

# Sismicidad de la zona de fracturas de Clarión y sus posibles implicaciones tectónicas

Jaime Yamamoto

Instituto de Geofísica, UNAM, México

Recibido: Noviembre 18, 1992; aceptado: Mayo 5, 1993.

## RESUMEN

Una serie de temblores ( $3.4 \leq M_s \leq 6.4$ ) ocurrió entre el 15 de septiembre de 1984 y el 28 de mayo de 1986 en el extremo oriental de la zona de fracturas de Clarión, 30 km al NNE de la isla del mismo nombre en el archipiélago de Revillagigedo. Los eventos fueron localizados por el ISC entre los  $18.9^\circ$ - $20.4^\circ$ N y  $115.1^\circ$ - $116.9^\circ$ W. Esta secuencia representa la mayor actividad sísmica en el período 1900-1989 en una zona considerada asísmica. Las soluciones de los mecanismos de falla de los seis eventos mayores de la secuencia fueron estudiados usando datos de ondas internas. Todas resultan de *falla normal* con dos posibles planos de falla; uno, orientado NE-SW con una pequeña componente lateral derecha y otro, prácticamente E-W y componente lateral izquierda. La primera solución es congruente con la tendencia de la distribución de epicentros; sin embargo, es difícil de reconciliar con la morfología del fondo oceánico de la zona, toda vez que es oblicua a la tendencia general de las fracturas de Clarión. Varias explicaciones sobre el posible origen de la mencionada actividad sísmica son analizadas.

**PALABRAS CLAVE:** Sismicidad, fracturas de Clarión, México.

## ABSTRACT

A sequence of earthquakes ( $3.4 \leq M_s \leq 6.4$ ) occurred from September 15th, 1984 to May 28th, 1986 near the eastern end of the Clarion fracture zone, 30 km to the NNE of Clarion Island in the Revillagigedo Archipelago. The seismic events were located by the ISC between  $18.9^\circ$ - $20.4^\circ$  N and  $115.1^\circ$ - $116.9^\circ$ W. This sequence represents the largest seismic activity during the period 1900-1989 in a region believed to be aseismic. Fault plane solutions for the six larger events were studied using first arrivals. All solutions suggest *normal faulting* with two possible fault planes, one oriented NE-SW with an small right lateral component and the other almost E-W and left lateral component. The first solution agrees with the trend of the epicenter distribution; however, it is difficult to reconcile with the morphology of the ocean floor since it is oblique to the general trend of the Clarion fracture zone. Several possible explanations of the seismic sequence are discussed.

**KEY WORDS:** Seismicity, Clarion Fractures, Mexico.

## INTRODUCCION

Uno de los rasgos geológicos más impresionantes del fondo oceánico del Pacífico oriental es la existencia, por un lado, de grandes fracturamientos orientados aproximadamente E-W y por otro, de cordilleras centro-océánicas orientadas aproximadamente N-S. Estas crestas oceánicas o dorsales, son o fueron centros de dispersión. Observaciones batimétricas muestran que estas cordilleras caracterizadas por un valle de *rift* central están segmentadas y los segmentos desplazados. Estos desplazamientos ocurren precisamente en los lugares donde las cordilleras centro-océánicas intersectan las zonas de fracturas, dando lugar a fallas transformadas.

Desde los estudios pioneros de Gutenberg y Richter (1954), se notó que las cordilleras centro-océánicas presentan en general una moderada actividad sísmica. La mayor actividad se localiza en las intersecciones con las zonas de fracturas, en tanto que la porción restante permanece prácticamente asísmica (Menard, 1966). Este particular confinamiento de sismicidad está claramente ilustrado en la zona de fracturas de Rivera, considerada continuación de la zona de fracturas de Clarión, que conecta dos segmentos de la Cordillera del Pacífico Oriental frente a la costa de Jalisco-Colima, México (Figura 1).

Los eventos sísmicos ( $3.4 \leq M_s \leq 6.4$ ) ocurridos entre el 15 de septiembre de 1984 y el 28 de diciembre de 1986 en la vecindad de la zona de fracturas de Clarión, 650 km al oeste de la zona sísmicamente activa de Rivera, aparentemente se contraponen a la concepción tradicional. Resulta necesario un esfuerzo por dilucidar si éstos representan una manifestación de algún fenómeno aislado de corta duración o el inicio de un proceso tectónico de largo plazo. Wiens y Okal (1987) hacen un estudio del proceso de ruptura de los principales temblores de esta secuencia y posteriormente, Wyss *et al.*, (1991) la mencionan en su análisis global de la sismicidad de la Cuenca del Océano Pacífico; sin embargo, ninguno de estos autores hace un análisis detallado de su origen ni de sus posibles implicaciones en la tectónica de México.

## ESCENARIO GEOTECTONICO

La región investigada se localiza aproximadamente a los  $18^\circ$ - $21^\circ$  N y  $115^\circ$ - $117^\circ$  W en el extremo oriental de la zona de fracturas de Clarión (Figura 1). Esta zona de fracturas es un conjunto de rasgos batimétricos paralelos que desaparecen lentamente en la vecindad de la Isla Clarión, la más occidental del archipiélago de Revillagigedo. Aquí la zona de fracturas se flexiona, pasando de una tendencia claramente EW a una aproximadamente NW-SE. Conse-

