

SISMOTECTÓNICA DEL NORTE Y OESTE DEL BLOQUE DE JALISCO USANDO DATOS SÍSMICOS REGIONALES

Marta Rutz-López y Francisco Javier Núñez-Cornú
Centro de Sismología y Volcanología de Occidente, Universidad de Guadalajara
Puerto Vallarta, Jalisco, México

RESUMEN

En los años 1996, 1997 y 1998 se realizaron estudios de microsismicidad en el norte y oeste del Bloque de Jalisco, motivados por la escasez de trabajos y datos de sismicidad disponibles para esta área, a pesar del conocimiento de la ocurrencia de grandes sismos en este territorio. Los datos obtenidos muestran la gran actividad sísmica que tiene la zona. Además, con base en la distribución hipocentral y el estudio de las formas de onda se elaboró una clasificación preliminar de cuatro zonas sismogénicas. No existen aún datos suficientes para inferir la morfología de la placa de Rivera. También se incluye un estudio comparativo con las localizaciones de la Red del Servicio Sismológico Nacional para mostrar la gran importancia que tiene el disponer de una red sísmica regional para un conocimiento detallado de la sismotectónica de esta zona.

Palabras clave: Zonas sismogénicas, sismotectónica, Bloque de Jalisco.

ABSTRACT

From 1996 to 1998 studies of microseismicity were carried out in the northern and western parts of the Jalisco block, motivated by the shortage of studies and seismicity data available for this area, in spite of the occurrence of great earthquakes in this region. The recorded data show the high seismic activity in the zone. A preliminary classification of four seismogenic zones and the seismic regional geometry is proposed based on the hypocentral distribution and the study of waveforms. To date, there are not enough data to infer the morphology of the Rivera plate. Also presented is a comparative study, using information from the Servicio Sismológico Nacional (National Seismological Service) to show the importance of a permanent regional seismic network in understanding the seismotectonic framework of the zone.

Key words: Seismogenic zones, seismotectonics, Jalisco Block.

MARCO TECTÓNICO REGIONAL

Para un conocimiento general de la situación tectónica del Bloque de Jalisco se presenta en la figura 1 una descripción del marco tectónico regional con relación a los límites de las placas oceánicas y el continente Norteamericano.

Al sur de la zona de fracturas de Tamayo se encuentra la Placa de Rivera. Esta se genera en uno de los segmentos de la dorsal del Pacífico Oriental y subduce, a partir de la trinchera Mesoamericana, bajo la estructura conocida como el Bloque de Jalisco y que incluye territorios de los estados de Jalisco, Colima, Nayarit y parte de Michoacán. En su borde suroeste la placa de Rivera está separada de la Placa del Pacífico por la zona de fractura de Rivera. En la parte oriental de esta zona de fractura se encuentra el límite entre las placas de Rivera y Cocos. La definición de este límite entre ambas placas oceánicas es aún incierta; no se conoce con seguridad la zona de contacto ni el movimiento relativo entre ambas placas.

El Bloque de Jalisco está delimitado por la Trinchera Mesoamericana hacia occidente, la zona del graben de Colima en la parte meridional y la zona del graben de Tepic-Zacoalco en la parte oriental, mientras que el borde septentrional no ha sido delimitado con precisión. En la región donde se unen el graben de Colima y el de Tepic-Zacoalco con el graben de Chapala, de orientación aproximada E-O, existe un punto triple localizado a unos 50 km al SSO de Guadalajara. El graben de Colima continúa aparentemente, en la zona marina, en las estructuras del graben de Manzanillo y El Gordo. En este graben ocurre el alineamiento volcánico Volcán de Fuego-Nevado de Colima-Cántaro. El graben de Tepic-Zacoalco, cuyo rumbo aproximado es NO y en la cual se encuentran la caldera de la Primavera y los volcanes Tequila, Ceboruco, y Sangangüey, coincide, a su vez, con el extremo occidental del eje Neovolcánico Mexicano. De los volcanes mencionados se consideran activos el Volcán de Fuego (Colima), el Ceboruco y el Sangangüey.

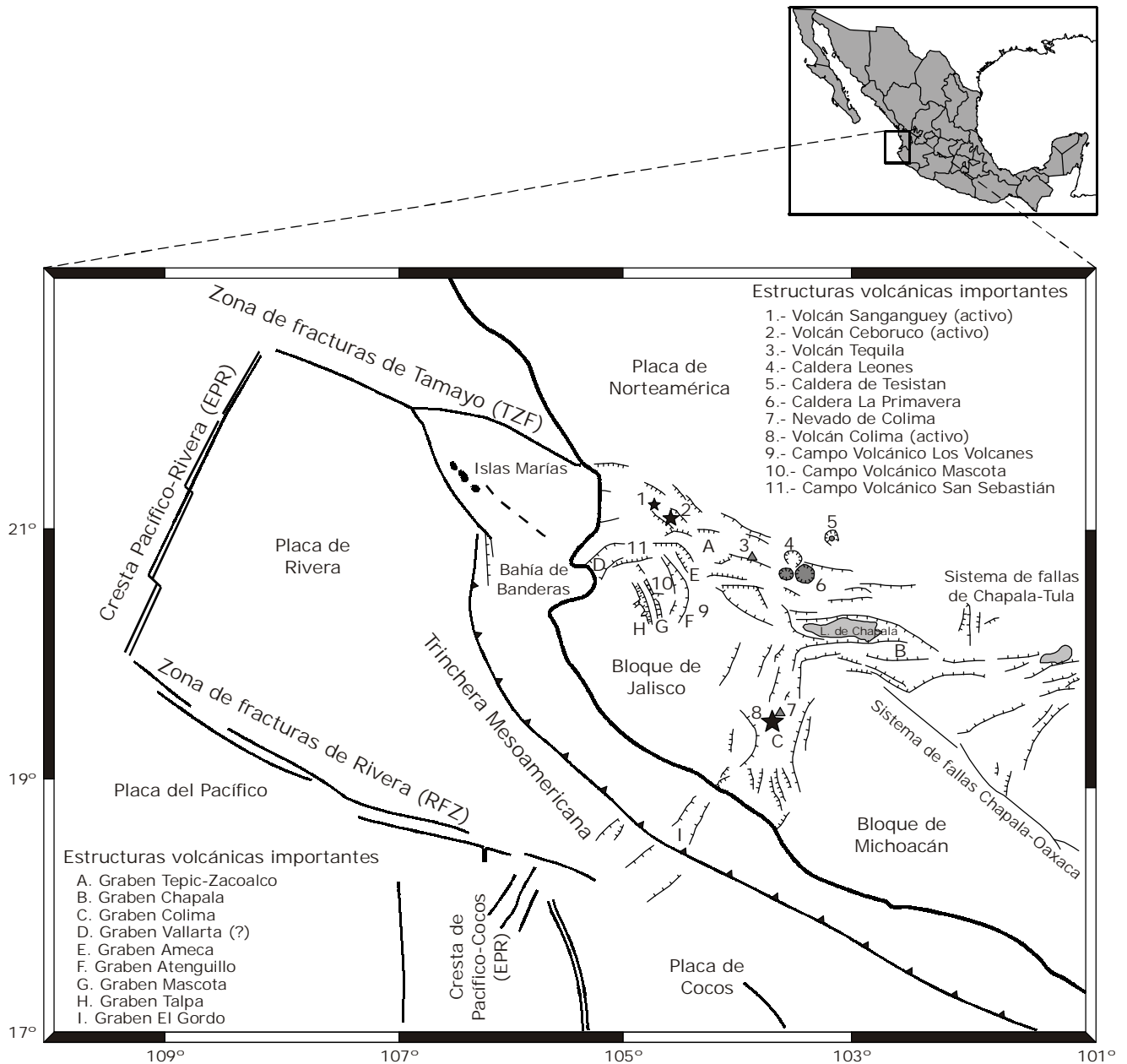


Figura 1. Marco tectónico de la región de estudio.

INTRODUCCIÓN

Hasta el año 1996 había en toda la costa de Jalisco sólo una estación sismológica del Servicio Sismológico Nacional localizada en Chamela. Por tanto, es claro que el seguimiento sísmico ha sido escaso en el pasado a lo largo de la costa de Jalisco y sur de Nayarit, a pesar de que hay documentación de sismos históricos y de los primeros sismos registrados instrumentalmente a principios del siglo XX con epicentros en esta zona (Singh et al, 1981; Eissler y McNally, 1984). Motivados por el conocimiento de este potencial sísmico en la zona, se inició el proyecto Peligro Sísmico en el Bloque de Jalisco (Nava et al., 1994). Sin embargo, fue después del terremoto de Octubre de 1995, ocurrido en la costa del sur de Jalisco con Ms de 8.1, cuando se reactivó la instalación de una red

sismológica portátil, en la costa y norte del bloque de Jalisco. Fue una investigación conjunta entre el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y la Universidad de Guadalajara, con financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). En este trabajo se presentan los primeros resultados de carácter sismotectónico obtenidos con los datos de este estudio.

