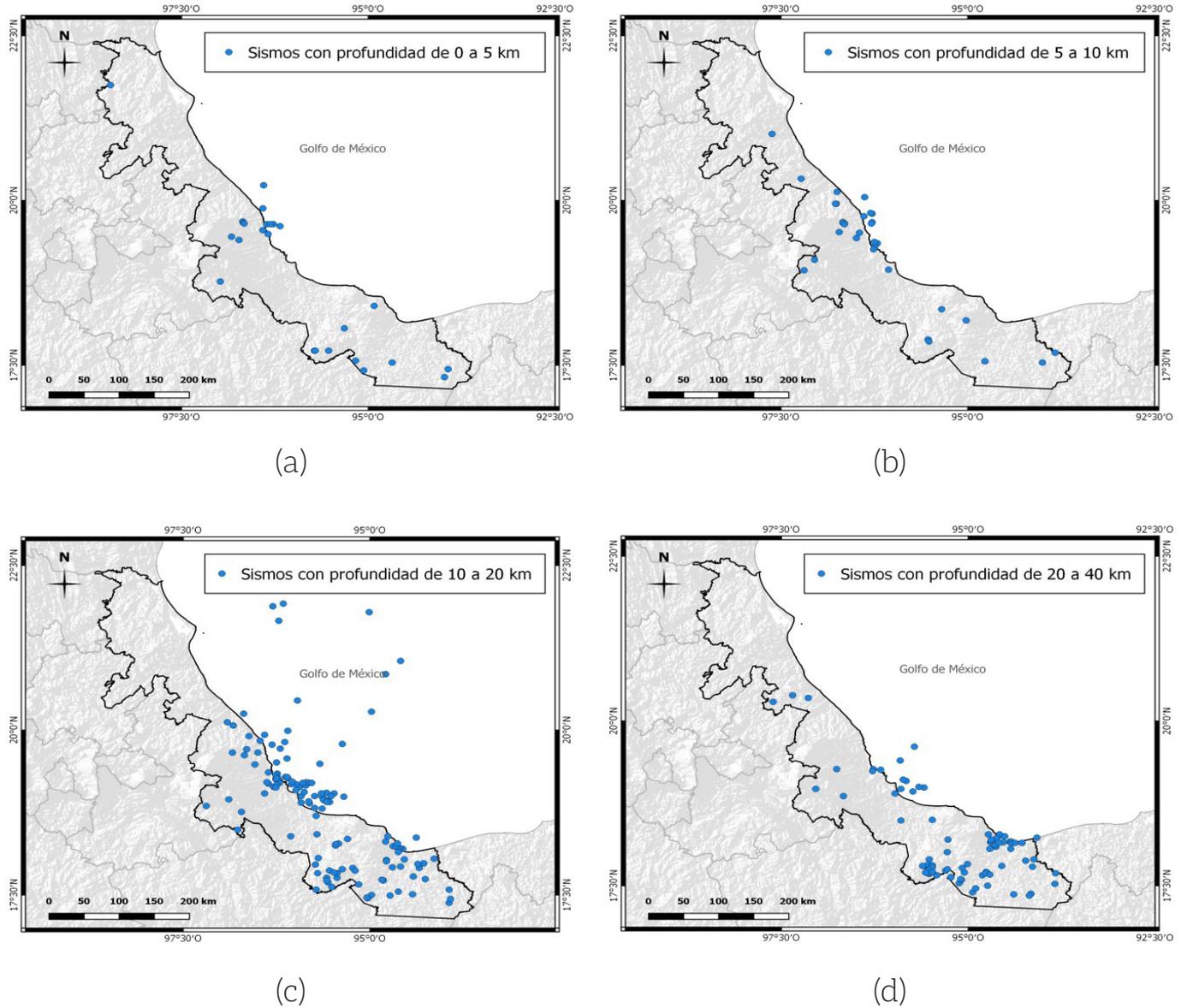


Figura 6. Mapas que reflejan la variación de la de localización de epicentros de sismos corticales a diferentes intervalos de profundidad.