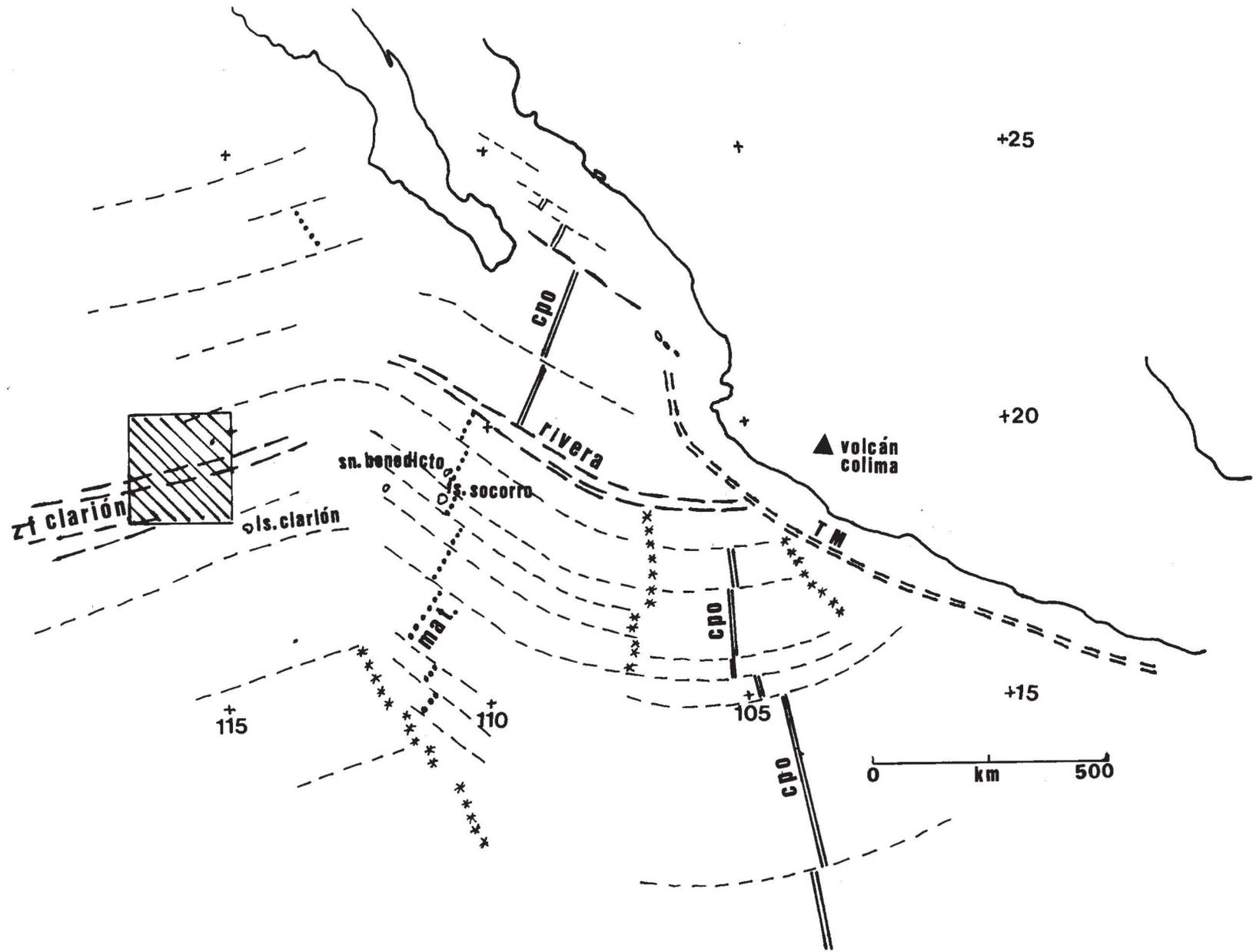


Fig. 1. Mapa simplificado que muestra los principales rasgos geológicos del Pacífico frente a la costa de México. El cuadro hachurado muestra la región de interés. CPO=cordillera del Pacífico oriental, mat=cordillera submarina del Matemático. También se muestra la zona de fracturas de Clarión y Rivera.

cuentemente, la zona de fracturas de Rivera presenta una rotación de alrededor de 20° a 30° con respecto al rumbo de la zona de fracturas de Clarión. Esto ha hecho pensar a algunos investigadores (Menard, 1966) que éstas dos zonas pueden ser rasgos geológicos distintos. El patrón de anomalías magnéticas por otro lado, también distintivo del fondo oceánico, presenta un cambio de dirección, de una sensiblemente N-S a una NE-SW, con desplazamientos lateral derecho a lo largo de las fracturas de Clarión.

La placa de Farallón forma un mosaico de pequeñas placas, cuyas fronteras continúan ajustándose (Mammerickx *et al.*, 1988). Una consecuencia de este reajuste de fronteras entre placas vecinas es el abandono de algunos segmentos activos de dispersión. Así, Sclater *et al.*, (1971) proponen que la cadena de montañas submarinas del Matemático (ver Figura 1) no es un grupo de montañas aisladas sino el remanente de un viejo centro de dispersión que cesó su actividad hace aproximadamente 3.5 millones de años, desplazándose algunos cientos de kilómetros hacia el Este.

Sin duda, el rasgo geológico más importante de la región es la cordillera del Pacífico Oriental; esta larga cadena cambia abruptamente su tendencia NS al sur de la zona de fracturas de Rivera a una NE-SW al norte de la misma. Esta última tendencia la siguen la cadena de montañas submarinas del Matemático y los centros de dispersión de la boca del Golfo de California. El Matemático es un grupo de rasgos batimétricos discontinuos orientados NE que incluye crestas y cañones, representa el borde de una antigua microplaca (Mammerickx *et al.*, 1988). Su límite norte lo forma una gran cresta coronada por las Islas San Benedicto y Socorro.

Fracturamientos observados en Isla Socorro (Bryan, 1966) sugieren la existencia de un complicado sistema de estructuras tipo *rift*, que ha ido evolucionando de una orientación E-W relacionada con movimientos a lo largo de la zona de fracturas de Clarión a una N-S que presenta desplazamiento lateral derecho en la vecindad de la isla. Este último rasgo, dominante actualmente, corta todas las estructuras de la isla y seguramente ha controlado la actividad eruptiva reciente del volcán Everman. Una situación similar, aunque menos clara, ha sido también observada en la Isla Clarión (Bryan, 1966).

Aunque el fondo del Pacífico en esta región ha sido objeto de numerosas investigaciones, el mayor esfuerzo ha sido concentrado en la tectónica al norte de la zona de fracturas de Clarión y en las fallas transformadas de la boca del Golfo de California. La cadena de montañas submarinas del Matemático y obviamente la Cordillera del Pacífico Oriental también han sido estudiadas en gran detalle. Sin embargo, la relación entre las fracturas mayores (Molokai, Clarión, Clipperton y Galápagos) y las pequeñas aún son una incógnita.

### SISMICIDAD REGIONAL

En la Figura 2 se muestra un mapa general de la sismicidad de México que incluye posiblemente todos los even-

tos (Mag > 3.5) localizados entre 1974 y 1989 con los datos del Servicio Sismológico Nacional (SSN), PDE e ISC. La mayor actividad sísmica se concentra en la costa occidental de México, Trinchera Mesoamericana e Istmo de Tehuantepec al sur de la latitud 19°N y al norte de la península de Baja California en el área de Tijuana-Ensenada. Una apreciable actividad también se observa frente a la costa de Colima-Jalisco, en el Golfo de California y sobre la cresta de la cordillera del Pacífico oriental al sur de la latitud 17°N a los 105°W. Concentraciones aisladas de actividad se observan en varias regiones, en particular en la vecindad de la isla Clarión, archipiélago de Revillagigedo.