Se utilizaron cinco estaciones sismológicas Lennartz Mars-88 Le 3D y dos MQ Sprengneter que conformaron la red portátil y de la cual se obtuvieron los datos base del presente estudio de sismicidad. Las estaciones estuvieron operando desde 1996 hasta 1998. Los registros no fueron continuos en todas las estaciones, debido a la dificultad en darles mantenimiento y a la insuficiencia de presupuesto. Por ello, los datos recogidos son los correspondientes a

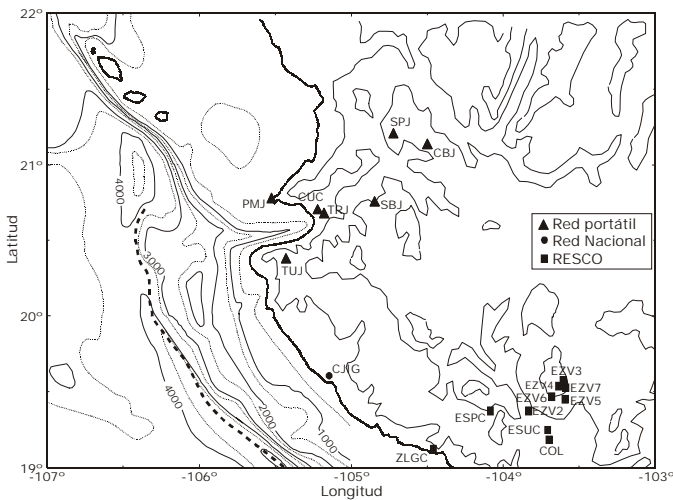


Figura 2. Ubicación de las estaciones sismológicas. La línea discontinua es la trinchera Mesoamericana. PMJ: Punta Mita; CUC: Centro Universitario de la Costa; TRJ: Las Trompetas; TUJ: El Tuito; SBJ: San Sebastián; SPJ: San Pedro Lagunillas; CBJ: Ceboruco.

cerca de cuatro meses de registro continuo. Estos datos sísmicos se completaron con datos de la red sísmica telemétrica analógica de Colima (RESCO), de periodo corto, y para algunos casos, la estación de Chamela del Servicio Sismológico Nacional (SSN), de banda ancha. La posición de las estaciones sismológicas se muestra en la figura 2.

PROCESADO DE DATOS

Se creó una base de datos con todos los eventos registrados en las estaciones sismológicas de la red portátil. Después se realizó una primera selección de estos, excluyendo aquellos que estuviesen fuera de la región de estudio. El siguiente paso a seguir fue completar la base de datos con los de RESCO, cuyo registro continuo se revisó, extrayendo todos los eventos de nuestra base detectados por aquella red. El Servicio Sismológico Nacional nos proporcionó los registros de algunos temblores de un enjambre detectado en la estación de Chamela que se produjo a principios de marzo de 1998 en una zona comprendida entre Amatlán de Cañas y Ameca.

Todos los eventos registrados en tres o más estaciones fueron localizados mediante el programa Hypocenter 3.2 (B. Lienert, 1994). Los hipocentros con error de tiempo (rms) > 0.5 s y error vertical y horizontal > 10 km fueron eliminados de nuestro análisis. Se aplicó un modelo de velocidades que se obtuvo de un análisis de las ondas refractadas en diferentes estaciones sismológicas de la red portátil para tener el control de profundidad (Núñez-Cornú *et al.*, 1998). El modelo se muestra en la Tabla 1. La relación de magnitud local que mejor se ajustó a los datos fue la de Lay & Wallace (1995):

$$M_L = \log A - 2.48 + \log D$$

Tabla 1. Modelo de velocidades para la zona noroeste del Bloque de Jalisco

Profundidad (km)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
0	5.7	3.2
3.6	6.4	3.6
19.0	6.9	3.9
28.0	7.6	4.3
35.0	8.0	4.5
50.0	8.1	4.6
70.0	8.3	4.7

donde D es la distancia hipocentral en km y A es la amplitud máxima en mm. Fueron 197 temblores los que se pudieron localizar dentro del margen de error establecido.

El estudio sísmico de los datos obtenidos se basó en el análisis de la distribución espacial, obteniéndose diferentes zonas sismogénicas que se caracterizan por tener registros con formas de onda particulares en cada una de ellas.

En la estación TUJ (Tuito, Jalisco) se registraron frecuentemente enjambres de temblores a un radio menor de 60 km pero de tan baja magnitud que sólo fueron detectados por esta estación. Sin embargo, al disponer de un sensor triaxial, se pudo estimar el azimut y la distancia epicentral de los eventos (Lay & Wallace, 1995), para luego calcular las coordenadas de sus epicentros. De esta forma se localizaron un total de 340 eventos, pero como son datos sujetos a un margen de error grande, no se consideraron en el análisis y sólo se incluyen en este artículo con la intención de mostrar el nivel alto de sismicidad que tiene esa zona.

RESULTADOS

En la figura 3 se muestran todos los eventos localizados con tres o más estaciones. En el mapa epicentral (figura 3a) se observa: a) un cese de sismicidad brusco al norte del paralelo 21, b) una franja con muy baja actividad sísmica entre las latitudes 19.7° y 20.3°, y c) no se registran terremotos al occidente de la trinchera Mesoamericana. Por estar fuera de los objetivos de este trabajo, no se analizaron los eventos localizados en la zona del Graben de Colima.

Para analizar la distribución sísmica en función de la profundidad de los eventos mostramos las secciones N-S y E-O, donde se proyectan los sismos de la región de estudio. La sección norte-sur está representada en la figura 3b, en donde se puede apreciar la franja con escasa sismicidad entre las latitudes 20.1° y 20.3° y la ausencia de epicentros al norte del paralelo 21°. Los hipocentros se localizan desde la superficie hasta profundidades de 40 km. La figura 3c representa una sección este-oeste de la región en la que se observan eventos entre los 15 y 40 km de profundidad, y desde la trinchera unos 70 km hacia la costa, que difícilmente se puede relacionar con la sismicidad debida al contacto entre la placa oceánica y la continental.