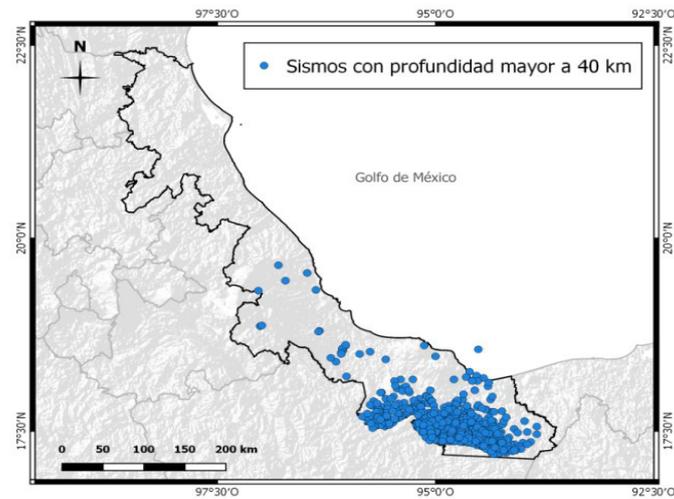


Figura 7. Mapa que representa la concentración de epicentros para sismos con una profundidad mayor a los 40 km.

Atendiendo al criterio relacionado con el incremento del registro de sismos en función de la instrumentación sísmica instalada, la Figura 8 representa tres etapas significativas de crecimiento de la infraestructura sísmica en Veracruz de acuerdo con la Tabla 1. En el caso de la Figura 8(c), el periodo 2013-2016 corresponde al periodo más reciente de crecimiento de la instrumentación sísmica, en la que se instalaron las 6 estaciones de banda ancha de la Red

Sísmica de Veracruz.

Finalmente, un último ejercicio empleando el SIG consistió en mapear el catálogo de sismicidad en 3D para observar la ubicación de hipocentros (Figura 9).

La gráfica de la Figura 10 compara la sismicidad durante el periodo 1998-2016, mostrando el comportamiento de todos los eventos del catálogo ($M <= 7$), los eventos con $M <= 4$; y un umbral que se determinó para eventos de $M >= 4$,

