

## **BOSQUEJO SISMOTECTONICO DEL SUR DE MEXICO**

**R. MOTA PALOMINO\***

**J. ANDRIEUX\*\***

**J. BONNIN\*\*\***

### **RESUMEN**

La zona sísmica del sur de México se puede dividir en cuatro regiones de características diferentes, aun cuando la actividad se considera como el resultado de la interacción de las placas Pacífico, Norteamericana, Cocos, Caribe y Rivera.

En este trabajo se consignan algunas de esas diferencias. La región mejor diferenciada es la correspondiente al Istmo de Tehuantepec y Costa de Chiapas. Para las otras regiones: la de Oaxaca, Guerrero-Michoacán y Jalisco-Colima, se indican las particularidades que resultan de la sismicidad y de algunos mecanismos focales.

La zona Istmo de Tehuantepec-Chiapas parece ser la transición entre una parte de la zona de subducción normal (Centroamérica) y una zona con anomalías (Oaxaca) comparables a la región de Perú central en Sudamérica. La zona de Guerrero-Michoacán presenta algunas complicaciones que se pueden atribuir a la proximidad del punto de intersección entre la cordillera del Pacífico Oriental con la Trinchera de Acapulco y la zona de falla de Rivera. La zona Jalisco-Colima presenta una marcada reducción en la frecuencia de ocurrencia de la actividad sísmica.

### **ABSTRACT**

The seismic zone of southern Mexico can be divided in four regions of different characteristics even though the seismic activity as a whole is considered as a result of the interaction among the Pacific, Northamerica, Cocos, Caribbean and Rivera plates.

In this paper some of the differences are shown. The Isthmus of Tehuantepec and the coast of Chiapas are the best differentiated regions. For the remaining regions: Oaxaca, Guerrero-Michoacán and Jalisco-Colima some peculiarities resulting from the analysis of seismicity and some focal mechanisms solutions are shown.

\* *Instituto de Geofísica, UNAM, Delegación Coyoacán 04510, México, D. F., MEXICO.*

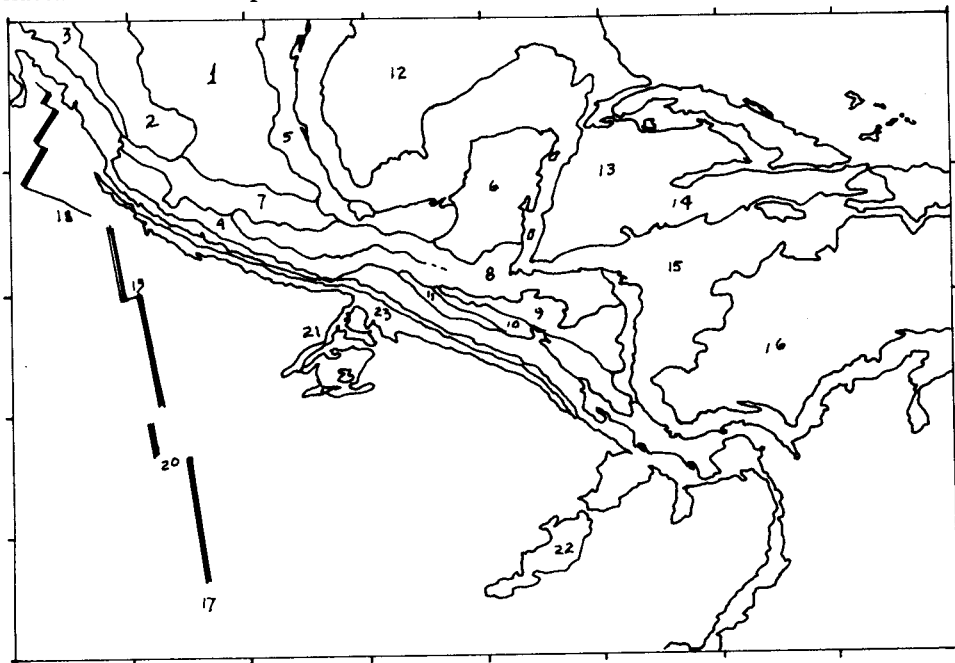
\*\* *Dept. Sciences de la Terre. Université de Paris VII. 2, Place Jussieu 75221 Cedex 05, Paris, FRANCE.*

\*\*\* *Institut de Physique du Globe, Université Louis Pasteur, 5, Rue René Descartes, 67084 Strasbourg Cedex, FRANCE.*

Thus, the Isthmus of Tehuantepec-Chiapas region seems to be a transition between a zone of normal subduction (Central America) and an anomalous one (Oaxaca) which is comparable to the central part of Peru in South America. The Guerrero-Michoacán region shows some complications that can be attributed to the proximity of the interception of the East Pacific Ridge, the Acapulco trench and the Rivera fault. The Jalisco-Colima region shows a marked reduction in the frequency of occurrence of seismic activity.

### INTRODUCCION

En este trabajo se pretende dar a conocer los resultados de algunos trabajos realizados hasta el momento para conocer los procesos que afectan la región costera del



- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 1 Sierra Madre Oriental                | 14 Trincheras de Caimán             |
| 2 Sierra Madre Occidental              | 15 Elevación de Nicaragua           |
| 3 Cuenca de Sonora                     | 16 Cuenca Colombiana                |
| 4 Sierra Madre del Sur                 | 17 Cordillera del Pacífico Oriental |
| 5 Planicie Costera del Golfo           | 18 Zona de Falla de Rivera          |
| 6 Península de Yucatán                 | 19 Zona de Falla de Orozco          |
| 7 Eje Volcánico Transmexicano          | 20 Zona de Falla de Siqueiros       |
| 8 Sierras del Norte de América Central | 21 Cordillera de Tehuantepec        |
| 9 Cadenas Volcánicas y Planicies       | 22 Cordillera de Cocos              |
| 10 Cadenas Volcánicas del Pacífico     | 23 Trincheras de América Central    |
| 11 Planicie Costera del Pacífico       |                                     |
| 12 Golfo de México                     |                                     |
| 13 Cuenca de Yucatán                   |                                     |

Fig. 1. Carta esquemática que muestra los principales rasgos fisiográficos de las regiones del Caribe, Pacífico Oriental, México y América Central (tomado de Bowin, 1978; Truchan y Larson, 1973; Dengo, 1968).

país y que dan como resultado la ocurrencia de la actividad sísmica asociada a la trinchera de Acapulco y la costa del Pacífico.

Los resultados se presentan en dos partes de acuerdo con la diferencia en frecuencia de ocurrencia de la actividad sísmica: una parte que comprende la región entre los 90°W y los 100°W aproximadamente y otra que va de los 100°W a los 110°W.

La actividad sísmica y tectónica del país se asocia principalmente a la interacción entre las placas del Pacífico, Norteamericana, de Cocos y del Caribe (Molnar y Sykes, 1969, Fig. 1, Mota, 1973).

### MARCO GEOLOGICO

De acuerdo con Karig (1978), las estructuras continentales del Precámbrico al Mesozoico están truncadas y no hay cuenca (forearc) marginal en la región comprendida entre Cabo Corrientes y el límite occidental del Golfo de Tehuantepec.

Tierra adentro, el macizo Guerrero-Oaxaca subyace a rocas post-Paleozoicas (Alvarez, 1949; Guzmán, 1950; de Cserna, 1965; Campa, 1978; Ortega, 1981). Este macizo, que comprende rocas del Precámbrico al Paleozoico, parece haber sufrido varios períodos de metamorfismo. Unas cuantas fajas angostas de rumbo noroeste contienen rocas calcáreas de origen miogeosinclinal y eugeosinclinal del Triásico. Las transgresiones del Jurásico atravesaron el macizo después de algunos levantamientos y fracturamientos en el Triásico.

El Sur de México experimentó orogenias mayores en el Cretácico superior y el Eoceno (Fries, 1960), lo que incluye emplazamiento de secuencias volcánicas, intrusiones y batolitos. La orogenia culminó con el plegamiento del macizo y de la cubierta volcano-sedimentaria. La actividad volcánica a lo largo de la margen continuó durante el Terciario inferior pero parece haberse concentrado a lo largo de la faja volcánica trans-mexicana en tiempos post-oligocénicos (Demant y Robin, 1975).

Además, en la parte oriental de Michoacán, el anticlinal de Tzitzio-Huetamo es la evidencia de una fase tectónica terciaria para el sur de México, que produjo plegamientos de rumbo (Mauvois *et al.*, 1976).

### SISMICIDAD Y MODELOS GEODINAMICOS DE LA REGION

Como antecedente de los estudios de la sismicidad de la región está el de Barazangi y Dorman (1969) que muestra en forma global la distribución de la actividad sísmica basados en los archivos del U.S.G.S., aunque no dan detalles.

También en 1969, Molnar y Sykes trabajaron con un poco de detalle la región América Central y Caribe, llegando a proponer un modelo de la estructura de la región centroamericana, esto es, una zona de Benioff mal definida para la parte mexicana, debido a la falta de información y con la anomalía de que el volcanismo no es paralelo a la costa del Pacífico, a diferencia de la parte centroamericana en que sí lo es y que comienza a partir del volcán Tacaná en la frontera Chiapas-Guatemala.

Fue a partir del estudio de la distribución de la cadena volcánica centroamericana que Stoiber y Carr (1973) propusieron la existencia de una placa segmentada que subduce con ángulo de buzamiento diferente para cada segmento. La diferencia en este ángulo causaría variaciones en el alineamiento de los volcanes paralelamente a la costa y se tendría además una concentración de actividad volcánica y sísmica en los límites entre segmentos de la placa que buza.

Del esquema bosquejado líneas arriba, se justificaría el suponer que en lo que a la parte mexicana se refiere, la placa de Cocos estaría dividida en tres segmentos que marcarían las diferencias en la distribución de la actividad sísmica en la región comprendida entre los  $92^{\circ}\text{W}$  y los  $103^{\circ}\text{W}$ .