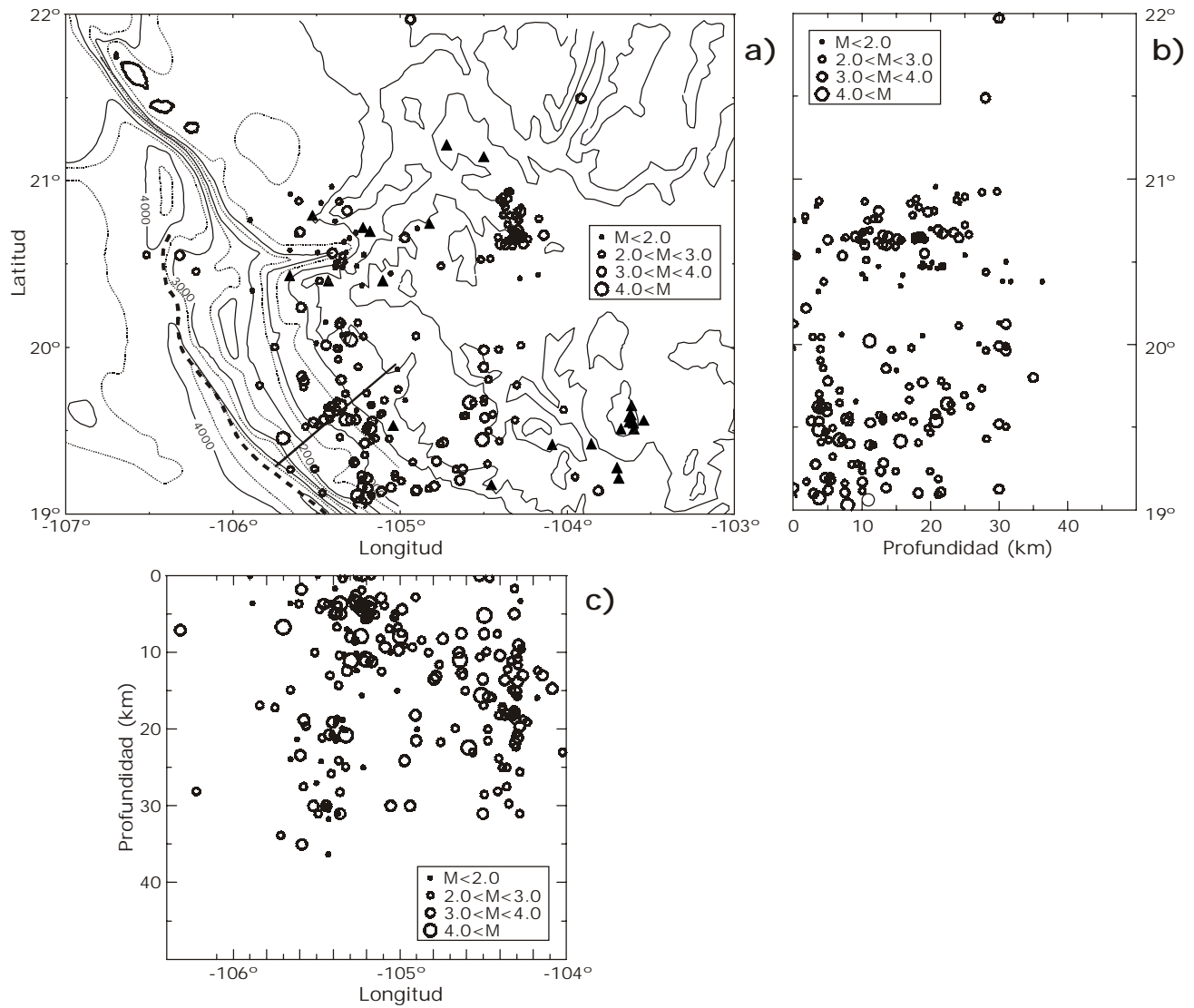


Figura 3. a) Mapa epicentral de los sismos registrados en tres o más estaciones. Las estaciones se representan por triángulos. La línea punteada A-A' es perpendicular a la costa y mide 100 km, se utiliza para calcular los ángulos de la figura 11. b) Sección norte-sur del mapa epicentral. c) Sección este-oeste del mapa epicentral.

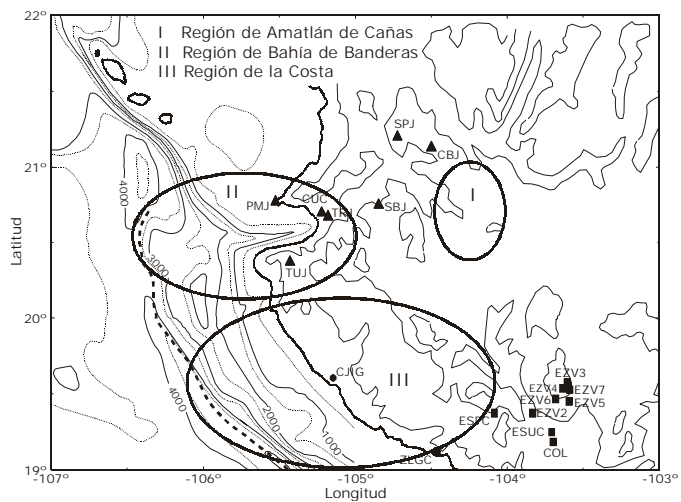


Figura 4. Las tres regiones tectónicas consideradas en este estudio. Elipses punteadas: zonas tectónicas propuestas por Núñez-Cornú *et al.* (2002) para el área de Bahía de Banderas.

Del análisis de la distribución epicentral, los temblores se han clasificado por grupos, asignados a las tres regiones tectónicas que aparecen en la figura 4. Para una clasificación dentro de las regiones se utilizó un análisis de las diferentes formas de onda de los sismogramas.

REGIÓN DE AMATLÁN DE CAÑAS

Esta región se encuentra entre Amatlán de Cañas y Ameca, lindando en su extremo norte con el graben de Tepic-Zacoalco (región I). La sismicidad es continental y los eventos no sobrepasan los 35 km de profundidad, con lo cual la sismicidad se distribuye en todo el grosor de la corteza continental. Durante el periodo de funcionamiento de las estaciones sismológicas se pudieron localizar 49 eventos, con valores de magnitud comprendidos entre 2.9 y 5.3 M_L . De este total, 24 temblores se produjeron en el enjambre de Marzo de 1998 durante un periodo de 6 días.

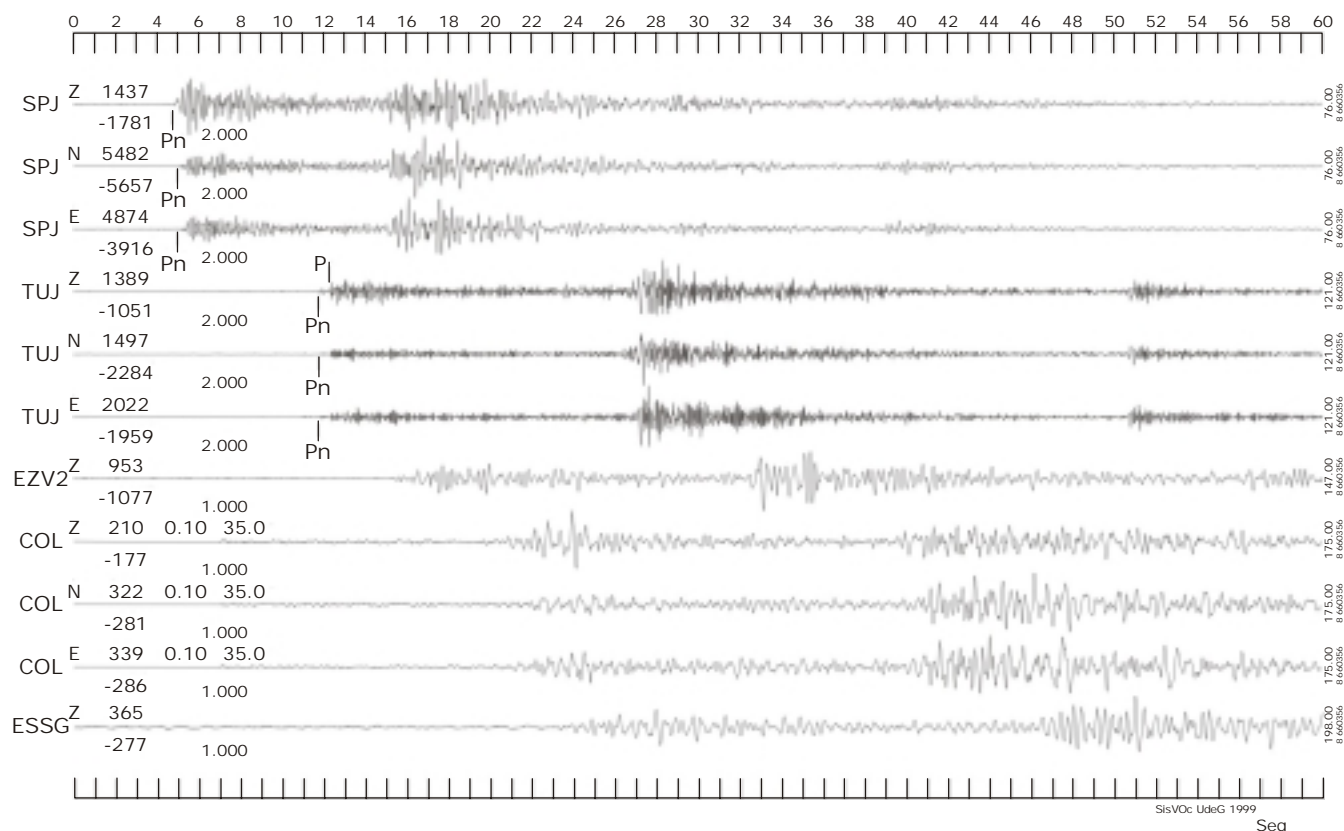


Figura 5. Terremoto ocurrido en el enjambre de Marzo de 1998 en la región I; de Amatlan de Cañas. Fue registrado por la red portátil y por las estaciones de la red de Colima (RESCO).

En la figura 5 se muestran los sismogramas de uno de los eventos ocurridos en el enjambre de Marzo de 1998 y que se localizó a 121 km de TUJ y a 76 km de SPJ (San Pedro Lagunillas). En SPJ existe una fase inicial que no parece ser la onda P directa, más bien una Pn, la cual se observa claramente en los registros de TUJ. La aparición de ondas refractadas a distancias pequeñas del hipocentro indica una fuerte discontinuidad o la posible existencia de una discontinuidad de Conrad.

REGIÓN DE BAHÍA DE BANDERAS

Esta región comprende la parte terrestre del interior y costas de Bahía de Banderas y el área marina que alcanza hasta la trinchera Mesoamericana en dirección hacia occidente (figura 4). En esta región ya se habían definido previamente tres zonas sísmicas: la del norte(N), centro(C) y sur(S) de la Bahía (Nuñez-Cornú *et al.*, 2002). Se localizaron 40 terremotos con magnitud comprendida entre 1.2 y 4.9 M_L , con cuyos datos se realizó el análisis que se presenta a continuación:

ZONA NORTE DE LA BAHÍA

Lo más característico de los eventos localizados en esta zona es que en las señales que llegan a la estación TUJ se observa una gran dispersión de las señales sísmicas. De hecho, pocos temblores localizados al norte de la bahía fueron registrados por esta estación y, sin embargo, la señal llega con claridad a SPJ y SBJ (San Sebastián del Oeste), que se encuentran al oriente y PMJ (Punta de

Mita) que se sitúa en el norte de Bahía de Banderas (figura 2). Casi todos los temblores ocurren a profundidades someras. Este hecho apoya la hipótesis que sugiere la existencia de una estructura tectónica importante que atraviesa la bahía en dirección E-O (Dañobeitia *et al.*, 1997). Esta posible estructura provoca gran dispersión en las señales sísmicas que la atraviesan, resultado de una región no homogénea y/o muy fracturada. En la figura 6 se muestran los sismogramas de un evento registrado en TUJ y PMJ. En PMJ el temblor se registra mostrando una onda P directa muy impulsiva y una onda S clara, mientras que en TUJ, la señal cruza la Bahía llega muy dispersa y con menor amplitud.