La mayor parte de los temblores submarinos localizados frente a las costas de Jalisco-Colima (17°-21°W, 104°-110°W), se concentran en una franja bien definida con rumbo N60°W que corresponde a la zona de fracturas de Rivera. La actividad sísmica sobre los segmentos de la cordillera del Pacífico al norte es más difusa pero muestra una tendencia NE-SW. Al sur de la latitud 18°N a lo largo del paralelo 113°W la tendencia de la actividad es sensiblemente N-S.

La actividad sísmica alrededor de las islas Revillagigedo es baja. Según Richards (1959) no mostró apreciable incremento durante la erupción de 1952 del volcán Bárcena en la isla San Benedicto. Si se grafican los eventos hasta antes de 1984 podría deducirse que esa zona es asísmica. Así, la mayor parte de la actividad sísmica de ésta zona se reduce básicamente a la secuencia de temblores ocurrida del 15 de septiembre de 1984 al 28 de mayo de 1986.

### LA SECUENCIA DE TEMBLORES DE 1984-1986

Los eventos de esta secuencia están listados en la Tabla 1. Las localizaciones y magnitudes son las publicadas por el ISC. Estas localizaciones fueron preferidas porque fueron hechas utilizando un mayor número de datos. En realidad las diferencias con las localizaciones del PDE son mínimas, del orden de décimas de grado en las coordenadas del epicentro. En la tabla se consignan 62 eventos localizados en la región, los primeros 59 corresponden a la secuencia de eventos de 1984-86.

La localización de temblores en las cordilleras centro-oceánicas siempre ha sido difícil, debido a la escasa cobertura actual de estaciones sismológicas, tanto en acimut como en distancia. En nuestro caso las estaciones más cercanas (Red de Ensenada, B.C) utilizadas por el ISC en las localizaciones se encuentran a una distancia de aproximadamente 1250 km de la zona epicentral. El número de arribos utilizados varía considerablemente, desde 15 hasta 440 para el evento principal. La estimación de la profundidad del foco, por otro lado, representa un problema aún más serio cuando se utilizan únicamente primeros arribos de estaciones telesísmicas. Lilwall (1982) encuentra que los temblores bien localizados en cordilleras oceánicas siempre ocurren a menos de 10 km abajo del fondo oceánico. La profundidad focal publicada por el ISC para los eventos de la secuencia es de 10km, congruente con este

Tabla 1

No.	FECHA	HORA	LAT N	LON W	H km	mb	Ms
1	84-09-12	21-56-28.2	19.88	116.02	10	5.0	4.6
2	84-09-15	05-46-58.0	20.12	115.70	10	4.4	---
3	84-09-15	19-52-02.6	20.09	116.01	10	5.0	4.1
4	84-09-19	06-49-50.0	20.43	115.10	10	4.1	---
5	84-09-19	20-55-26.0	19.40	115.80	10	4.2	---
6	84-09-28	12-07-42.1	20.08	116.05	10	5.2	5.2
7	84-09-28	15-42-00.6	19.95	115.91	10	5.1	4.0
8	84-10-01	00-23-13.9	19.98	115.91	10	5.1	4.0
9	84-10-03	12-13-57.0	15.90	115.94	10	4.2	---
10	84-10-05	06-23-35.0	20.20	115.40	10	4.7	3.4
11	84-10-05	09-48-44.2	20.07	116.05	10	5.5	4.6
12	84-10-07	23-20-40.0	20.35	115.60	10	4.5	---
13	84-10-08	04-15-20.5	20.30	115.70	10	4.2	---
14	84-10-10	02-19-23.4	20.02	116.03	10	5.0	4.0
15	84-10-13	23-05-13.0	19.92	116.00	10	4.3	---
16	84-10-15	10-23-02.2	19.67	116.11	10	4.6	---
17	84-10-17	21-28-29.0	20.10	116.00	10	4.5	---
18	84-10-17	22-33-45.5	20.19	115.64	10	4.1	3.4
19	84-10-18	07-19-59.0	20.00	115.77	10	4.2	---
20	84-10-19	07-23-24.0	19.70	116.00	10	---	---
21	84-10-20	10-19-13.8	20.13	115.85	10	4.0	---
22	84-10-20	22-19-04.4	20.03	116.07	10	5.0	4.3
23	84-10-22	07-59-38.3	20.06	116.07	10	5.1	4.3
24	84-10-23	07-26-52.2	20.47	115.55	33	4.0	3.2
25	84-10-26	16-32-30.0	19.87	116.10	10	4.4	4.1
26	84-10-28	12-33-54.0	20.10	115.30	10	4.2	3.0
27	84-11-03	03-01-39.0	20.02	116.04	10	4.7	4.0
28	84-11-04	19-49-32.0	20.02	115.63	10	4.8	4.1
29	84-11-05	21-11-04.0	20.14	115.70	10	4.6	---
30	84-11-08	02-17-32.0	20.09	115.81	10	4.7	4.3
31	84-11-15	20-24-19.3	20.06	115.76	10	4.5	3.0
32	84-11-17	00-17-40.0	20.20	115.71	10	4.5	---

Tabla 1 (Cont.)