Para la zona más al oeste, sería la interacción entre la placa de Rivera y la de Norteamérica la que se reflejaría en la sismicidad.

### OTROS MODELOS GEODINAMICOS: PERU-CHILE

Una región que presenta algunas similitudes con lo que se observa en la costa mexicana del Pacífico es la región Perú-Chile (Mota, 1979). Del trabajo de Stauder (1975), Sykes y Hayes (1971) y de Isacks y Molnar (1971) se propone la existencia de un plano que buza en la parte central y septentrional de Perú con un ángulo de  $10^{\circ}$  a  $15^{\circ}$  solamente, mientras que para la parte sur el ángulo de buzamiento es de aproximadamente  $30^{\circ}$ , con la coincidencia de que la cordillera de Nazca intercepta la trinchera en la zona entre la parte centro y sur de Perú;

Paralelamente Barazangi *et al.* (1975) explican la distribución de la sismicidad en el Perú central, con base en la atenuación de las ondas sísmicas producidas por sismos ocurridos en el manto. Analizando las ondas pP y P registradas en estaciones lejanas, llegan a determinar una zona de alta atenuación bajo el altiplano sudamericano, el límite de esta zona corresponde con la región donde la sismicidad indica un plano buzando a  $30^{\circ}$ , por otro lado la parte que se supone buzando a un ángulo pequeño se caracteriza por ser de poca atenuación.

Por otra parte, Snoke *et al.* (1977) utilizan la onda ScS para definir la zona donde debe convertirse en ScSp y así determinan la posición del plano de Benioff para el Perú central, con un ángulo de  $30^{\circ}$  pero que debe tener una sismicidad muy reducida para profundidades de más de 90 km.

Por su lado Sacks (1977), habla de una litosfera continental del orden de 300 km de espesor, en contacto con el plano buzante, para el Perú central; para el sur de Perú esta litosfera no está en contacto con el plano buzante más que en la parte superior y de esta manera permite el emplazamiento de la astenosfera, que sube hasta los 100 km entre al plano buzante y la litosfera.

Después, James (1978) vuelve a estudiar la sismicidad de la región Perú-Chile y muestra la posibilidad de considerar el plano buzante a  $30^{\circ}$  bajo el Perú central como el más probable, se apoya además en los resultados de análisis de rocas de un complejo alcalino, el que estaría asociado a una zona de Benioff de 300-400 km de profundidad.

Desde el punto de vista de la determinación de las zonas de baja y alta atenuación de las ondas sísmicas (Oliver e Isacks, 1969; Barazangi *et al.*, 1975), la región del Istmo de Tehuantepec y del norte de América Central son consideradas como de poca atenuación.

De lo anterior se pueden hacer algunas observaciones, a saber: comparando la zona Perú-Chile con la zona sur de México, en los dos casos existe una cordillera que llega hasta la fosa (cordillera de Nazca y cordillera de Tehuantepec) y aparentemente una línea normal a la trinchera en ese punto marca la separación entre zonas sísmicas de características diferentes; una diferencia notable entre las dos regiones sería la presencia del eje volcánico transmexicano, el volcanismo está ausente en Perú central.

## SISMICIDAD

Una vista de conjunto de la sismicidad de México al sur del eje volcánico nos la da la figura 2, donde se muestra la actividad durante el período de 1969 a 1973. La fuente de información fue esencialmente la publicada en el boletín trimestral del Servicio Sismológico Nacional, complementada en algunos casos con datos del boletín del International Seismological Center (ISC) y de las tarjetas Preliminary Determination of Epicenters (PDE) del U. S. Coast and Geodetic Survey, para mejorar algunas determinaciones de profundidad; con esto se tuvo una muestra homogénea de datos.

En la misma figura 2 se indican con un punto (.) los epicentros que representan focos de  $h < 60$  km y con una cruz (+) los de  $h > 60$  km.

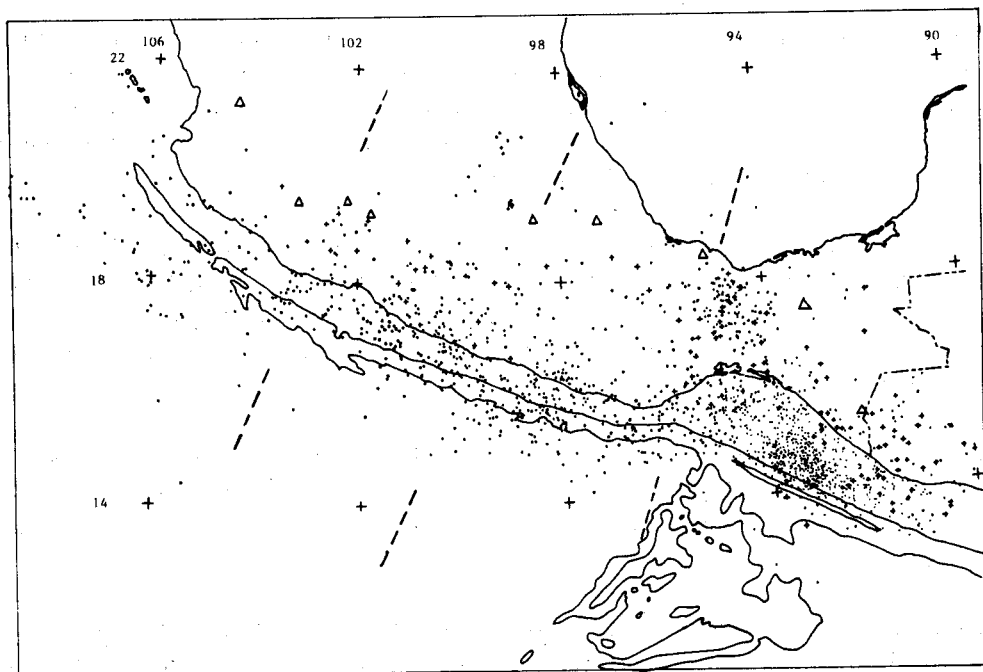


Fig. 2. Actividad sísmica registrada durante el período 1969-1973. Los puntos (.) indican focos de profundidad menor o igual a 60 km, las cruces (+) los focos de profundidad mayor de 60 km. Los triángulos indican la localización aproximada de algunos de los volcanes principales. Nótese la distribución de la sismicidad, es evidente la diferencia entre las cuatro zonas propuestas: Jalisco-Colima, Michoacán-Guerrero, Oaxaca, Istmo de Tehuantepec-Costa de Chiapas. El contorno de la fosa de Acapulco corresponde con la isobata de 4 000 m y frente a Chiapas se incluye la de 5 000 m.

Con relación a la distribución de la actividad se pueden diferenciar, *grosso modo*, cuatro zonas:

- a) La zona Istmo de Tehuantepec-Chiapas, en la que observamos la actividad superficial concentrada entre el eje de la trinchera y la línea costera, además de una fuerte concentración de la actividad en el Istmo de Tehuantepec.
- b) La zona de Oaxaca, que presenta la particularidad de que una parte de la actividad superficial ocurre en la zona oceánica, fuera del eje de la trinchera y los eventos de profundidad mayor de la normal se sitúan en la parte norte de Oaxaca-sur de Veracruz.
- c) Zona Guerrero-Michoacán, en la que observamos que la actividad superficial queda prácticamente limitada por el eje de la Trinchera, en el lado oceánico y los movimientos de profundidad mayor de 60 km están localizados en una zona paralela a la trinchera en el interior del continente.
- d) Zona Colima-Jalisco, la cual se caracteriza por un descenso considerable en la frecuencia de ocurrencia en la actividad sísmica y parece estar limitada al sur-este por una concentración de la actividad de profundidad intermedia en la región de Michoacán.

Hay que hacer notar que algunos de los espacios que se observan con poca actividad en la región limítrofe Colima-Michoacán se ven cubiertos al aumentar el período de información considerado, tal es el caso de la figura 3a, que presenta la actividad en la zona Michoacán-Jalisco para el período 1963-1975.

En esta figura se hace aún más notoria la concentración de la actividad en la zona límite entre Colima y Michoacán.

En la figura 3b se observa que no hay cambio significativo en la definición de las características de cada zona al aumentar el período de sismicidad considerado.

Algunas de las características de las cuatro zonas mencionadas anteriormente se discutirán más adelante.

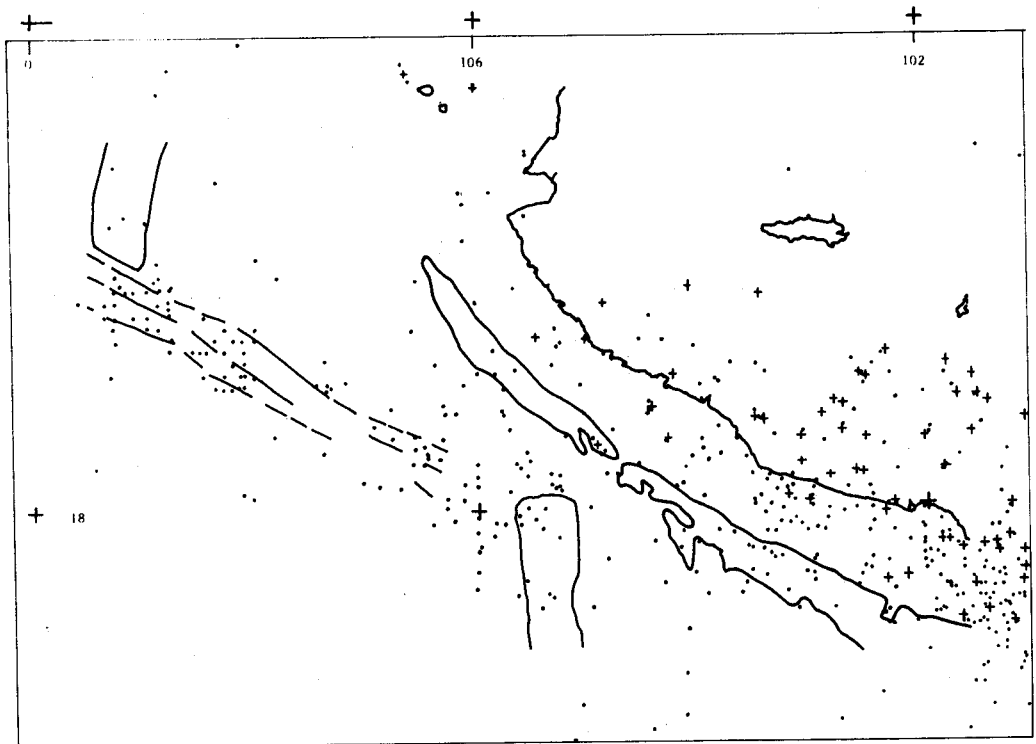


Figura 3 a.