CENTRO DE LA BAHÍA

Es en esta zona donde se producen los eventos más profundos, que podrían correlacionarse con la estructura tectónica comentada en el párrafo anterior, una posible zona de falla que marca el límite norte del Bloque de Jalisco, y que aquí llamaremos Borde de Banderas. En esta zona se encuentra el cañón submarino que atraviesa la Bahía de este a oeste, que ya se ha propuesto como prolongación marina del Graben del Río Ameca en otros trabajos (Fisher, 1961; Johnson & Harrison, 1990). Apoyando esta hipótesis, Álvarez (2001) realizó una campaña de ecosondeos en la parte del cañón submarino de la bahía, encontrando una alta reflectancia, posiblemente debido a la presencia de basamento de composición granítica, con abundancia de picos y cañones que llegan hasta los 1400 m de profundidad. La falta de sedimentos en las zonas profundas sugiere que la zona es activa.

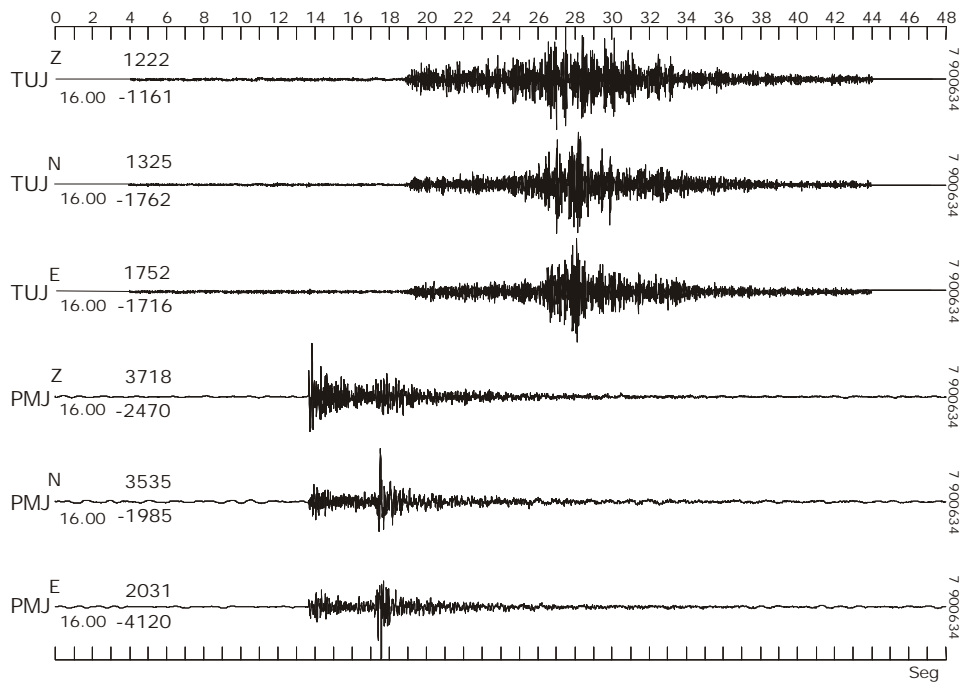


Figura 6. Terremoto registrado en la zona norte de Bahía de Banderas. Las tres primeras trazas son las tres componentes del registro de TUJ (sur de la bahía). Las tres últimas trazas son las registradas por PMJ (norte de la bahía).

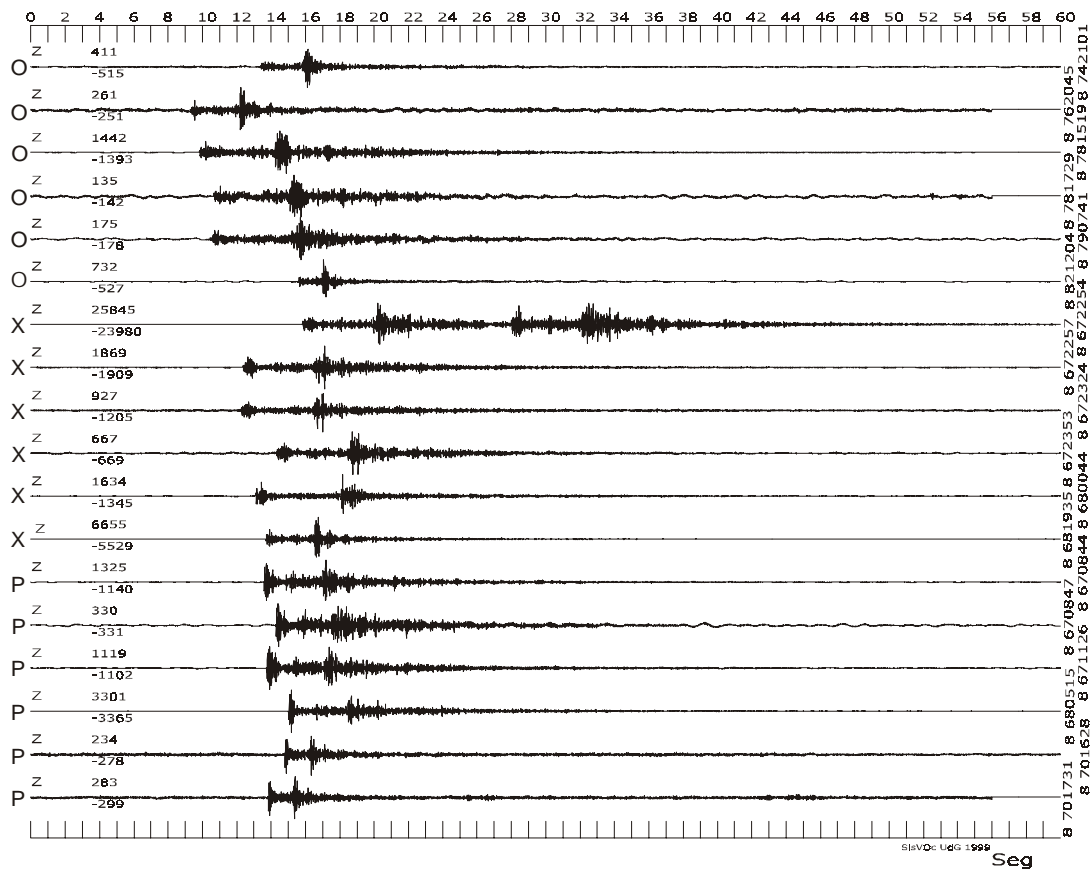


Figura 7. Enjambres que se producen en la zona sur de la bahía registrados por la estación sismológica de TUJ. Las trazas están ordenadas según las tres familias clasificadas, hay seis ejemplos para cada una y solo se muestra la componente vertical de cada evento.

SUR DE LA BAHÍA

Esta zona está definida por los eventos que ocurren en la parte suroriental de la bahía. Estos incluyen los sismos del área de Puerto Vallarta, el Tuito y la costa sur de la bahía. Todos son superficiales y se pueden correlacionar con rasgos morfoestructurales, lo que implica que hay estructuras locales continentales activas y, por lo tanto, potencialmente peligrosas. Son este tipo de temblores los que se producen continuamente en los enjambres registrados en la estación TUJ. En la figura 7 se presentan tres tipos de estos enjambres que se encuentran localizados en un radio de 60 km de la estación. Gran parte de ellos no se pueden localizar debido a que no se registran en ninguna otra estación por su baja magnitud y falta de estaciones sismológicas cercanas. En el periodo en que la estación PMJ estuvo funcionando no registró ningún temblor ocurrido en esta zona, debido a la atenuación de la señal sísmica al cruzar la bahía y el nivel de ruido propio del emplazamiento de la estación en Punta de Mita.

Sobre un modelo digital del terreno (figura 8) se representan las localizaciones de los eventos ocurridos tanto en Bahía de Banderas como en Amatlan de Cañas. En la región de la Bahía se incluyen los eventos registrados sólo en la estación TUJ. No se registró sismicidad al norte del paralelo 21 ni en la región de Amatlán de Cañas ni en la región de la Bahía, aunque se registraron escasos temblores entre estas dos regiones. Esta frontera sísmica apoya la hipótesis del Borde de Banderas, mientras que los eventos de la región de Amatlan colindan con el graben de Tepic-Zacoalco, por lo que proponemos que la actividad sísmica de estas zonas está relacionada con la misma estructura tectónica formando el límite norte del bloque de Jalisco.