No.	FECHA	HORA	LAT N	LON W	H km	mb	M <sub>s</sub>
33	84-11-17	04-38-06.0	20.15	115.76	34	4.3	---
34	84-11-17	20-58-02.1	20.06	115.96	10	4.7	4.3
35	84-11-18	12-20-57.0	20.35	115.50	10	4.3	---
36	84-11-19	04-30-13.0	18.90	116.90	33	4.6	4.1
37	84-11-19	04-54-49.0	20.10	115.90	10	4.8	---
38	84-11-22	06-41-41.0	20.10	115.60	10	4.4	---
39	84-11-26	01-12-33.1	20.14	115.98	10	5.2	4.5
40	84-11-26	05-07-53.6	20.03	115.88	10	4.6	3.7
41	84-11-26	07-16-07.0	20.00	115.40	33	4.0	4.0
42	84-11-28	03-51-39.0	19.85	115.96	10	4.2	---
43	84-11-28	17-51-05.0	19.60	115.93	10	4.5	---
44	84-11-28	20-19-40.0	19.90	115.80	10	4.1	---
45	84-11-28	22-10-49.0	18.90	116.20	10	3.6	---
46	84-11-28	23-44-31.8	20.08	115.91	10	4.5	---
47	84-11-29	06-02-45.8	20.16	115.75	10	4.7	3.3
48	84-12-02	05-34-13.0	19.66	115.91	10	4.4	---
49	84-12-02	06-09-44.4	20.33	115.79	10	6.0	6.4
50	84-12-02	08-19-56.7	20.01	115.73	20	4.4	---
51	84-12-09	06-52-39.1	20.16	115.91	10	4.8	5.3
52	84-12-10	03-31-56.6	20.09	116.05	10	5.0	4.4
53	84-12-13	18-23-30.6	20.15	115.70	10	4.3	3.3
54	85-01-23	20-36-29.0	21.10	115.40	10	---	---
55	85-01-25	06-21-44.0	19.80	115.81	10	4.5	---
56	85-03-04	19-33-39.0	19.30	115.60	10	3.7	---
57	85-07-14	21-43-28.0	20.40	115.50	10	4.0	3.3
58	86-04-13	09-56-58.0	19.70	116.0	10	4.3	4.1
59	86-05-28	13-33-44.0	19.91	115.90	10	5.5	5.0
60	45-06-30	05-31-16.0	16.50	116.00	--	--	6.75
61	73-05-07	16-27-13.1	16.65	116.12	33	4.7	4.5
62	78-08-27	01-10-41.0	15.28	112.90	134	4.9	5.1

Lista de temblores asociados a la secuencia sísmica de la zona de fracturas de Clarión ocurrida del 15 de septiembre de 1984 al 28 de mayo de 1986. Los eventos No. 60 al 62 son más antiguos y no se asocian a la secuencia. Los parámetros fueron tomados de los boletines del ISC.

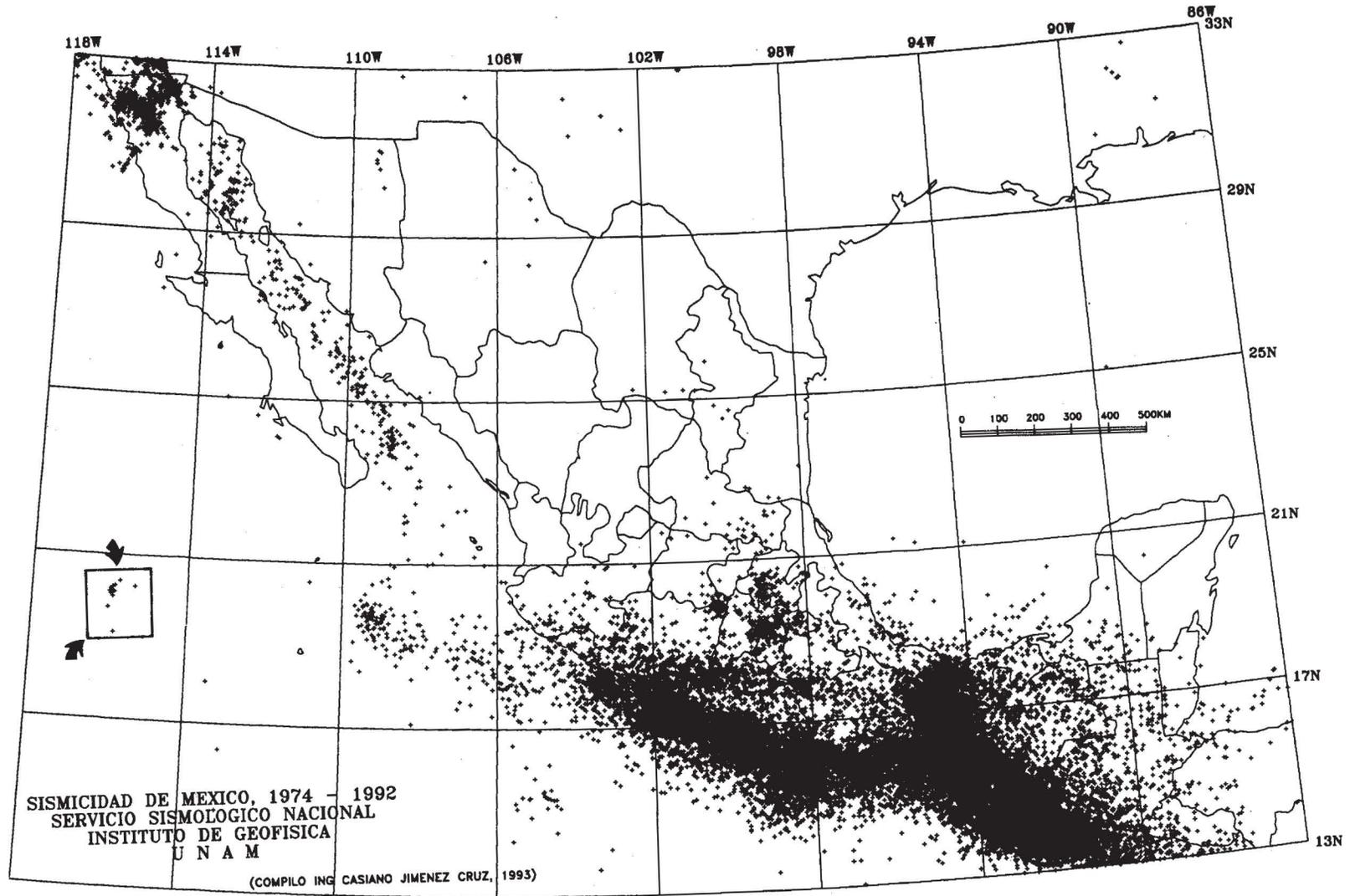


Fig. 2. Mapa generalizado de la sismicidad de México 1974-1989. El cuadro muestra la zona de interés.

resultado. Independientemente, Weins y Okal (1987) deducen una profundidad focal de 14km a partir del análisis de la forma de onda del evento principal. Como la precisión de las localizaciones varía de evento a evento, es difícil establecer en términos generales el grado de incertidumbre de las localizaciones epicentrales de los eventos analizados en el presente trabajo. Siguiendo la conclusión de Lilwall (1982), la precisión podría ser del orden de 30 km que es suficiente en comparación con el conocimiento de la posición de los otros rasgos morfológicos mencionados en la discusión. De cualquier manera, la incertidumbre en las localizaciones no afecta de una manera substancial las conclusiones del presente trabajo.