- Fig. 3. a) Zona Jalisco-Colima, donde se indica la posición de la Cordillera del Pacífico Oriental, la zona de falla de Rivera y la fosa de Acapulco con el fin de hacer notar su relación con la sismicidad. Para resaltar la sismicidad se incluyen los epicentros del período 1963-1975.
- b) Zonas Michoacán-Guerrero, Oaxaca e Istmo de Tehuantepec, donde se han incluido los epicentros correspondientes a los años 1974 y 1975; se puede observar que no mejora de manera significativa la diferenciación entre las zonas. Misma simbología que en la figura 2.



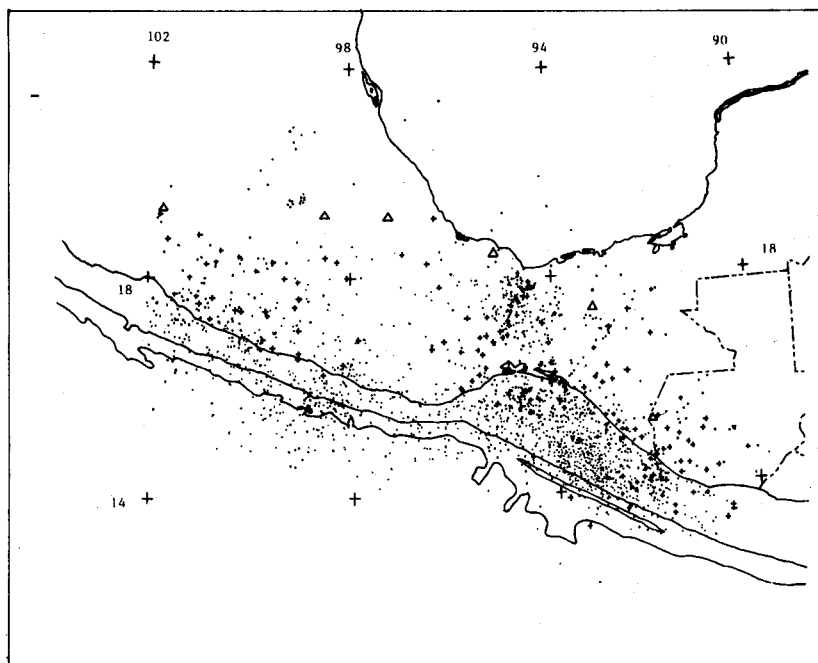


Figura 3 b.

### MECANISMOS FOCALES

Basados en la sismicidad, definimos de manera aproximada la extensión de las zonas que presentan actualmente deformación de fractura.

Molnar y Sykes (1969) propusieron un modelo tectónico de la región meridional de México, con el cual después Mota (1973), mediante el estudio de una serie de sismos que comenzó el 29 de abril de 1970 y la determinación del mecanismo focal de 5 eventos de la serie, confirmó en parte el modelo para la costa de Chiapas.

Por su parte, Dean y Drake (1978), con la determinación de 67 mecanismos focales de sismos localizados a lo largo de la costa del Pacífico de México y Centroamérica, confirmaron el modelo tectónico de una zona de Benioff para la región; de la solución del mecanismo focal de 14 sismos intentan confirmar el movimiento entre límites de segmentos, tal como lo propusieron Stoiber y Carr (1973).

Anteriormente, Wickens y Hodgson (1967) hicieron algunas determinaciones de mecanismo focal de sismos de la región, pero sin dar interpretación. Jiménez (1978) determinó la solución del mecanismo focal para 6 eventos localizados en la zona norte de Oaxaca y sur de la costa de Veracruz; tampoco da interpretación.

Con la finalidad de tener una idea más detallada para el estudio de la tectónica de la región del Istmo de Tehuantepec y la costa del Pacífico, se trató de determinar el mayor número posible de soluciones focales para eventos localizados entre  $87^{\circ}$  y  $101^{\circ}\text{W}$  y  $14^{\circ}$  y  $20^{\circ}\text{N}$ ; se obtuvieron resultados para 138 movimientos comprendidos en el rango de magnitud entre 4.3 y 6.3 escala de Richter, para el mismo período que el considerado para la sismicidad.

Como fuente de información se usaron los boletines del ISC, para tener datos de estaciones lejanas y para las estaciones cercanas se relevaron los sismogramas de la red del Servicio Sismológico Nacional; con esto se tuvo información de estaciones situadas entre poco menos de  $2^{\circ}$  y  $8^{\circ}$  de distancia de los epicentros considerados.

Para el análisis se siguió el método de primeros impulsos de las ondas P y PKP, tal como lo describen Stauder (1962) o Khattri (1973). Se hizo la proyección en el hemisferio inferior usando la red de Schmidt.

Los resultados de este análisis se presentan en la figura 4 y una lista de ellos en la Tabla 1. La primera columna indica el número de referencia en la figura 4; las siguientes, fecha, localización epicentral, profundidad de foco y magnitud en escala de Richter; las columnas A y B, los planos nodales con azimut y ángulo de buzamiento; por último, azimut y ángulo de buzamiento para los ejes de tensión, compresión y nulo, respectivamente.

La numeración de la Tabla 1 se hizo por orden cronológico; sin embargo, para el análisis se consideraron los eventos del Oeste hacia el Este. Para visualizar un poco mejor la diferenciación por zonas, tal como se hizo en función de la sismicidad, se presenta una serie de cortes verticales perpendiculares al eje de la trinchera (figura 5), en ella se muestra proyectada la semiesfera noroeste de la solución del mecanismo focal.

En general, se puede ver que la distribución de los mecanismos indica la existencia de una zona de subducción "normal", de acuerdo con lo descrito por Isacks *et al.* (1968) e Isacks y Molnar (1971), aun cuando sobresalen algunas diferencias entre las regiones.

Tabla 1. Solución de mecanismos focales obtenidos para este estudio.