REGIÓN COSTERA

Como se muestra en la figura 3c, hay eventos costeros a profundidades someras y cerca de la trinchera difíciles de asociar con el contacto entre la placa de Rivera y el bloque de Jalisco. En el trabajo realizado a consecuencia del terremoto de 1995 en las costas de Jalisco y Colima por Pacheco *et al.* (1997), se plantea la razón de la existencia de réplicas a menos de 50 km de la trinchera Mesoamericana y a una profundidad difícil de asociar a la zona de Wadati-Benioff. Estos autores proponen que estas réplicas, tan cercanas a la trinchera, se producen debido a una carencia de sedimentos con alta presión de poro a profundidades superficiales, menores de 35 km (Byrne *et al.*, 1988). Este tipo de actividad sísmica para la zona de subducción de la placa de Cocos ha sido identificada también por Singh *et al.* (2000). En este último caso, asocian esa actividad a la litosfera oceánica de la placa de Cocos. Estos son los terremotos someros de falla normal, de gran magnitud ($M_w > 7.0$) que ocurren con cierta frecuencia (cuatro de los siete últimos grandes temblores en la placa de Cocos). Este hecho podría implicar que este tipo de temblores puedan presentarse también asociados a la subducción de la placa de Rivera bajo el Bloque de Jalisco.

Con la idea de caracterizar la actividad sísmica de esta región, analizamos las formas de ondas de todos estos temblores costeros, considerando particularmente la relación A_p/A_s , fases refractadas y posibles fases convertidas. Con estas consideraciones se pudo obtener una primera clasificación: Los temblores originados en la litosfera continental, eventos continentales, y aquellos con origen en la litosfera oceánica, eventos oceánicos. Así se propone la hipótesis que la actividad sísmica cercana a la trinchera se origina en la placa oceánica.

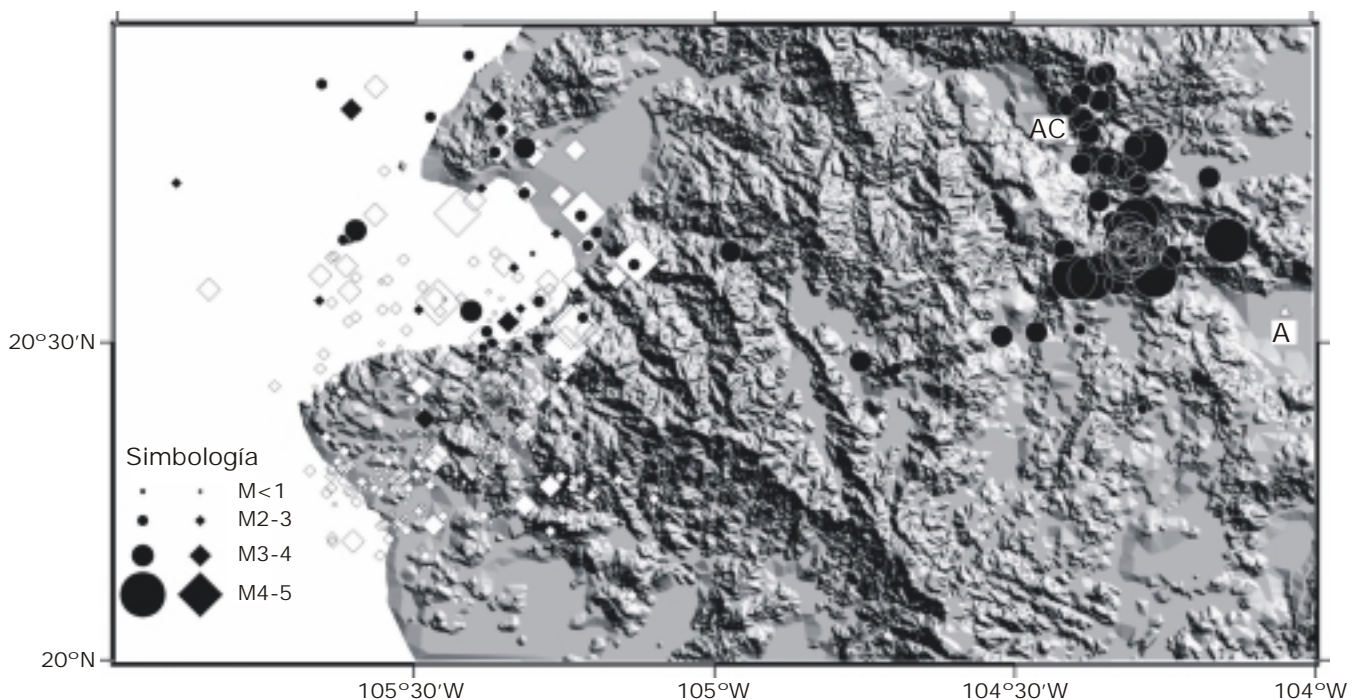


Figura 8. Temblores de la región de Amatlán de Cañas y Bahía de Banderas. Los círculos son eventos localizados con tres o más estaciones y los rombos con una o dos estaciones. AC: Amatlan de Cañas; A: Ameca.

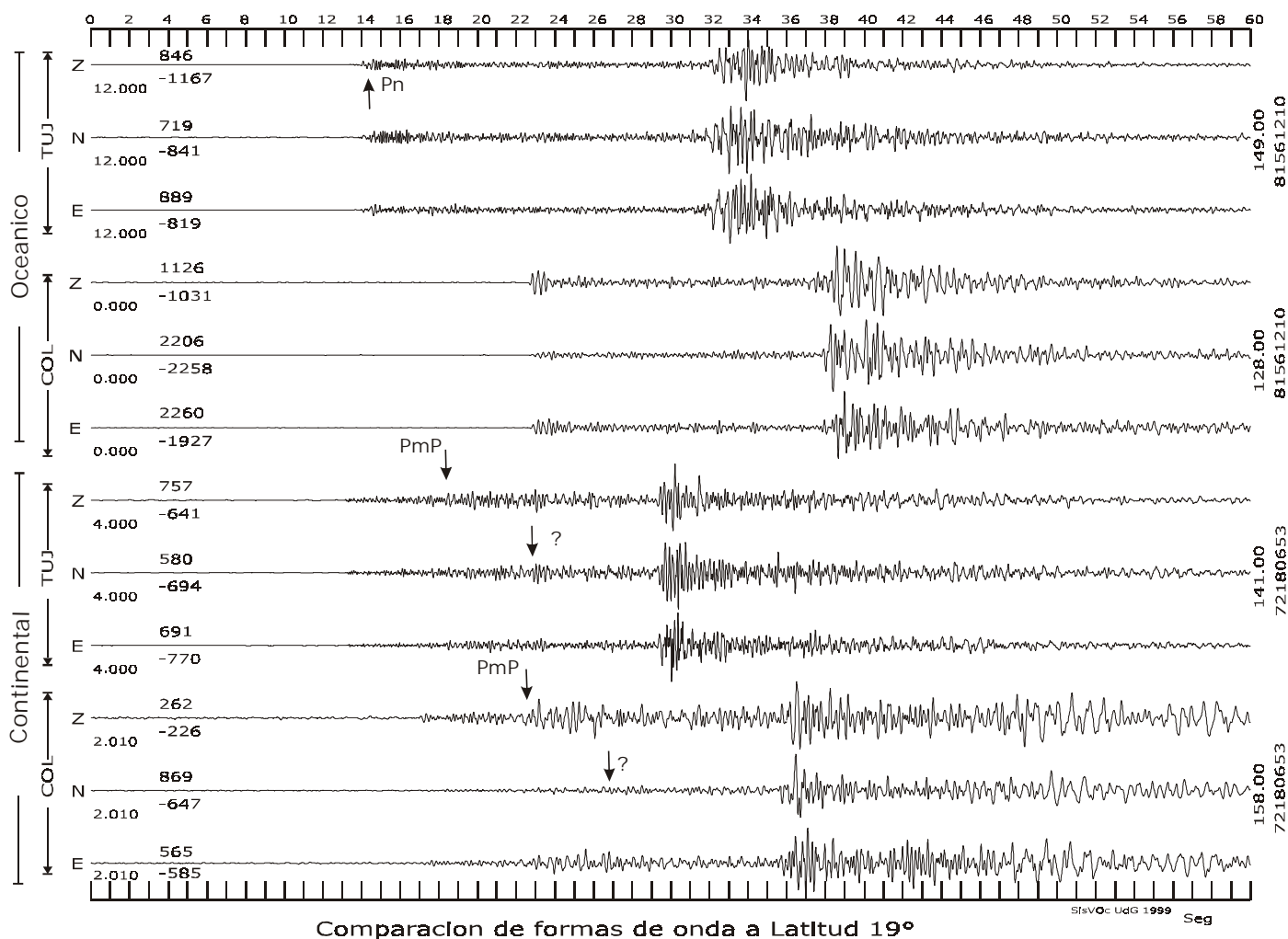


Figura 9. Comparación de formas de onda de eventos continentales y oceánicos.