Los eventos de la Tabla 1 están graficados en la Figura 3. La mayor parte de los temblores de la región para el período 1978-1989 se localizan 260 km al NNW de la isla Clarión en el extremo de la zona de fracturas de Clarión. Los eventos de la secuencia de 1984-86 forman un grupo bien diferenciado. Estos son los únicos eventos localizados en la zona.

La Figura 3 indica que estos eventos forman una secuencia, esto es, la actividad sísmica presenta un evento principal (No. 49 en Tabla 1) bien definido ( $M_s \sim 6.4$ ). La secuencia presenta una notable preponderancia de actividad previa a la ocurrencia del evento principal, seguida de réplicas cuyo número decae rápidamente. La distribución espacial de los epicentros de la secuencia muestra una tendencia con rumbo  $N35^\circ E$ ; la mayor parte de ellos está esparcida en una zona de forma elíptica de 280 km x 90 km aproximadamente, con el evento mayor sobre el extremo noreste. La zona de actividad para los eventos de  $m_b > 5$ , que son los mejor localizados, se reduce a 55km x 25km y probablemente es más representativa de la zona epicentral. La tendencia de la actividad es oblicua a la de la zona de fracturas de Clarión a la altura del meridiano  $116^\circ W$  que es de  $N80^\circ E$ , prácticamente E-W. Cabe mencionar que la mayor actividad no se localiza sobre las trazas principales de la zona de fracturas sino ligeramente ( $\sim 75$  km) al norte. Sin embargo, dada la incertidumbre de las localizaciones esto podría ser solo aparente.

#### SOLUCION DE MECANISMOS DE FALLA

La Figura 4 muestra la solución del mecanismo de falla del evento principal de la secuencia. Los datos de polaridades fueron obtenidos del boletín del ISC y graficados sobre el hemisferio focal inferior. Pese a algunas inconsistencias, la solución está razonablemente bien ceñida. Las inconsistencias son debidas básicamente al inicio poco impulsivo, característico de los temblores muy superficiales.

La solución representa un fallamiento de tipo normal con una pequeña componente lateral. Los posibles planos de falla son: uno orientado prácticamente E-W ( $N80^\circ W$ ) buzando  $48^\circ$  hacia el norte con una pequeña componente lateral izquierda, el otro es un plano orientado  $N40^\circ E$  buzando  $61^\circ$  hacia el SE con una componente lateral derecha. Los ejes máximos de tensión están orientados aproximadamente  $N22^\circ W$  y son prácticamente horizontales. Weins y

Okal (1987) obtienen una solución similar para este evento.

Utilizando el resto de la información mostrada en la Figura 5 podemos deducir cuál de los dos planos es más probable que sea el plano de falla. Obsérvese que el plano nodal orientado  $N40^\circ E$  tiene aproximadamente el mismo rumbo que la tendencia de la distribución de la actividad sísmica de la secuencia. Si el plano  $N40^\circ E$  es el plano de falla, la solución indica una componente lateral derecha. En la misma figura se muestra la anomalía magnética 5E, la más cercana a la zona epicentral, observada por Klitgord y Mammerickx (1982). Esta anomalía presenta un desplazamiento lateral derecho que vendría a apoyar aún más la suposición de que el plano nodal  $N40^\circ E$  es el plano de falla. Adicionalmente, es congruente con las observaciones de desplazamientos lateral derecho en las islas Socorro y Clarión reportadas por Bryan (1966).

Los otros eventos menores presentan la misma distribución de compresiones y dilataciones, sugiriendo que tienen un mecanismo de falla muy similar. Por su menor magnitud, las soluciones son más pobres. Las soluciones de todos los eventos susceptibles de análisis se presentan en la Tabla 2 y sus diagramas se muestran en la Figura 5; casi todos los eventos son congruentes con un fallamiento de tipo normal con una pequeña componente lateral y con aproximadamente la misma disposición de planos nodales que el evento principal. El Evento No. 7 muestra un fallamiento normal puro. En promedio el eje de máxima tensión (T) resulta orientado  $N29^\circ W$  con una inclinación de  $9^\circ$  aproximadamente. Weins y Okal (1987) reportan soluciones similares para los eventos 11 y 59.

#### DISCUSION

En la Figura 5 se observa que la actividad sísmica aparentemente no ocurre sobre las trazas de las fracturas principales; en particular, no coincide con las de Clarión. Muestra una tendencia oblicua (NE-SW) a las fracturas y paralela a la dirección del extinto centro de dispersión del Matemático, que a su vez es la misma de la cordillera del Pacífico oriental al norte de la zona de fracturas de Rivera. Las soluciones de los mecanismos de falla de los eventos estudiados por otro lado, indican sin lugar a duda fallamiento normal. Este tipo de solución es observado con mayor frecuencia en zonas de dispersión de las crestas oceánicas (Sykes, 1967).

Así, la sismicidad observada no parece asociarse a movimientos en la zona de fracturas. Más bien sugiere la probable existencia de una zona de tensión o *rift*, cuya orientación es paralela a la extinta zona de dispersión del Matemático, con el eje de tensión dirigida en promedio  $N29^\circ W$  tal como se muestra con las flechas en la Figura 5.