Nº	Fecha	Hora Origen	Lat (N)	Long. (W)	Prof. h	M	Plano Nodal		Plano Nodal		Eje de Tensión		Eje de Compresión		Eje Nulo	
							Az	Buz.	Az	Buz.	Az	Buz.	Az	Buz.	Az	Buz.
1	29.04.70	112239.6	14.61	93.16	41	5.8	126°	12°	306°	78°	36°	57°	216°	33°	126°	0°
2	29	140117.5	14.10	93.16	33	5.6	126°	12°	306°	78°	36°	57°	216°	33°	126°	0°
3	29	192954.5	14.65	93.80	29	5.2	125°	0°	122°	90°	35°	45°	215°	45°	122°	0°
4	29	212021.9	14.16	93.75	35	4.7	125°	0°	125°	90°	35°	45°	215°	45°	125°	0°
5	30	054623.4	14.45	93.33	33	5.0	135°	0°	135°	90°	45°	45°	225°	45°	135°	0°
6	30	083258.0	14.04	93.31	19	5.6	123°	6°	303°	86°	33°	49°	213°	41°	123°	0°
7	30	125142.6	14.75	93.71	24	5.5	165°	10°	322°	80°	52°	55°	232°	35°	162°	0°
8	30	132100.9	14.00	93.68	22	5.7	138°	10°	318°	80°	48°	55°	228°	35°	138°	0°
9	01.05	040809.3	14.66	93.91	35	5.1	113°	26°	292°	66°	29°	69°	202°	21°	112°	0°
10	01	082304.8	14.86	93.86	49	5.3	128°	5°	309°	88°	36°	47°	219°	43°	128°	0°
11	01	200226.8	14.46	93.86	33	5.4	126°	2°	308°	88°	36°	47°	219°	43°	126°	0°
12	02	020659.3	14.75	93.95	33	5.4	126°	6°	308°	84°	36°	51°	216°	39°	126°	0°
13	02	051545.0	14.30	93.95	45	5.3	123°	61°	123°	90°	33°	45°	213°	45°	123°	0°
14	05	182226.2	17.90	95.70	94	4.6	132°	61°	326.5°	30°	47°	15°	202°	72°	314°	6°
15	15	094451.5	14.80	93.43	33	5.3	123°	0°	303°	90°	33°	45°	213°	45°	123°	0°
16	23	161642.8	14.83	92.97	109	5.3	120°	62°	337°	33°	44°	15°	170°	67.5°	310°	18°
17	09.12.	080240.1	16.09	99.59	33	4.8	99°	71°	279°	19°	189°	64°	9°	26°	99°	0°
18	15	075450.5	14.16	93.21	33	5.3	127°	0°	127°	90°	37°	45°	217°	45°	127°	0°
19	15	103300.2	14.25	93.20	5.2	104°	22°	104°	22°	110°	58°	213°	24°	307°	19°	
20	15	105319.5	14.50	93.10	33	4.8	110°	90°	200°	10°	209°	44°	10°	44°	110°	10°
21	21	152341.0	16.00	93.90	100	5.8	150°	84.5°	302°	6°	58°	39°	242°	50°	149.5°	1.5°
22	24	080033.4	15.55	93.83	100	5.1	134°	80°	314°	10°	44°	35°	224°	55°	134°	0°
23	25	161719.4	17.28	95.24	117	5.1	80°	60°	324°	54°	21°	3.5°	115.5°	51°	287°	40°
24	03.02.71	144836.5	14.05	91.88	50	4.8	108.5°	66°	288.5°	24°	198.5°	69°	18.5°	21°	108.5°	0°
25	14	033659	13.4	93.0	33	5.4	133°	71°	313°	19°	43°	26°	223°	64°	133°	0°
26	17	120917	16.4	97.8	33	4.5	152°	0°	152°	90°	62°	45°	242°	45°	152°	0°
27	17	220201.4	16.11	96.0	32	4.6	138°	50°	318°	40°	228°	85°	48°	5°	138°	0°
28	18	092017.8	14.25	92.39	70	4.8	122°	0°	122°	90°	33°	45°	212°	45°	122°	0°
29	19	062757.6	14.11	91.71	63	5.0	107.5°	5°	309°	66.5°	55°	67°	212°	20°	306°	7°
30	19	165942.4	13.73	88.86	183	5.2	99°	0°	99°	90°	9°	189°	45°	99°	0°	
31	20	122457.5	14.33	93.51	34	5.0	124.5°	0°	124.5°	90°	34.5°	45°	214.5°	45°	124.5°	0°
32	19	004807.0	17.36	99.63	77	5.3	118.5°	56°	298.5°	34°	28.5°	11°	208.5°	79°	118.5°	0°
33	19	061230.8	16.90	95.25	81	5.5	137.5°	34°	286°	60°	208.5°	13.5°	339°	69°	114°	15°
34	24	161826.8	14.0	92.5	45	5.0	126.5°	0°	126.5°	90°	36.5°	45°	216.5°	45°	126.5°	0°
35	28	162143.0	16.00	98.70	33	4.7	124°	0°	124°	90°	34°	45°	214°	45°	124°	0°
36	14.04	030910.2	14.16	90.16	132	4.8	118°	10°	289°	80°	27°	54.5°	207°	34.5°	298°	0°
37	19	030747.8	13.85	90.71	85	4.9	139°	53°	334°	38°	187°	80°	35°	6°	324°	7°
38	01.05.71	143213.3	13.27	88.51	97	5.4	24°	0°	24°	90°	294°	45°	114°	45°	24°	0°
39	03	080947.8	16.42	93.91	128	4.5	142°	25°	283°	70°	349°	61.5°	204°	24°	108.5°	14°
40	07	223150	15.38	94.55	60	4.7	109.5°	0°	109.5°	90°	19.5°	45°	199.5°	45°	109.5°	0°
41	08	055538.3	15.74	96.61	45	4.7	152°	40°	265°	75°	307°	47.5°	199°	20°	5°	36°
42	14	164054.4	16.30	93.97	96	4.8	54°	30°	306°	80°	66°	47.5°	193°	28°	300°	28°
43	19	131543.4	14.44	91.96	79	4.7	128°	0°	128°	90°	38°	45°	218°	45°	128°	0°
44	23	082339.1	16.04	92.8	126	4.7	131°	0°	131°	90°	41°	45°	221°	45°	131°	0°
45	24	144626.5	16.34	95.48	65	4.2	130°	90°	220°	30°	267°	38°	11°	38°	130°	30°
46	25	221113	14.08	92.14	42	4.8	123°	0°	123°	90°	213°	45°	33°	45°	123°	0°
47	28	030905.2	13.16	89.97	87	4.2	104°	78°	308°	13°	17°	32°	185.5°	36°	286°	4°
48	28	141208.3	14.74	91.46	122	5.3	106°	86°	306°	30°	41°	32°	165°	45°	106°	86°
49	28.06.	0254608.3	14.49	91.74	98	5.0	166°	88°	346°	88°	77°	37°	239°	33°	166°	0°
50	07.07	2140298.7	16.87	96.06	60	5.0	114°	75°	294°	18°	24°	27°	204°	63°	114°	0°
51	16	055902.4	13.30	92.41	228	5.3	124°	78°	244.5°	26°	236.5°	53.5°	17.5°	30.5°	120°	20°
52	12.08	055902.4	13.30	92.41	228	4.6	112°	0°	112°	90°	22°	45°	202°	45°	112°	0°
53	20	213606.4	13.30	92.41	228	5.8	114°	50°	294°	40°	204°	85°	24°	5°	114°	0°
54	22	110189.0	13.77	91.39	68	4.7	134°	40°	320°	51°	4°	45°	227.5°	5.5°	146°	6.5°
55	05.09.	091315.1	17.10	99.89	42	5.1	98°	0°	98°	90°	8°	81°	188°	45°	98°	0°
56	08	093847.9	13.97	92.56	54	5.1	106.5°	80°	268.5°	10°	16.5°	35°	196.5°	55°	106.5°	0°
57	16	171154.3	13.49	90.06	79	4.7	120°	30°	300°	60°	30°	75°	210°	15°	120°	0°

(Cont.) Tabla 1.

Nº	Fecha	Hora Origen	Lat (N)	Long. (W)	Prof. h	M	Plano Nodal		Plano Nodal		Eje de Tensión		Eje de Compresión		Eje Nulo	
							Az	Buz.	Az	Buz.	Az	Buz.	Az	Buz.	Az	Buz.
58	21	075416	16.76	98.60	39	4.7	102°	20°	282°	80°	12°	65°	192°	23°	102°	0°
59	22	141419	14.97	91.76	22	5.2	103°	76°	268°	15°	172°	58.5°	01°	31°	102°	3°
60	03.10.	170107.2	17.96	94.32	48	5.0	95°	16°	307°	80°	44°	45°	211°	34°	306°	6°
61	10	132140.3	17.06	99.42	49	5.0	116°	50°	116°	90°	26°	45°	206°	45°	116°	0°
62	12	094458.1	15.86	91.16	36	5.3	82°	50°	303°	60°	106°	54°	204°	5°	299°	35.5°
63	63	021828.0	16.87	95.84°	33	4.3	101°	0°	101°	90°	11°	45°	191°	45°	101°	0°
64	18	164050.5	15.85	91.24	36	4.4	43.5°	20°	232°	75°	304°	58°	209°	28.5°	55°	12°
65	65	174901.6	15.89	91.30	20	4.5	93.5°	15°	133.5°	90°	57°	43°	209°	43°	313°	15°
66	22	014926.4	18.30	99.67	85	5.6	146°	60°	326°	30°	56°	15°	236°	75°	146°	0°
67	31	051557.2	15.44	93.93	85	4.6	23.5°	30°	113.5°	90°	50°	71°	177°	37.5°	293.5°	30°
68	07.11.	002652.5	13.61	91.80	92	4.9	106.5°	64°	286.5°	26°	190°	34°	63°	19°	106.5°	0°
69	16	102428.7	13.73	90.3	104	4.6	117°	15°	300°	80°	200°	45°	207°	45°	117°	0°
70	23	010815	16.11	97.75	75	4.6	118°	90°	208°	30°	02°	38°	234°	38°	118°	30°
71	01.12.	223116.1	16.41	94.13	91	5.0	104°	31°	302°	60°	205°	14°	24.5°	73°	297.5°	8°
72	11	084741.1	15.60	92.15	165	4.4	124°	0°	124°	90°	34°	45°	214°	45°	124°	0°
73	24	015657.0	15.70	98.43	33	5.5	147.5°	15°	308°	75°	30°	58.5°	222°	30.5°	129°	4°
74	03	040247.0	15.50	98.15	33	4.4	148°	30°	289°	66°	349°	66°	212°	18°	117°	17°
75	03	073821.0	15.50	98.50	33	5.7	133°	45°	313°	45°	43°	0°	223°	90°	133°	0°
76	03	192120.5	15.81	91.19	33	4.7	116.5°	62°	275°	30°	232°	72°	19°	15.5°	111.5°	9°
77	15	052170.5	14.02	91.05	105	5.5	138°	88°	318°	2°	48°	43°	228°	47°	138°	0°
78	22	130440.8	16.62	97.64	85	4.3	128°	40°	308°	50°	38°	85°	218°	55°	128°	0°
79	22	090340.8	16.62	97.64	85	4.4	114°	80°	294°	10°	24°	35°	204°	55°	114°	0°
80	22	225213.6	13.91	91.15	107	4.5	121°	20°	301°	70°	31°	65°	211°	25°	121°	0°
81	23	111445.3	13.84	93.62	107	4.5	117°	0°	117°	90°	27°	45°	207°	45°	117°	0°
82	29	070501	16.20	93.26	69	4.5	156°	0°	156°	90°	246°	66°	66°	45°	156°	0°
83	02.13.02	200746.0	13.80	96.60	33	5.2	139°	60°	337°	31°	206°	73°	55.5°	14°	323.5°	8°
84	17	091907.0	13.29	88.72	82	4.6	189°	30°	297°	80°	357°	47.5°	229°	28.5°	122°	28°
85	04.03.	055519.5	16.38	98.10	38	5.1	167.5°	0°	167.5°	90°	237.5°	45°	57.5°	45°	147.5°	0°
86	04	220425.2	13.05	88.73	60	4.7	125°	50°	305°	40°	215°	85°	35°	5°	125°	0°
87	07	135712	14.41	94.06	26	4.9	125°	50°	305°	40°	215°	85°	35°	5°	125°	0°
88	08	015030	14.56	93.89	14	4.4	125°	90°	109°	0°	35°	45°	215°	45°	125°	0°
89	08	052042.0	14.82	94.18	33	4.9	123°	90°	109°	0°	35°	45°	215°	45°	125°	0°
90	08	100531.8	14.68	93.92	58	4.8	123°	0°	123°	90°	33°	45°	213°	45°	123°	0°
91	01	035046.0	13.42	90.06	82	5.1	102°	25°	311°	70°	74°	61°	219°	24°	316°	14°
92	09.04.	132659.9	13.50	90.50	85	4.8	128°	0°	128°	50°	38.5°	45°	218.5°	45°	128.5°	0°
93	17	192559.7	13.60	89.60	88	4.3	117°	30°	303°	60°	40°	75°	210.5°	14°	301.5°	2.5°
94	30	005522	13.1	88.8	85	4.3	121.5°	90°	211.5°	40°	246°	32.5°	359°	32.5°	121.5°	40°
95	04.05.	062638.6	15.80	93.40	91	5.1	141°	90°	231°	60°	51°	71°	231°	15°	141°	0°
96	28	030237.0	13.32	87.70	233	4.7	113°	90°	203°	20°	41.5°	41.5°	221.5°	41.5°	113°	20°
97	04.06.	183750.1	15.70	94.50	81	4.6	124°	0°	124°	90°	34°	45°	216°	45°	124°	0°
98	05	062261	13.21	90.85	70	4.5	124°	0°	124°	90°	34°	45°	216°	45°	124°	0°
99	07	230904.4	14.50	93.10	33	4.6	132°	0°	132°	90°	42°	45°	222°	45°	132°	0°
100	09	035756.9	15.44	97.00	33	5.0	126°	90°	207°	30°	10.5°	37.5°	246°	37.5°	126°	30°
101	11	182117.2	13.44	90.70	52	5.1	145°	90°	325°	70°	55°	65°	236°	55°	145°	0°
102	11	190910.2	13.41	90.71	65	4.5	109.5°	90°	19.5°	40°	52°	32.5°	168°	32.5°	289.5°	40°
103	27	193936.1	14.00	91.80	74	5.1	115.5°	90°	25.5°	40°	58°	32.5°	173°	32.5°	285.5°	40°
104	30	035630.5	14.06	93.65	33	4.9	126.5°	90°	10.5°	30°	37.5°	243.5°	243.5°	37.5°	126.5°	30°
105	30	124520.5	14.50	92.90	55	5.0	122°	90°	216.5°	30°	185°	37.5°	59°	37.5°	302°	30°
106	01.07.	121932.0	16.21	98.67	33	4.6	124°	20°	304°	70°	34°	65°	214°	25°	124°	0°
107	01	225338.8	16.14	98.58	33	4.7	122°	20°	302°	70°	32°	65°	212°	25°	122°	0°
108	02	003443.3	16.49	98.48	33	4.8	122°	25°	302°	65°	212°	20°	32°	25°	122°	0°
109	05	130015.1	13.83	90.81	58	4.6	117°	90°	27°	10°	197°	44.5°	44.5°	60°	120.5°	0°
110	08	121049.8	15.87	97.19	29	5.6	120.5°	15°	300.5°	75°	210.5°	30°	30.5°	25°	138°	0°
111	03.08	145620.0	15.13	96.82	33	4.6	138°	70°	318°	20°	228°	65°	48°	25°	138°	0°