En la figura 9 se muestra un ejemplo de las diferencias significativas en las formas de onda encontradas en el análisis descrito:

- La fase inicial de las ondas directas P y S es de baja frecuencia para las trazas oceánicas; se caracterizan por presentar ondas P energéticas y en muchos casos ondas Pn claras.
- El primer arribo de las ondas P y S en el caso de los eventos continentales es de mayor frecuencia y de baja amplitud. Sus trazas presentan posibles ondas reflejadas convertidas y no se observan ondas refractadas (Núñez-Cornú *et al.*, 2002).

A partir de la caracterización anterior se identificaron 26 terremotos de tipo oceánico distribuidos desde la trinchera hasta la costa, con profundidades que varían entre los 7 y 30 km y magnitud comprendida entre 2.6 y 5.5 M_L . Los eventos continentales localizados son 82, cuyos hipocentros se encuentran desde la trinchera hasta a unos 180 km tierra adentro, con profundidades hasta los 31 km, y magnitud entre 2.7 y 5.8 M_L (ver figura 3).

Para resaltar la distribución de los hipocentros mostramos dos figuras proyectadas en tres dimensiones con perspectivas diferentes. Desde el punto de vista mostrado en la figura 10a, los temblo-

res relacionados con la litosfera continental (círculos) se encuentran en una franja estrecha entre la trinchera y la costa. Con esta orientación estos eventos se ajustan para formar un alineamiento, que puede relacionarse con el plano que define la actividad sísmica debido al contacto entre placas (zona de Wadati-Benioff). Separados de estos eventos continentales y al oeste de la proyección de la trinchera en la superficie, se encuentran los temblores asociados a la litosfera oceánica (cruces). Si formamos una línea uniendo las Islas Marias con el límite de actividad sísmica continental costera y el Volcán de Fuego (Colima), todos los eventos costeros quedan al oeste y solamente la actividad de la región de Amatlán de Cañas (cuadrados) se localiza al este de esta línea. Esta vista podría indicar la dirección de una subducción oblicua a lo largo de la línea discontinua, lo que implica la posibilidad de un movimiento relativo de la placa de Rivera con respecto al bloque de Jalisco en dirección sureste. En la figura 10b la vista es desde el suroeste y nos muestra las mismas características mencionadas, como son los límites de sísmicidad y el agrupamiento a los lados de la trinchera de los temblores de origen continental y oceánico.

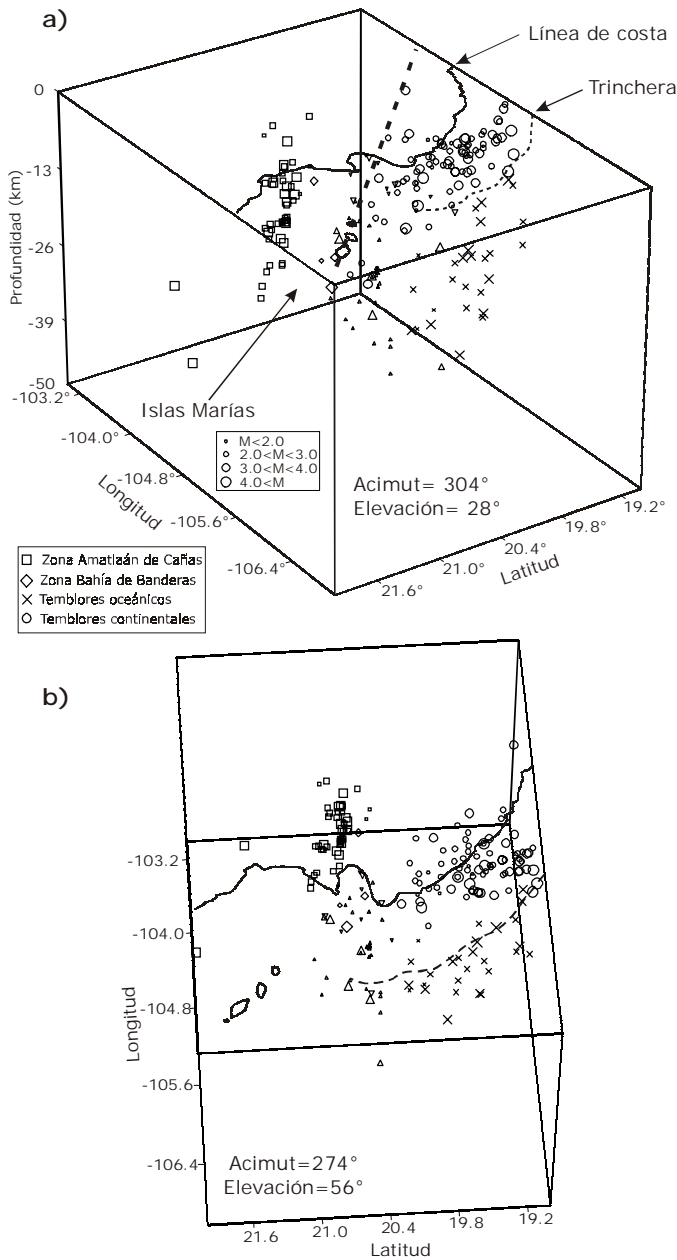


Figura 10 a y b. Perspectiva de la distribución sísmica en tres dimensiones de los hipocentros separados en los cuatro tipos de sismos correspondientes a las zonas sismogénicas propuestos.

Finalmente, en la figura 11 representamos una estimación del ángulo de subducción de la placa de Rivera bajo el bloque de Jalisco. Considerando los eventos continentales se obtiene un ángulo de subducción de 12°, que coincide con la zona de contacto entre las placas convergentes. Se muestra también la línea de los 21° ya que a mayor ángulo solo se encuentran eventos oceánicos. Estos valores son similares a los obtenidos en los estudios de reflexión y refracción sísmica en el proyecto CORTES96, que se realizó en 1996 (Dañobeitia *et al.*, 1997) y a los ángulos estimados con datos de la red de RESCO para la costa de Colima y sur de Jalisco (Núñez-Cornú & Sánchez-Mora, 1999).

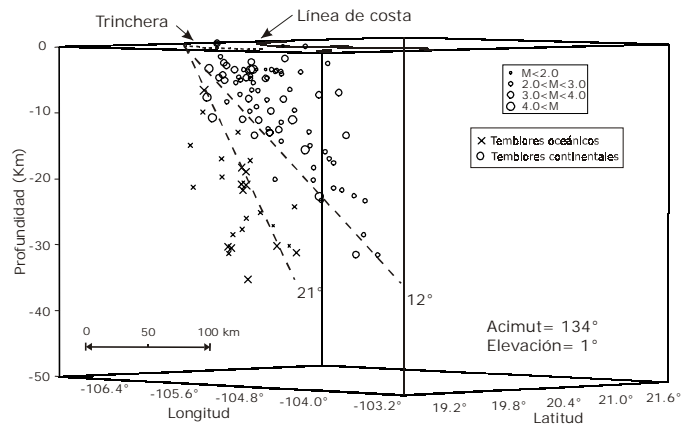


Figura 11. Eventos costeros proyectados en un perfil perpendicular a la trinchera, tanto de la litosfera oceánica como continental. Aparecen las líneas de buzamiento para ángulos de 12° y 21° calculadas a partir de la línea A-Á (100km) y la profundidad.

Tabla 2. Promedios en la comparación de los datos reportados por el SSN y este trabajo.

Zona	Nº eventos	Diferencia epi. (km)	Diferencia magnitud	Diferencia prof. (km)*
CC	7	34	1.06	4
OC	4	27	0.80	6
BAB	2	65	0.65	27
ACA	7	15	0.28	40

CC: relacionada con los eventos de la litosfera continental, BAB: Bahía de Banderas, ACA: Amatlán de Cañas, OC: relacionada con los eventos de la litosfera oceánica.

* El promedio en la diferencia de profundidad está calculada haciendo la media de los valores absolutos de las diferencias de profundidad de cada uno de los eventos.