¿Por qué el supuesto *rift* no se ha detectado en los estudios batimétricos que se han hecho en la zona? En realidad, la mayor parte de la investigación de detalle del fondo oceánico se ha concentrado en Este de las montañas submarinas del Matemático, y consecuentemente el *rift* pudo haber pasado inadvertido. Podría ser también que la exis-

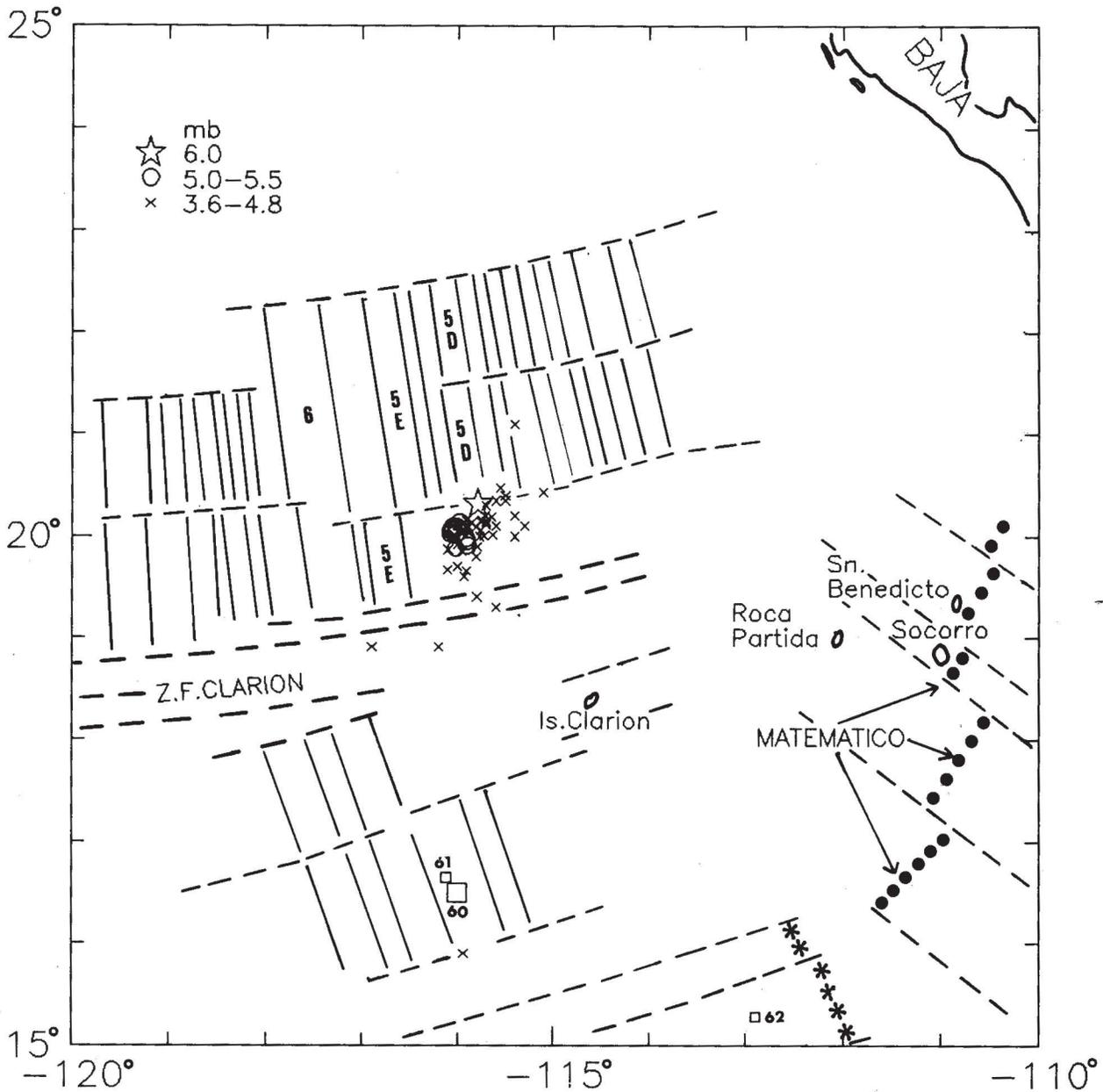


Fig. 3. Mapa de epicentros de la secuencia sísmica de 1984-1986. Los epicentros están diferenciados por su magnitud. El evento principal (No. 49 en la Tabla 1) se muestra con una estrella. Los cuadros representan eventos más antiguos y los números 60 y 61 se refieren a la Tabla 1. El mapa base y las anomalías magnéticas fueron tomadas de Klitgord y Mammerickx (1982).

tencia del supuesto *rift* sea muy reciente y consecuentemente no tenga todavía una expresión batimétrica clara. Por otra parte, es también posible que la actividad sísmica sea una manifestación postrímera de una antigua zona de tensión.

Otras explicaciones son también plausibles. Por ejemplo, la actividad sísmica de 1984-86 podría ser el resultado de un ajuste de tensiones regionales sin mayores implicaciones tectónicas, o el resultado de un fenómeno esporádico como la actividad volcánica. Esto último es poco probable toda vez que los fenómenos volcánicos en el fondo oceánico generalmente llevan asociado un tipo de activi-

dad sísmica de enjambre, esto es, actividad sísmica más o menos homogénea sin un evento que sobresalga por su magnitud. La secuencia de 1984-86 por otro lado, muestra un claro evento principal. Adicionalmente, el valor de *b* asociado a enjambres de origen volcánico presentan valores altos (>1.5), en tanto que el valor de *b* calculado para la presente secuencia es de 1.05 (Weins y Okal, 1987).

### CONCLUSIONES

Zonas nuevas de *rifting* se observan en muchas localidades continentales y han sido comentadas ampliamente en la literatura (ver Morgan and Baker, 1983); menos frecuen-

Tabla 2

No	Plano A			Plano B			Eje P		Eje T	
	$\Phi$	$\delta$	$\lambda$	$\Phi$	$\delta$	$\lambda$	Az	Plg	Az	Plg
6	37.5	46	-124	263	54	-59	231	65	330	4
11	37.	58	-130	277	51	-42	252	55	154	5
39	34.5	64	-122	269	40	-43	259	58	146	14
49	40.	61	-130	280	48	-41	257	55	158	9
52	38.5	62	-92	223	28	-86	304	73	130	17
59	56.	57	-124	288	46	-49	271	61	170	6

Soluciones de los mecanismos de falla para los 6 eventos analizados. Los números corresponden a la Tabla 1.  $\phi$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$  corresponden al rumbo, echado y deslizamiento en grados del plano nodal respectivamente. El acimut (Az) e inclinación (Plg) en grados de los ejes de tensión y compresión también se indican.