Tabla 1. (Cont.)

N°	Fecha	Hora Origen	Lat (N)	Long. (W)	Prof. h	M	Plano Nodal		Eje de Tensión		Eje de Compresión		Eje Nulo	
							Az	Buz.	Az	Buz.	Az	Buz.	Az	Buz.
112	06.08.72	230618.9	13.47	90.77	62	4.5	120°	0°	210°	45°	30°	45°	120°	0°
113	08	001646.6	14.02	91.06	90	4.6	116°	0°	206°	45°	26°	45°	116°	0°
114	09	081504.5	17.21	94.88	103	4.9	162.5°	34°	313°	13°	5°	70.5°	141.5°	14°
115	11	105449.7	15.75	93.78	95	4.4	113°	0°	234°	23°	203°	45°	113°	0°
116	21	233348.0	13.98	91.12	86	4.7	120°	0°	120°	45°	210°	45°	120°	0°
117	31	022411.7	13.12	88.60	66	5.2	114.5°	40°	301°	30°	208°	4°	298°	2.5°
118	14.09.	203135.0	16.57	100.43	33	4.5	124°	0°	124°	45°	214°	45°	124°	0°
119	16	091429.6	14.81	96.38	26	6.0	136°	68°	316°	22°	226°	67°	136°	0°
120	05.10	104817.4	13.81	91.19	67	5.2	102°	50°	192°	85°	12°	5°	102°	0°
121	10.11	145650.0	15.40	95.92	33	5.4	144°	10°	324°	80°	234°	35°	144°	0°
122	13	043346.0	15.62	95.09	40	5.6	128°	90°	38°	20°	199.5°	41.5°	308°	20°
123	13	062124.0	16.26	98.39	33	4.6	114°	90°	218°	30°	244°	37.5°	128°	30°
124	17	145545.0	15.61	91.46	227	5.2	114°	90°	204°	20°	244°	41.5°	114°	20°
125	19	043525.6	13.00	88.57	77	5.4	114°	90°	24°	20°	184.5°	41.5°	294°	20°
126	10.12	043337.0	16.78	94.11	200	5.2	148.5°	60°	294°	35°	46.5°	69°	139°	16°
127	20	184725.6	16.80	94.82	116	4.7	96°	42°	282°	77.5°	175°	46°	136.5°	11°
128	31	234438	15.48	94.82	61	4.6	130°	80°	220°	55°	40°	35°	130°	0°
129	22.02.73	603020.1	14.45	91.68	106	5.2	147°	2°	57°	43°	237°	43°	147°	0°
130	11.04	125109.5	16.61	100.73	33	5.1	120°	0°	120°	90°	30°	45°	120°	0°
131	20	091923.4	13.46	90.08	87	4.6	126°	40°	306°	40°	210°	45°	120°	0°
132	21	152513.8	16.67	99.13	33	4.9	101°	90°	193°	30°	216°	5°	126°	0°
133	24	193615.6	14.64	91.39	99	5.3	117°	15°	286°	75°	334°	37.5°	101°	30°
134	31	053919.5	13.96	90.95	112	5.3	130°	0°	130°	90°	220°	45°	130°	0°
135	07.06	183242.8	14.29	91.99	172	5.4	120°	50°	300°	40°	210°	45°	130°	0°
136	07	005804.0	14.07	92.00	100	5.0	123°	40°	303°	50°	30°	5°	120°	0°
137	08	005804.0	14.07	91.95	74	4.7	123°	40°	303°	50°	213°	5°	123°	0°
138	30	080857.8	13.80	90.95	76	4.9	119°	40°	299°	50°	209°	5°	119°	0°

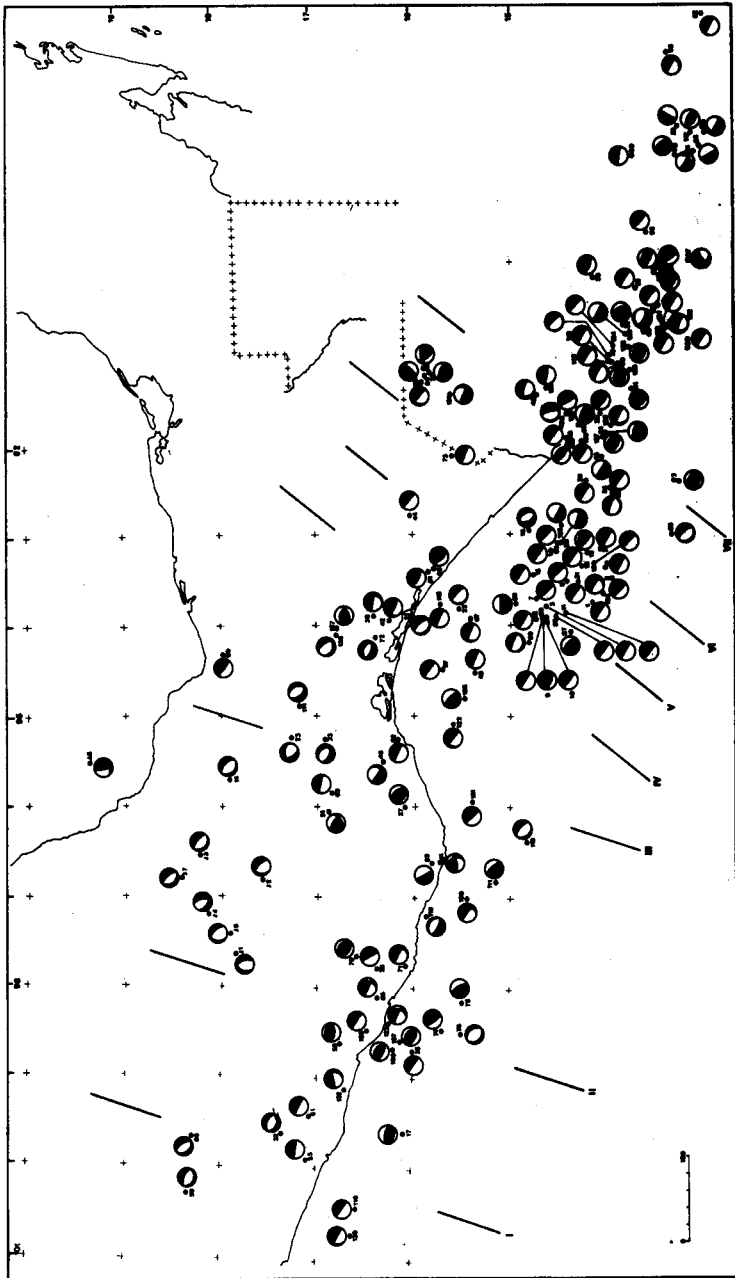


FIGURA 4

Fig. 4. Mecanismos focales para algunos movimientos de magnitud dentro del rango 4.3-6.5 escala Richter. Las figuras son la representación de la semiesfera inferior, donde el cuadrante negro corresponde a compresión y el blanco a dilatación. Para mayor explicación ver texto.