COMPARACIÓN CON LOS DATOS SÍSMICOS DEL SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL

Muchos de los temblores registrados y localizados en esta zona de estudio también fueron registrados y localizados por el Servicio Sismológico Nacional (SSN). Para evaluar la concordancia entre los datos de las dos fuentes, se realizó un estudio comparativo de hipocentros en base al nivel de detección. De los 197 eventos localizados en este trabajo, 43 son reportados también por el SSN. Teniendo en cuenta que el SSN solo reporta eventos con magnitud igual o superior a M 3.7 que es equivalente a M_L 4.25 calculado en este trabajo, hay muchos eventos locales que quedan por debajo de esta magnitud. Ahora, si suponemos que todo evento con magnitud igual o superior a este límite ha podido ser notificado por el SSN, llegamos a los siguientes resultados comparativos:

- El SSN reporta el 55% de los eventos ocurridos en esta región.
- Las diferencias en las localizaciones hipocentrales varían según cada una de las zonas propuestas. Los promedios de estas variaciones se muestran en la tabla 2. Esto puede deberse a la existencia de una zonificación sísmica donde hay que tener en cuenta el efecto de fuente y el medio de propagación para cada zona en particular.

Tabla 3. Resultado de las localizaciones y las diferencias realizadas en este estudio y en el Servicio Sismológico Nacional de la zona de Amatlán de Cañas (ACA).

Datos de este trabajo (Estación SPJ)											Datos del SSN					Diferencias				
Fecha	hora	Dist. (km)	Lat	Long	Prof (km)	M _L	rms	erh	erz	N° Lec	Hora	lat	Long	Prof (km)	M	Dist. (km)	Az	M _L -M	Prof (km)	
1	980304	13:40:46	13.36	20.60	-104.40	10	4.23	0.35	8.3	2.9	32	13:40:48	20.69	-104.31	16	3.9	13.36	45	0.33	6
2	980305	20:04:17	7.41	20.60	-104.37	14	4.93	0.29	7.1	2.2	40	20:04:19	20.67	-104.37	6	4.9	7.41	1	0.03	-7
3	980305	22:12:42	9.84	20.66	-104.14	13	4.46	0.51	4.4	3.7	34	22:12:45	20.70	-104.33	87	4.3	9.84	283	0.16	74
4	980306	10:48:41	13.70	20.69	-104.30	21	4.27	0.30	6.6	3.6	41	10:48:43	20.57	-104.28	68	4.1	13.70	173	0.17	47
5	980306	15:25:45	19.94	20.65	-104.29	9	4.49	0.34	2.8	2.6	37	15:25:45	20.82	-104.36	16	4.2	19.94	338	0.29	7
6	980307	16:58:47	11.62	20.67	-104.31	22	4.38	0.21	1.2	1.6	40	16:58:48	20.76	-104.37	59	3.9	11.62	327	0.48	37
7	981028	23:39:59	21.50	20.59	-104.73	31	5.37	0.09	9.2	10	10	23:40:02	21.76	-104.84	130	4.9	21.50	329	0.47	99

La diferencia en la profundidad viene dada por la resta de los datos de este trabajo menos los datos del SSN, con lo cual, la diferencia negativa corresponde a eventos del SSN más someros que en este trabajo y la positiva, los eventos son más profundos en los resultados del SSN.

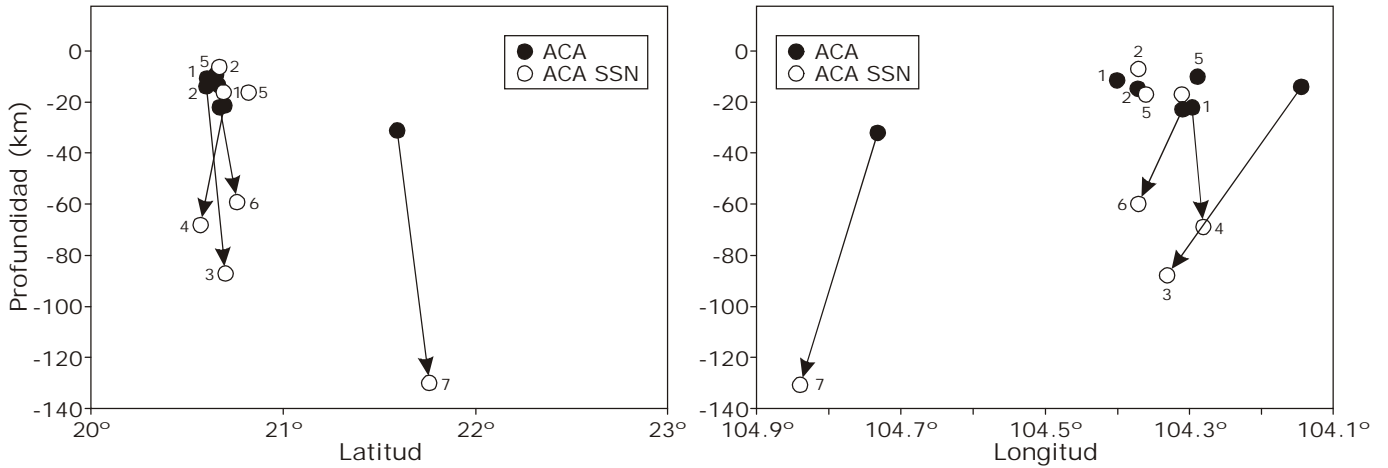


Figura 12. Localizaciones de eventos de Amatlan de Cañas-Ameca. Relación de la latitud (izquierda) y la longitud (derecha) con la profundidad. Las flechas unen los eventos localizados por el SSN (blancos) con los analizados en este trabajo (negros).

En el caso particular de la zona de Amatlán de Cañas las diferencias en la localización de los hipocentros son grandes. Las profundidades asignadas por el SSN han sido tomadas por diferentes autores para definir la zona de Benioff, mientras que, según nuestros datos, los eventos ocurren en la placa continental. En la Tabla 3 se muestran los datos de los hipocentros

que conforman los catálogos tanto del SSN como los del presente estudio para la zona de Amatlán de Cañas. En la última columna se señalan las diferencias en profundidad de ambas localizaciones. Para verlo con más claridad, en la figura 12 se grafican las localizaciones en latitud y longitud con respecto a la profundidad.

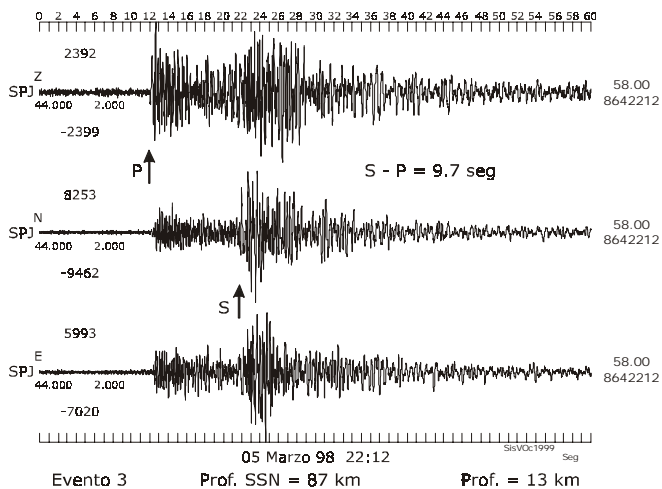


Figura 13. Temblor registrado en la estación de San Pedro (SPJ) ocurrido en el enjambre de Marzo de 1998. Se señalan las llegadas de las fases P y S y el tiempo transcurrido entre ellas.

Las figuras 13 y 14 muestran los sismogramas de los eventos 3 y 4 descritos en la Tabla 3, registrados por la estación de San Pedro (SPJ). Los sismogramas de la figura 13 corresponden al temblor que ocurrió a las 22:12 del 3 de Marzo de 1998, con una S-P de 9.7 s. En la figura 14 se presenta el evento 4, ocurrido el 6 de Marzo a las 10:48 del mismo año. Tiene una S-P de 9.8 s. Para que estos eventos ocurriesen a las profundidades reportadas por el Servicio Sismológico Nacional, el hipocentro tendría que estar debajo de la estación SPJ. Sin embargo, tanto sus localizaciones como las de este estudio ubican la fuente del temblor a una distancia epicentral media de 71 km (figura 15) de la estación SPJ.

Esta claro que las diferencias de localización no se deben únicamente a la distribución de las estaciones, existen efectos de fuente y propiedades de estructura cortical en esta zona que hay que tener en cuenta y estudiar con más detalle.

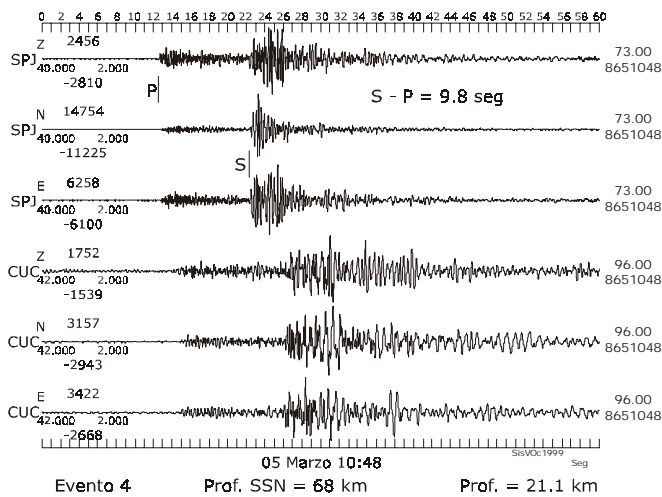


Figura 14. Temblor ocurrido en el enjambre de Marzo de 1998. La señal se registro en las estaciones de SPJ y CUC de la red portátil. Se especifican las llegadas de las fases P y S en los registros de SPJ y la diferencia en sus tiempos de llegada.