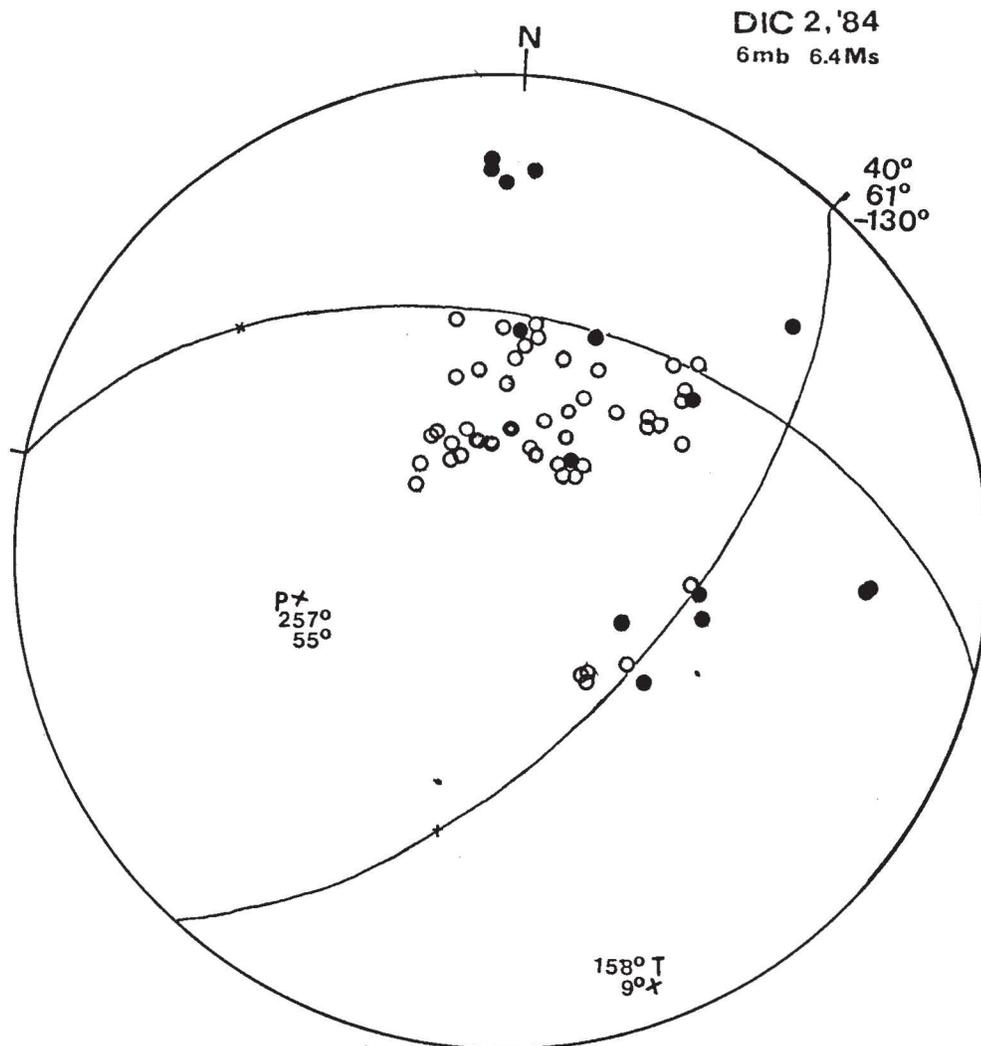


Fig. 4. Solución de mecanismo de falla para el evento principal de diciembre 2, 1984, obtenida a partir de la polaridad de los primeros arribos. Proyección: esfera focal inferior, círculos negros compresiones.

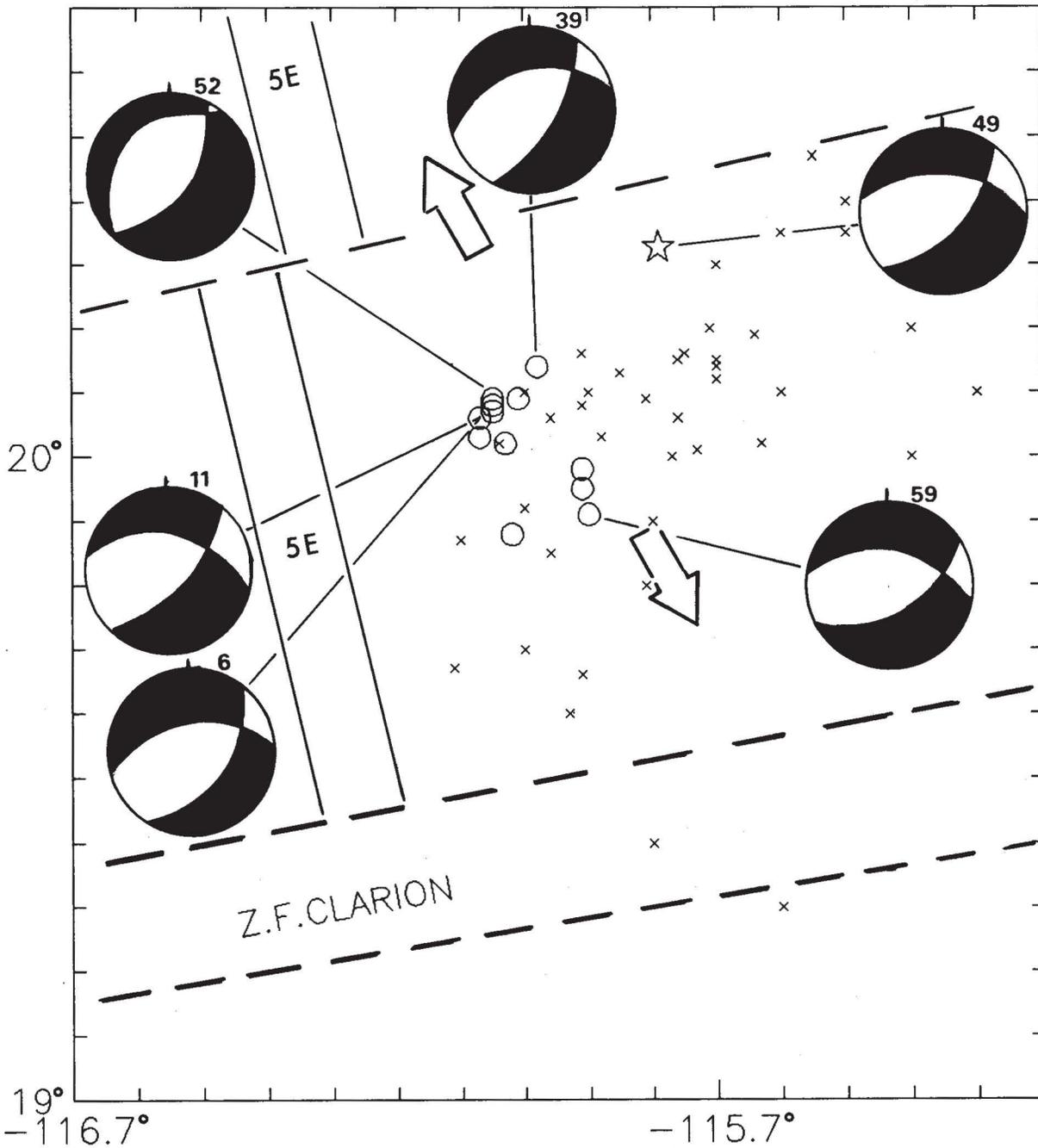


Fig. 5. Amplificación de una porción de la figura 3, las flechas muestran la dirección promedio de los ejes de tensión. Los diagramas de los mecanismos de falla para los eventos analizados también se muestran; sectores oscuros representan compresiones.