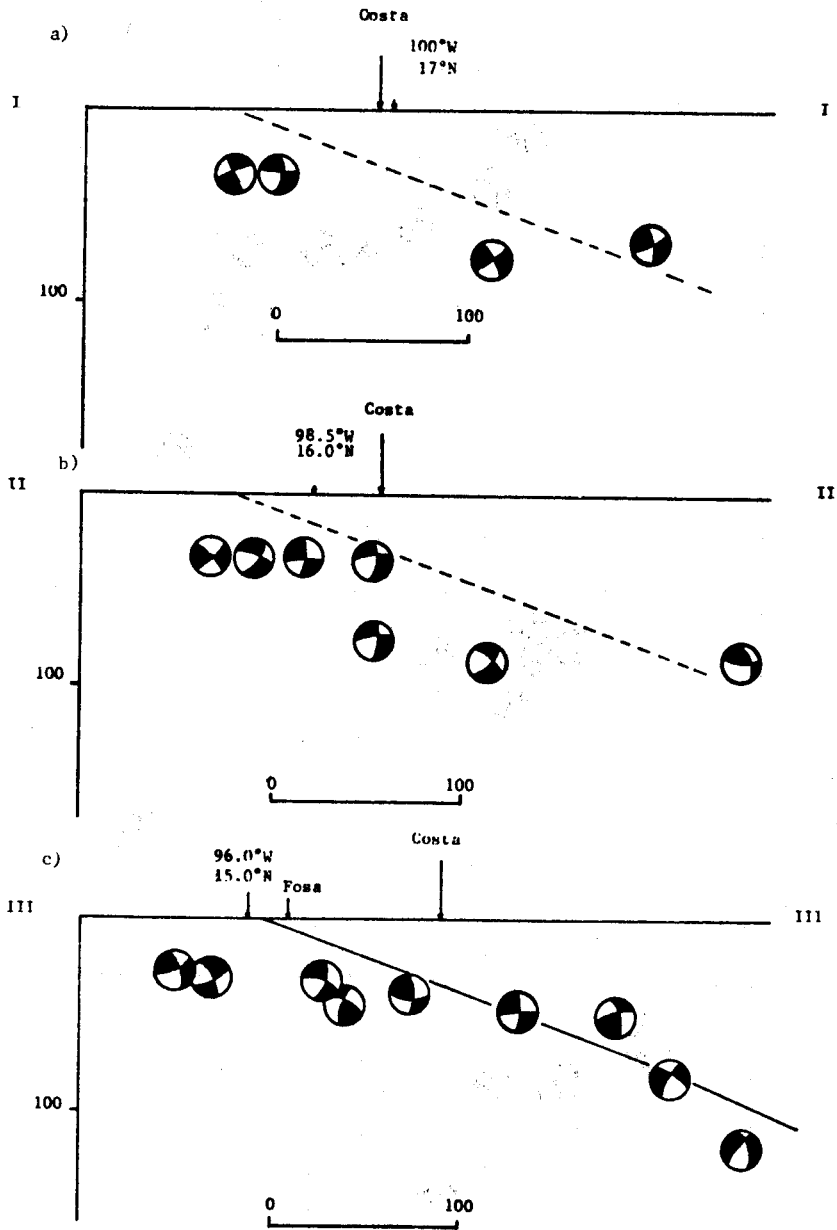
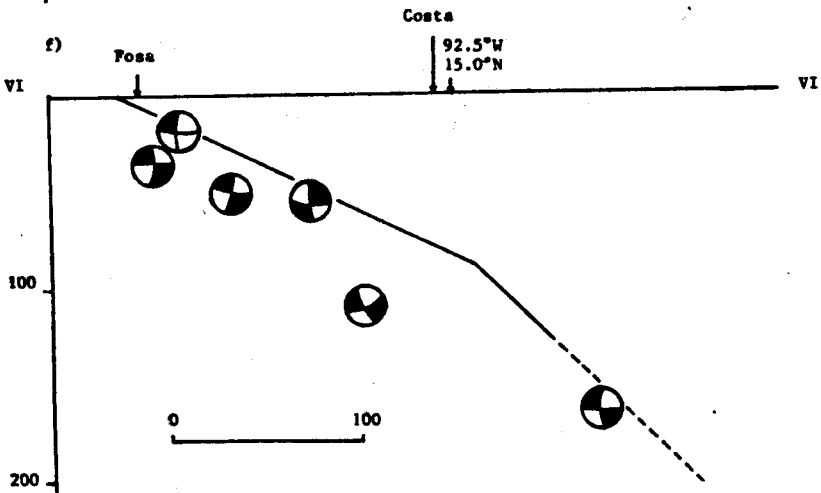
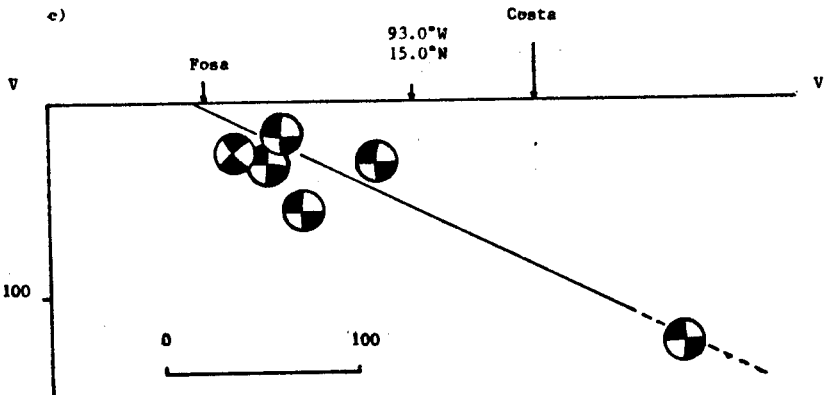
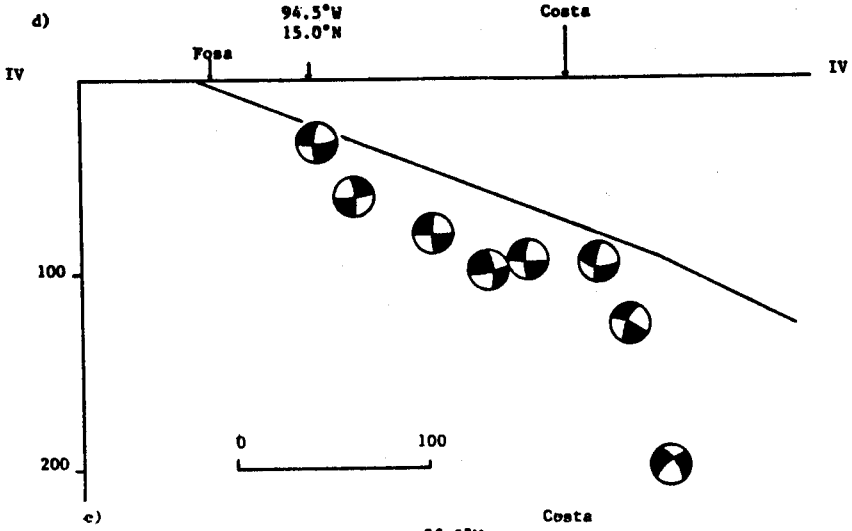


Figura 5.

GEOFISICA INTERNACIONAL





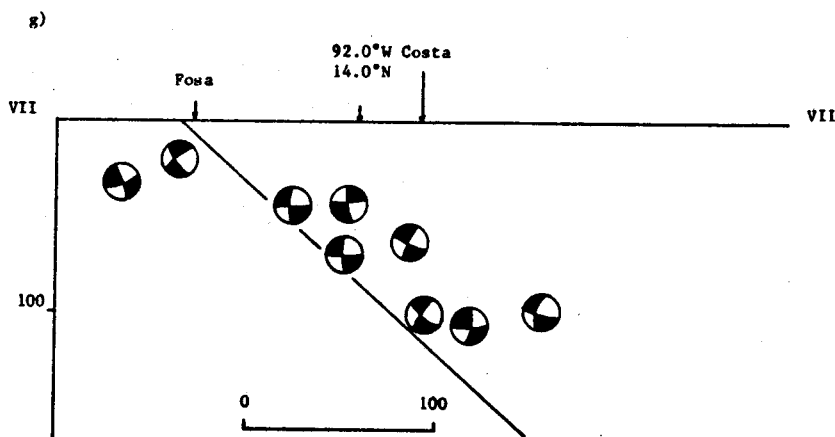


Fig. 5. Cortes esquemáticos perpendiculares a la trinchera. Se muestra la variación de la solución de mecanismo focal a lo largo del plano de subducción en diferentes partes de la fosa (ver figura 4 para localización de los perfiles). a) Zona Guerrero; b) zona Oaxaca central; c) zona Oaxaca-Istmo de Tehuantepec; d) zona Istmo de Tehuantepec-Chiapas; e) zona Chiapas central; f) zona Chiapas-Guatemala; g) zona Guatemala. La línea inclinada indica la traza del plano de Benioff, tomado de Mota (1979).

#### DATOS TECTONICOS Y MICROTTECTONICOS

Se realizó un reconocimiento de la región Oaxaca-Chiapas con la intención de efectuar algunas observaciones en las zonas de falla activas recientes.

Las observaciones y medidas de los elementos de falla (rumbo, echado, estriaciones, estilolitos y desplazamientos) se efectuaron en varios sectores, en formaciones jóvenes: molasas y volcanitas Oligo-miocénicas (a veces pliocénicas) de las cadenas de Oaxaca, granitos de la zona costera Oaxaca-Chiapas, depósitos aluviales o lateritas del sur de Veracruz-Oaxaca-Chiapas. También se examinaron los sistemas de fallas contemporáneas o posteriores a la fase del plegamiento del norte de Chiapas, considerado (Viniegra, 1971) como del Mioceno tardío; estas fallas se observaron en los terrenos Cretácicos y Terciarios de la región Tuxtla Gutiérrez-Comitán.

El análisis de los datos recabados por medio del reconocimiento de las zonas de falla, debido al estado de alteración de las formaciones, en pocos casos se pudo hacer en forma estadística, por lo que en muchos casos se utilizó el método de Arthaud (1969) y Arthaud y Choukroune (1970). Se usaron los datos tomados de fallas verticales con movimiento lateral para estimar la orientación de la dirección de compresión Z; las otras direcciones X y Y (tensión e intermedia, respectivamente) se determinaron utilizando la disposición de las fallas normales e inversas.