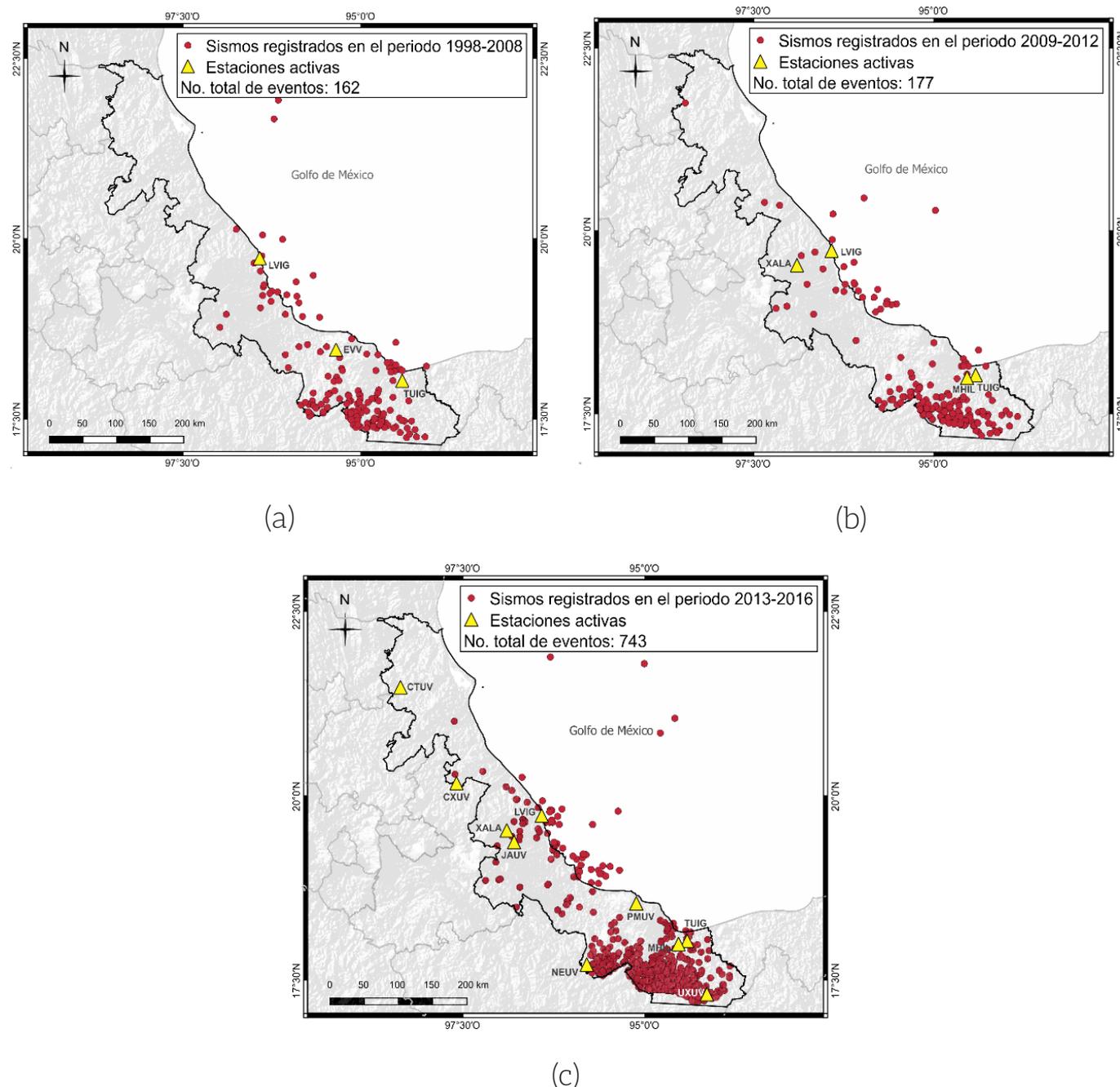


Figura 8. Sismicidad en función de los instrumentos sísmicos instalados en Veracruz, cuyos datos han sido empleados por el SSN para la determinación de parámetros de sismos locales y regionales.

en el que su variación a lo largo del tiempo es mínima.

3. Discusión y Conclusiones

A partir del catálogo reportado por el SSN para el periodo 1998-2016, se realizó una revisión de la sismicidad para eventos con epicentros en el territorio de Veracruz y sus costas en el Golfo de México para alcanzar los objetivos planteados en este trabajo. En primera instancia, es importante notar que este breve análisis se

basa en el marco tectónico de la región, por lo que considera aquellos eventos que ocurren en la placa de Norteamérica con profundidades no mayores de 40 km, lo cual es congruente con los estudios de estructura y espesor de la corteza que se han realizado en la región, así como la conocida sismicidad profunda intraplaca que se origina en la placa subducida de Cocos.

De acuerdo con el mapa de la Figura 5, la sismicidad en la zona norte de Veracruz es baja a diferencia del centro y sur, donde se advierte una concentración importante de eventos, particularmente al sur de Veracruz. Si se ob-