CONCLUSIONES

La existencia de actividad sísmica a todo lo largo de la Trinchera Mesomericana estaba clara, pero no se conocía el alto nivel sísmico de la Bahía de Banderas. Es cierto que la magnitud de estos eventos es pequeña, pero el presente estudio demuestra que hay estructuras tectónicas locales activas que hasta ahora eran desconocidas.

El límite que marca un cese casi total de la sísmicidad al norte de Bahía de Banderas, que además coincide con el borde norte de la zona sísmica de Amatlán de Cañas, indica un posible borde o límite del bloque de Jalisco, el Borde de Banderas. Esta hipótesis es consistente con propuestas expuestas en estudios anteriores (Johnson & Harrison, 1990; Dañoibeitia *et al.*, 1997; Álvarez, 2001; Núñez-Cornú *et al.*, 2002). En esta región ocurren temblores con profundidades menores a los 35 km, por tanto originados en la corteza continental.

La distribución de los hipocentros sugiere también la posibilidad de una subducción oblicua, donde la placa de Rivera subduce en una dirección que marca la línea que une las Islas Mariás con Bahía de Banderas y que se prolonga hasta el Volcán de Fuego (Colima). Esto significaría que el sentido del movimiento de la placa oceánica es hacia el sureste, siendo además el límite de la sísmicidad de esta placa en subducción justo la línea arriba mencionada.

Los eventos costeros, al sur de la latitud 19.7°N, están localizados dentro de la zona de ruptura del terremoto de magnitud 8.0 Mw de Octubre de 1995 (Courboux *et al.*, 1997), pudiendo relacionarse con movimientos de reacoplamiento de placas. Que al norte de esta franja la actividad sísmica sea menor confirma el alto potencial sísmico de la costa norte de Jalisco.

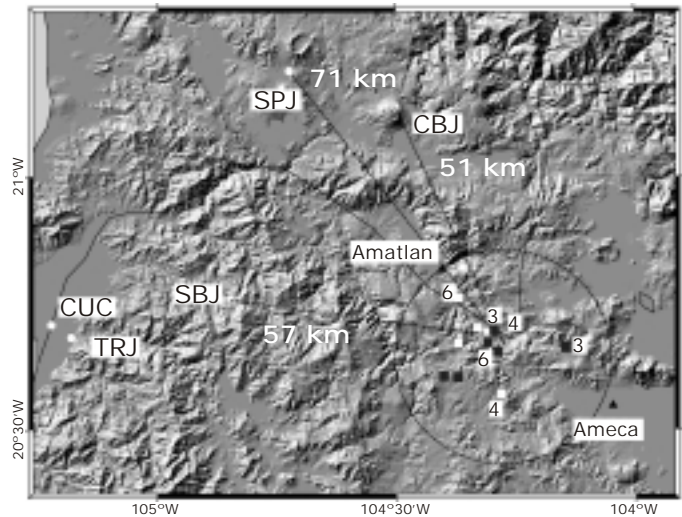


Figura 15. Localizaciones de los eventos registrados tanto por el SSN (cuadrados blancos) como por la campaña de microsismicidad (cuadrados negros) que vienen especificados en la Tabla 3. Las estaciones sismológicas regionales se muestran con círculos blancos. Se señala con flechas la distancia promedio entre la actividad sísmica y las estaciones sismológicas.

En este estudio hemos encontrado eventos próximos a la trinchera Mesoamericana que son difíciles de relacionar con la zona de Wadati-Benioff de la convergencia de las placas entre Rivera y bloque de Jalisco. Esta sísmicidad se debe a una actividad sísmica de la litosfera oceánica de la placa de Rivera, actividad que ya ha sido documentada para la litosfera oceánica de la placa de Cocos (Singh *et al.*, 2000).

La diferencia entre las localizaciones del Servicio Sismológico Nacional y las presentadas en este estudio difieren considerablemente en la zona de Amatlán de Cañas, concretamente en la profundidad hipocentral de los eventos profundos con un promedio de 40 km de diferencia. Este dato es trascendental, ya que el origen del temblor cambia de ser cortical en nuestro caso a relacionarlo con la zona de Benioff de la placa en subducción en los reportes del SSN. Con este estudio comparativo se pretende demostrar la importancia de crear redes sísmicas regionales, aumentando así la cobertura sísmica y el control en las localizaciones, mejorando el conocimiento del lugar de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la concesión de los proyectos LICOJAL con CONACyT (4144PT) y SIMORELOS (19990306004) México y los datos sísmicos de RESCO proporcionados por M. C. Gabriel Reyes-Dávila, se pudo llevar a cabo este estudio de microsismicidad. Nuestro especial reconocimiento a los Doctores Luis Munguía y Luis Delgado por sus valiosos comentarios y atinadas sugerencias.

REFERENCIAS

- Álvarez, R., 2001. Bahía de Banderas: Posible límite tectónico del Bloque de Jalisco, GEOS, Vol. 21, N. 3, 212.
- Byrne, D., Davies, D., and Sykes, L., 1988. Loci and maximum size of thrust earthquakes and the mechanics of the shallow region of subduction thrust, *Tectonics*, 7, 833-857.
- Courboulex, F., Singh, S.K., Pacheco, J.F. and Ammon, C.J. 1997. The 1995 Colima-Jalisco, Mexico, earthquake (Mw 8): A study of the rupture process, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 1019-1022.
- Dañobeitia, J.J., Cordoba, D., Delgado-Argote, L.A., Michaud, F., Bartolomé, R., Farran, M., Carbonell, M., Núñez-Cornú, F. and CORTES-P96 Working Group, 1997. Expedition Gathers New Data on Crust Beneath Mexican West Coast, *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, 78, 565-572.
- Eissler, H.K. and McNally K.C., 1984. Seismicity and tectonics of the Rivera Plate and implications for the 1932 Jalisco, Mexico, earthquake, *J. Geophys. Res.* 89(B6): 4520-4530.
- Fisher Robert, L., 1961. Middle America Trench: topography and structure, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 72, 703-720.
- Johnson, C.A. and Harrison, C.G.A., 1990. Neotectonics in Central Mexico, *Phys. Earth Plan. Int.*, 64, 187-210.
- Lay, T. & Wallace, T.C., 1995. *Modern global seismology*, Ed. Academic Press.
- Lienart B., 1994. Hypocenter 3.2, Hawaii Institute of Geophysics and Planetology.
- Nava F., J. Núñez-Cornú, R. García, R. Toscano, M. Farfán, B. Márquez, C. Suárez, L. Valdivia, P. Méndez, G. Saavedra, L. Santiago y M. Alatorre, 1994. Primer Informe de Investigación: Peligro Sísmico en el Bloque de Jalisco. CONACyT [1887-C9212].
- Núñez-Cornú, F., G. Reyes-Dávila, C. Suárez-Plascencia, F.A. Nava, M. Rutz, A. Ramírez y A. Reyes, 1998. Eventos sísmicos en el Bloque de Jalisco. *GEOS* 1998, S-12, 286.
- Núñez-Cornú F. and Sánchez-Mora, C., 1999. Stress field estimations for Colima Volcano, Mexico, based on seismic data, *Bull. Volcanol.*, 60, 568-580.
- Núñez-Cornú F., M. Rutz, F. A. Nava, G. Reyes-Dávila and C. Suárez-Plascencia, 2002. Characteristics of Seismicity in the Coast and North of Jalisco Block, Mexico. *Phys. Earth. Int.* 132, 2002, 141-155.
- Pacheco J., Singh, S.K., Domínguez, J., Hurtado, A., Quintanar, L., Jiménez, Z., Yamamoto, J., Gutiérrez, C., Santoyo, M., Guzmán, M., Kostoglodov, V., Reyes, G. and Ramírez, C., 1997. The October 9, 1995 Colima-Jalisco, earthquake (Mw 8): An aftershock study and a comparison of this earthquake with those of 1932, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 2223-2226.
- Singh, S.K., L. Asitz and J. Havskov, 1981. Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone: A reexamination, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 3, 827-843.
- Singh, S.K., Kostoglodov, V. and Pacheco, J.F., 2000. Interslab earthquakes in the subducting oceanic plates below Mexico, *GEOS*, 20, 347.
- Recepción del manuscrito: 19 de mayo, 2004
- Recepción del manuscrito corregido: 13 septiembre, 2004
- Aceptación del manuscrito: 25 de septiembre, 2004