Por otra parte, la actividad tectónica reciente está repartida de una manera independiente de la estructura laramfídica, ésta es responsable de la cabalgadura (Carfentan, 1983) de un conjunto de afinidad oceánica (arco volcánico alcalino del Jurásico-

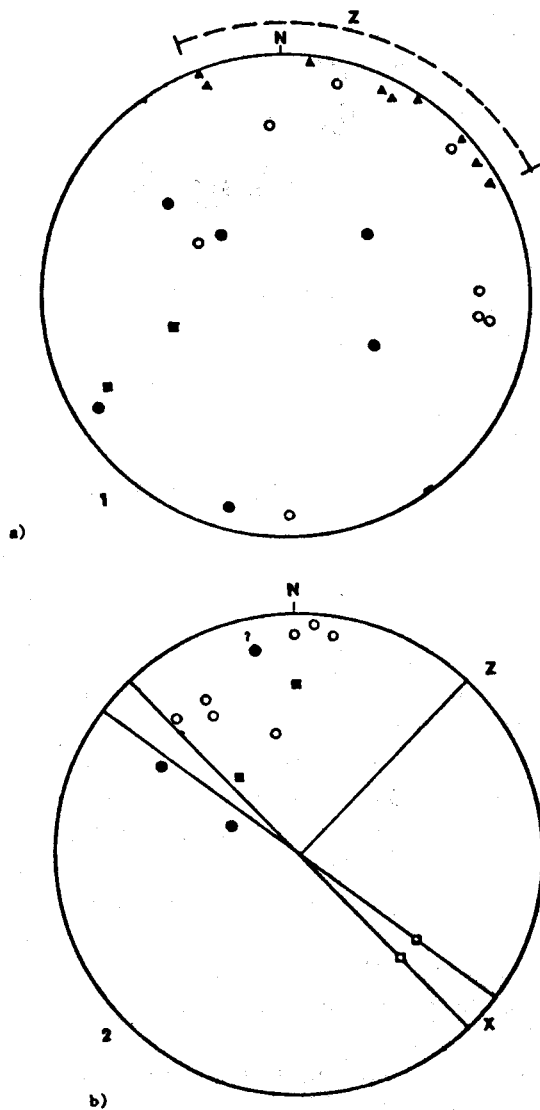
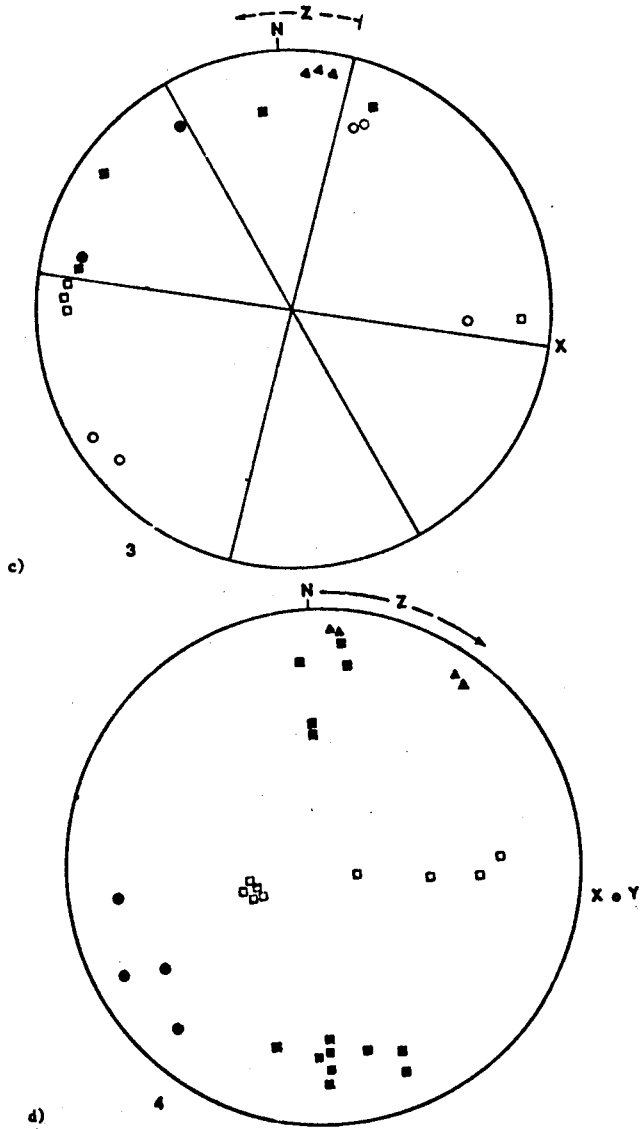


Figura 6.



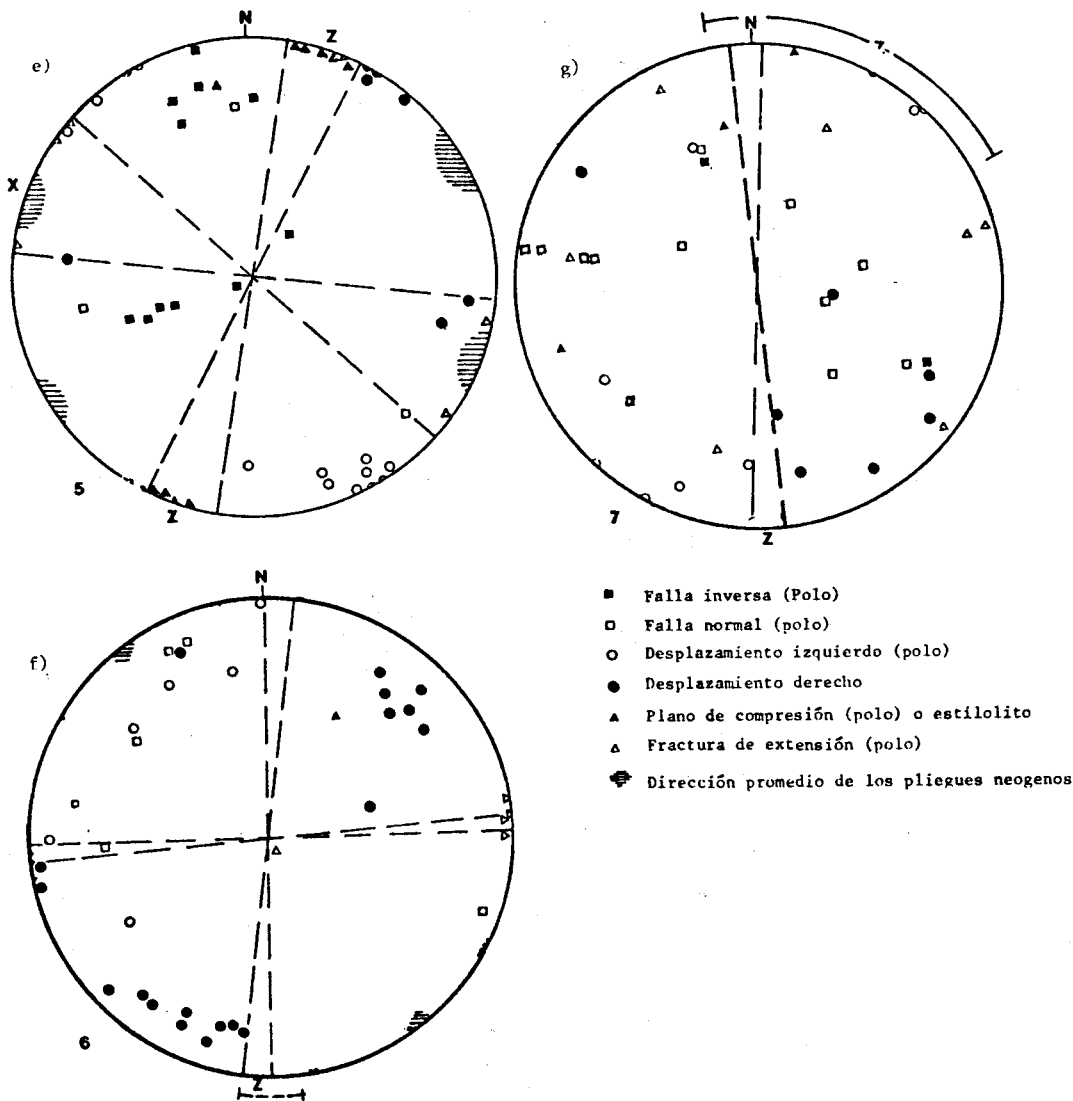


Fig. 6. Representación gráfica de las observaciones y medidas realizadas en la región de Oaxaca e Istmo de Tehuantepec-Chiapas. Las figuras a-d corresponden a la zona entre la Cd. de Oaxaca y Salina Cruz: a) zona de formaciones volcánicas terciarias y granitos entre Oaxaca y la presa Benito Juárez; b) granitos recientes en la presa Benito Juárez; c) granitos recientes y formaciones arcillosas del cuaternario entre Salina Cruz y Huamelula; d) series volcánicas del Oligo-Mioceno(?) al oeste de Cd. Ixtepec. Las figuras e-g corresponden a Chiapas; e) y f) zona de fallas asociadas al sistema Polochic-Motagua; g) zona próxima a la frontera con Guatemala cerca de la costa.

Cretácico de Oaxaca, serpentinitas del oeste de Guatemala) sobre el antepaís continental (Sierra Madre Oriental y plataforma de Yucatán). El frente de esta cabalgadura, de contornos irregulares a causa de los plegamientos posteriores y de la erosión, parece desplazado en forma sinistral por el grupo de fallas Polochic-Motagua en dirección E-W.

Aquí es necesario hacer notar que el reconocimiento de la tectónica en el terreno se limita por ahora a la región Oaxaca-Chiapas; está pendiente de realizarse el estudio en la región Guerrero-Michoacán-Colima-Jalisco. En la figura 6 se presentan algunas de las observaciones realizadas.