tes son los casos reportados en los fondos oceánicos antiguos. De acuerdo con Mammerickx and Sandwell (1986), la cresta oceánica de Sala y Gómez que se extiende de la Isla de Pascua a la trinchera de Chile-Perú es el único caso reportado recientemente en donde se observa un proceso de iniciación de *rifting*, aunque como ellos lo mencionan no ha mostrado actividad sísmica reciente. La región de Isla Clarión muestra todas las características sísmicas que sugieren la existencia de una incipiente zona de *rift*, convirtiéndose así en una zona de mucho interés geofísico. La presencia de una zona de *rift* tiene implicaciones tectónicas importantes, toda vez que éste fenómeno da lugar a una

gran variedad de procesos geológicos, tales como la formación de nuevos segmentos de dispersión que perturbarían el equilibrio del sistema zonas de dispersión oceánica-borde continental, alterando eventualmente el proceso de subducción y consecuentemente los patrones actuales de la sísmicidad de México.

Finalmente, en un artículo reciente, Luhr *et al.*, (1985) sugieren, basado en evidencias geológicas, la existencia de *rifting* activo en el suroeste de México, que supone es el preámbulo de un desplazamiento hacia el Este de una porción de la cordillera del Pacífico oriental, ocasionando la

anexión de la Placa de Rivera a la Norteamericana. Aunque esta interpretación ha sido cuestionada a la luz de nuevas evidencias (Nieto-Obregón *et al.*, 1992; Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 1992), estos resultados y los del presente trabajo indican la complejidad de la región y señalan la necesidad de estudios multidisciplinarios de detalle para estar en posibilidad de entender la mecánica de esta zona de deformación tectónica.

#### AGRADECIMIENTOS

El autor agradece las valiosas aportaciones de los árbitros para el mejoramiento del presente trabajo y a V. H. Espíndola y C. Jiménez por su colaboración en la preparación de las ilustraciones.

#### BIBLIOGRAFIA

- BRYAN, W. B., 1966. History and mechanism of eruption of Soda-rhyolite and Alkali Basalt, Socorro Island, Mexico. *Bull. Volcanol.*, 29, 453-480.
- GUTENBERG, B. and C. F. RICHTER, 1954. Seismicity of the Earth. Princeton Univ. Press. pp. 310. Princeton, New Jersey.
- KLITGORD, K. D. and J. MAMMERICKX, 1982. Northern East Pacific rise: Magnetic anomaly and bathymetric framework. *J. Geophys. Res.*, 87, 625-675.
- LILWALL, R. C., 1982. Seismicity of the Oceanic Rifts. In: Continental and Oceanic Rifts. Palmason, G. (Editor). Geodynamic Series. V. 8, 63-80, AGU, Washington, D.C. p. 63-80.
- LUHR, J. F., S. A. NELSON, J. F. ALLAN and I. S. E. CARMICHAEL, 1985. Active rifting in southwestern Mexico: Manifestations of an incipient eastward spreading-ridge jump. *Geology*, 13, 54-57.
- MAMMERICKX, J. and D. SANDWELL, 1986. Rifting of Old Oceanic Lithosphere. *J. Geophys. Res.*, 91, B2, 1975-1988.
- MAMMERICKX, J., D. F. NEAR and R. L. TYCE., 1988. The Mathematician Paleoplate. *J. Geophys. Res.*, 93, B4, 3025-3040.
- MENARD, H. W., 1966. Fracture zones and offsets of the East Pacific Rise. *J. Geophys. Res.*, 71, 682-685.
- MORGAN, P. and B. H. BAKER (ed), 1983. Processes of Continental Rifting. *Tectonophysics*, 94, pp.680, Special Issue.
- NIETO-OBREGON, J., J. URRUTIA-FUCUGAUCHI, E. CABRAL-CANO and A. GUZMAN DE LA CAMPA, 1992. Liric Faulting and Continental Rifting in Western Mexico. A Paleomagnetic and Structural Study. *Tectonophysics*, 208,365-376.
- RICHARDS, A. F., 1959. Geology of the Islas Revillagigedo, Mexico, 1. Birth and Development of Volcán Bárcena, Islas San Benedicto, *Bull. Volcanologique, Serie 2*, 22, 73-123.
- SCLATER, J. G., R. N. ANDERSON and M. L. BELL, 1971. Elevation of Ridges and evolution of the Central Eastern Pacific, *J. Geophys. Res.*, 76, 7888-78-915.
- SYKES, L. R., (1967). Mechanism of Earthquakes and Nature of Faulting on the Mid-Oceanic Ridges. *J. Geophys. Res.*, 72, 2131-2153.
- URRUTIA-FUCUGAUCHI, J. and R. S. MOLINAGARZA, 1992. Gravity Modelling of Regional Crustal and Upper Mantle Structure of the Guerrero Terrane-1. Colima Graben and Southern Sierra Madre Occidental, Western Mexico. *Geofis. Int.*, 31, 443-466.
- WIENS, D. A. and E. A. OKAL, 1987. Tensional Intraplate seismicity in the Eastcentral Pacific. *Phys. of the Earth Planet. Interiors*, 49, 264-282
- WYSESSION, M. E., E. A. OKAL and K. L. MILLER, 1991. Interplate Seismicity of the Pacific Basin, 1913-1988. *PAGEOPH*, 135, 261-359.

---

Jaime Yamamoto  
 Instituto de Geofísica, UNAM  
 Delegación Coyoacán  
 04510 México, D.F., México.