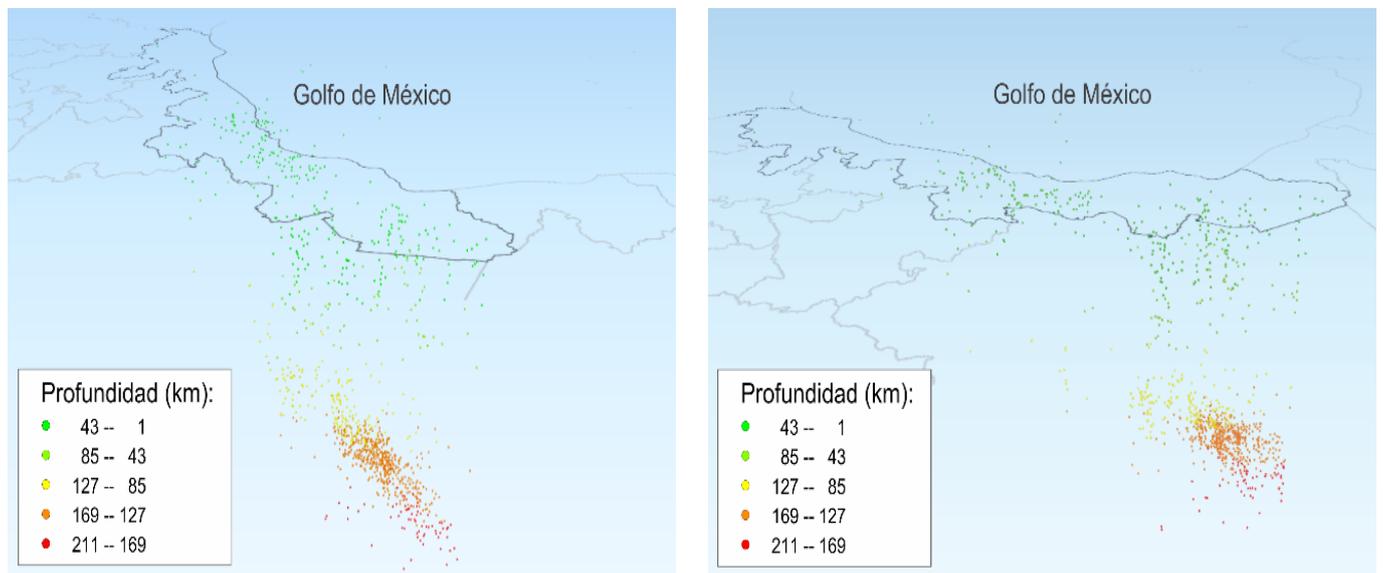


Figura 9. Mapas en 3D que ilustran la concentración de sismos en Veracruz de acuerdo con su profundidad.

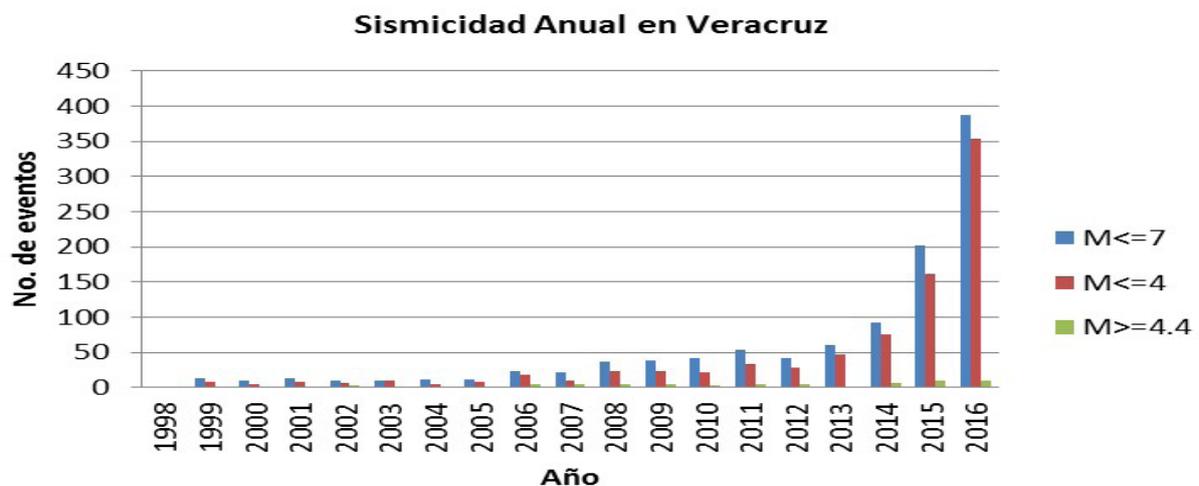


Figura 10. Variación de la sismicidad en Veracruz durante el periodo 1998-2016 basada en el catálogo del SSN.

servan los mapas de la Figura 6(a) y 6(b) que corresponden a los sismos con una profundidad somera < 10 km, se distingue que el mayor número de eventos ocurre en la zona centro, a diferencia de la muy baja sismicidad superficial en el norte y de unos cuantos eventos localizados en el sur. Estos sismos en la zona centro se encuentran ubicados en su mayoría el sector oriental de la FVTM, por lo que su origen está relacionado directamente con el estado de esfuerzos de la FVTM y en consecuencia, de forma indirecta, con el proceso de subducción que tiene lugar en el territorio de México.

En el intervalo de profundidades de 10 a 20 km, de la Figura 6(c), se hace notoria la presencia de una sismicidad importante en el Golfo de México; sin embargo, conforme se incrementa la profundidad, el número de sismos en el Golfo de México se reduce drásticamente al igual que los eventos tierra adentro (profundidad > 20 km). También se observa que en la zona sur, la tendencia es un aumento en el número de sismos registrados de acuerdo con el incremento de la profundidad. En lo que se refiere a la sismicidad profunda, se nota que para profundidades mayores que 40 km, la ocurrencia de eventos es nula en la zona norte, baja en el centro y alta en el sur de Veracruz.

Para el caso de profundidades mayores que 40 km, los eventos se ubican en la placa de Cocos subducida (sismos intraplaca), lo que puede corroborarse en la Figura 9 donde se aprecia la distribución de la sismicidad profunda desde dos perspectivas diferentes. De esta figura pueden obtenerse dos conclusiones: la primera es que la sismicidad profunda es predominante y la segunda, que los epicentros de estos sismos se localizan mayoritariamente en la región sur del estado. Complementando esta información con la gráfica de la Figura 10, se puede establecer que la gran mayoría de eventos en Veracruz tiene una magnitud menor igual que 4 y que a partir de $M \geq 4.4$, el número de registros sísmicos dentro del periodo observado mantiene un comportamiento estable (no se ha incrementado significativamente).

En lo que respecta al notorio incremento de reportes de sismos por el SSN que se observa en

la gráfica de la Figura 10 para el periodo 2014-2016, éste se relaciona con el crecimiento de la instrumentación sísmica que detalla la Figura 4, particularmente con la puesta en marcha de la RSV y su integración a la red nacional del SSN. De aquí se desprende que en Veracruz actualmente se tiene la oportunidad de registrar eventos (principalmente profundos), que seguramente han ocurrido a lo largo del tiempo pero que la escasa cobertura de estaciones en la región no era suficiente para detectarlos. También es necesario señalar el crecimiento reciente del número de estaciones del SSN en la región, lo cual ha contribuido a mejorar los niveles de detección sísmica, situación que ha reflejado en su catálogo de sismicidad (a escala regional y nacional).

De la discusión previa, se establece que la sismicidad en esta región es originada por procesos tectónicos de gran escala y que es necesario ir identificando la sismicidad base conforme transcurre el tiempo y se obtenga una mayor cantidad de registros; lo anterior implica contar con más estaciones que optimicen la cobertura sísmica.

Además, es preciso indicar que no hay un incremento anormal de sismos, sino más bien hay una mejor detección de los mismos, pero se requiere reconocer que existen otros factores que tienen que ver con su ocurrencia y registro, tales como la alta heterogeneidad del medio (litosfera) y su complejidad geológica que intervienen en la generación de sismos de una forma irregular, por lo que deben observarse y estudiarse en escalas de tiempo mayores. Es menester que se continúen desarrollando trabajos de investigación que con el conocimiento de la sismicidad, se enfoquen a la identificación de fallas activas y determinación del estado de esfuerzos de la región, la evolución tectónica y origen de estos eventos; los cuales en su conjunto permitirán realizar estudios en materia de peligro y riesgo sísmico orientada a la prevención de desastres.

Referencias

Córdoba Montiel, F. (2014), Tomografía de velocidad de grupo de ondas de Raleigh y estructura cortical para el oriente de México y el Istmo de Tehuantepec, Tesis de Doctorado, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 131 pp.

Espíndola Castro, V.H. (2009), Modelos de velocidad cortical en México, utilizando funciones de receptor en las estaciones de la red nacional de banda ancha, Tesis de Doctorado, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 120 pp.

Kostoglodov, V., Pacheco, J.F. (1999), "Cien años de sismicidad en México. Catálogo de sismos moderados y grandes ocurridos en México durante el siglo XX", Poster publicado por el Instituto de Geofísica, UNAM, México D.F.

Melgar, D., Pérez-Campos, X. (2011), Imaging the Moho and subducted oceanic crust at the Isthmus of Tehuantepec, Mexico, from receiver functions, *Pure Appl. Geophys.*, 168, 1449-1460.

Pardo, M., Suárez, G. (1995), Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico, seismic and tectonic implications, *J. Geophys. Res.*, 100, 12357-12373.

Pérez-Campos, X., Kim, Y., Husker, A., Davis P.M., Clayton R.W., Iglesias, A., Pacheco, J.F., Singh, S.K., Manea, V.C., Gurnis, M (2008), Horizontal subduction and truncation of the Cocos plate beneath central Mexico, *Geophys. Res. Lett.* 35, L18303, doi:10.1029/2008GL035127.

Yang, T., Grand, S.P., Wilson, D., Guzmán-Speziale, M., Gómez-González, J.M., Domínguez-Reyes, T., Ni, J. (2009), Seismic structure beneath the Rivera subduction zone from finite-frequency seismic tomography, *J. Geophys. Res.* 114, B01302. doi:10.1029/2008JB005830.

Zamora-Camacho, A., Espíndola, V.H., Pacheco, J.F., Espíndola, J.M., Godínez, M.L. (2010), Crustal thickness at the Tuxtla Volcanic Field, (Veracruz, Mexico) from receiver functions, *Phys. Earth Planetary Int*, 182, 1-9.