#### DISCUSION

Del análisis de la sismicidad, la zona sísmica del sur de México se puede dividir en cuatro regiones de características diferentes. En el extremo oeste se tiene la zona Jalisco-Colima, que representa la interacción entre la placa de Rivera y la placa Americana. Sólo se tienen mecanismos focales para algunos eventos localizados en la zona de falla de Rivera; actualmente está en proceso un estudio sismotectónico de esta región y falta efectuar el reconocimiento en el terreno que permita establecer el grado de deformación actual. Para la zona Michoacán-Guerrero, la situación parece acercarse más a lo que debiera ser una zona de subducción "normal", esto es, los eventos de profundidad mayor que la superficial se localizan en una faja paralela a la trinchera (figura 2), aun cuando existe la anómala concentración de eventos de profundidad mayor que la normal en la parte oeste de Michoacán y alrededor del meridiano  $101^{\circ}\text{W}$  en Guerrero (figura 3).

Siguiendo hacia el Oriente, la zona comprendida entre los límites Guerrero-Oaxaca y el Istmo de Tehuantepec presenta una faja de actividad sísmica somera en la parte exterior a la trinchera y la mayor actividad, con profundidad superficial distribuida por el estado de Oaxaca, con una zona de mayor frecuencia de ocurrencia alrededor del meridiano  $98^{\circ}\text{W}$  y los eventos de profundidad mayor que la normal localizados en la parte norte de Oaxaca.

Finalmente, la región del Istmo de Tehuantepec-Costa de Chiapas, que presenta una actividad muy alta en la zona comprendida entre la fosa y la línea costera, además de una concentración de actividad en el istmo; en esta zona los eventos de profundidad mayor que la normal se localizan en una franja entre el norte del istmo y la parte costera del límite Chiapas-Guatemala.

Al considerar los resultados de los mecanismos focales estudiados incluidos en algunos eventos como los del 30-I-73 y 14-III-79, se puede definir una zona de subducción que va desde Michoacán hasta la frontera con Guatemala, con algunas variaciones en lo que al ángulo de buzamiento se refiere, sugeridas por los valores obtenidos como solución del plano de falla: para la región Michoacán-Guerrero se tienen ángulos que varían entre  $17^{\circ}$  y  $20^{\circ}$ , para eventos cerca de la costa, lo que se puede interpretar como indicando el inicio de la subducción, y otros localizados más al interior del continente que dan valores alrededor de los  $40^{\circ}$  para el eje de tensión.

En la zona de Oaxaca, los resultados presentan diferencias en cuanto a valores posibles del ángulo de buzamiento; sin embargo, se observan algunos dentro del rango  $12^{\circ}$  a  $14^{\circ}$  que se pueden interpretar como indicadores de un ángulo menor desde el inicio de la subducción.

Continuando hacia Chiapas, vemos que los resultados son variables también y se tienen valores de entre  $12^{\circ}$  y  $15^{\circ}$  para eventos superficiales.

Del análisis preliminar de la tectónica reciente de la zona Oaxaca-Chiapas, que es la única parte que se pudo estudiar hasta ahora, se puede deducir que la zona ha estado activa tectónicamente desde el Terciario medio y es muy activa en el reciente en la zona costera, como lo evidencian los granitos miocenos y diques riolíticos pliocenos que se encuentran entre Huamelula, Oax. y Tonalá, Chis., que están muy fuertemente fracturados.

La parte norte de Chiapas parece poco activa en un período reciente, ya que las deformaciones que se observan están ligadas a los plegamientos del fin del Neogeno (*Néogéne*).

La dirección de compresión está frecuentemente cerca de la normal a la fosa centroamericana. Las regiones de comportamiento neotectónico complejo se extienden más ampliamente al oeste del Istmo que al este. Es más, en el istmo propiamente dicho, la fracturación parece menos importante que en el resto de la zona considerada.

#### CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos del análisis de la sismicidad, de los mecanismos focales considerados y del estudio de campo, en donde ha sido posible hacerlo, se puede de-

cir que: a grandes rasgos, la tectónica actual parece confirmada por la actividad sísmica, esto es, del lado occidental del Istmo de Tehuantepec se encuentran manifestaciones de tectónica de fractura que concuerdan con las soluciones de mecanismos focales; del lado Chiapas-Guatemala se tienen complicaciones por efecto de la actividad del sistema de fallas Polochic-Motagua.

En lo que se refiere a la geometría de la subducción, la localización del volcanismo se puede explicar por la posición del plano de Benioff. La diferenciación de la zona sísmica, con base en el comportamiento observado desde el punto de vista sismológico, se puede justificar por la diferencia en ángulo de buzamiento y la diferencia de velocidad de subducción a lo largo de la trinchera (Larson y Chase, 1970; Mota, 1979; Urrutia y Del Castillo, 1977).

Sólo habría que hacer notar que de la comparación de la zona sísmica del sur de México con la región Perú-Chile, se desprende que la región de Oaxaca merece mayor atención, ya que presenta similitudes con la zona central de Perú, en que no parece haber actividad sísmica asociada directamente a la subducción para un rango de profundidad de más de 80 km. Los eventos de profundidad mayor que lo normal (temblores del 24-X-80, 28-VIII-73, 24-V-59, 11-X-45, 26-VII-37, 15-I-31, 10-II-28) en esa zona, parecen haber tenido su foco en la litosfera continental.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Yamamoto por sus comentarios y asistencia en la traducción del resumen. Parte del trabajo realizado en la zona Jalisco-Michoacán corresponde al proyecto PCCTBNA000498 patrocinado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, Jr., M., 1949. Unidades tectónicas de la República Mexicana. *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, 14, 1-22.
- ARTHAUD, F., 1969. Méthode de détermination graphique des directions de raccourcissement, d'allongement, et intermédiaire d'une population de failles. *Bull. Soc. Géol. France*, 7, t XI, 729-737.
- ARTHAUD, F. y P. CHOUKROUNE, 1972. Méthode d'analyse de la tectonique cassant à l'aide des microstructures dans les zones peu déformées. *Rev. I. F. P.*, XXVII, 5, 715-732.

- BARAZANGI, M. y J. DORMAN, 1969. World seismicity maps compiled from ESSA, Coast and Geodetic Survey, epicenter data, 1961-1967. *Seism. Soc. Am. Bull.*, 59, 1, 369-380.
- BARAZANGI, M., W. PEMINGTON and B. ISACKS, 1975. Global study of seismic wave attenuation in the upper mantle behind Island Arcs using pP waves. *J. Geophys. Res.*, 80, 8, 1079-1092.
- BOWIN, C., 1978. Caribbean Gravity Field and Plate Tectonics. Geol. Soc. Am. Special Paper 169.
- CAMPA, M. F., 1978. La evolución tectónica de Tierra Caliente, Gro., *Bol. Soc. Geol. Mex.* 39, 2, 52-64.
- CARFANTAN, J. C., 1983. Les ensembles géologiques du Mexique Méridional. Evolution géodynamique durant le Mésozoïque et le Cénozoïque. *Geofís. Int.*, 22, 1, 9-38.
- CSERNA, Z. de, 1965. Reconocimiento geológico en la Sierra Madre del Sur de México entre Chilpancingo y Acapulco, Estado de Guerrero. *UNAM, Inst. Geol., Bol.* 62.
- DEAN, B. W. and Ch. L. DRAKE, 1978. Focal mechanism solutions and tectonics of the Middle-America Arc. *J. Geology*, 86, 11-128.
- DEMANT, A. y C. ROBIN, 1975. Las fases del volcanismo en México: una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico. *UNAM. Inst. Geol. Rev.* V, 1, 70-82.
- DENGO, G., 1968. Estructura geológica, historia tectónica y morfología de América Central. Centro Regional de Ayuda Técnica, México, 50 p.
- GUZMAN, E. J., 1950. Geología del Noreste de Guerrero. *Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol.* II, 95-156.
- ISACKS, B., J. OLIVER y L. R. SYKES, 1968. Seismology and the New Global Tectonics, *J. Geophys. Res.*, 73, 18, 5855-5899.
- ISACKS, B. y P. MOLNAR, 1971. Distribution of stresses in the descending lithosphere from a global survey of focal mechanisms solutions of mantle earthquakes. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 9, 1, 103-174.
- JAMES, D. E., 1978. Subduction of the Nazca plate beneath central Peru. *Geology*, 6, 174-178.
- JIMENEZ, Z., 1978. Mecanismo focal de siete temblores ( $m_b > 7.5$ ) ocurridos en la región de Orizaba, México, en el período de 1928 a 1973. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias, UNAM.
- KARIG, D. E., R. K. CALDWELL, G. F. MOORE y D. G. MOORE, 1978. Late Cenozoic subduction and continental margin truncation along the northern Middle America Trench. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 91, 421-432.



- KHATTRI, K., 1973. Earthquake focal mechanisms studies. A review. *Earth Sci. Rev.*, 9, 19-63.
- LARSON, R. L. y C. G. CHASE, 1970. Relative velocities of the Pacific, North America and Cocos plate in the Middle America region. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 7, 425-428.
- MAUVOIS, R., A. DEMANT y L. SILVA-MORA, 1976. Estructuras terciarias en la base del Eje Neovolcánico (ejemplo de la depresión Tzitzio-Huetamo, Estado de Michoacán). III Congr. Latinoamericano de Geol., Acapulco, México, Resúmenes, p.87.
- MOLNAR, P. y L. R. SYKES, 1969. Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 85, 607-618.
- MOTA, R., 1973. Estudio de la actividad sísmica de la costa de Chiapas, durante el período abril-julio de 1970. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias, UNAM.
- MOTA, R., 1979. Contribution à l'étude sismo-tectonique du Mexique méridional, Thèse de Doctorat d'Université Paris VII, Paris, France.
- OLIVER, J. y B. ISACKS, 1969. Structure and mobility of the crust and mantle in the vicinity of island arcs. *Canadian J. Earth Sci.*, 5, 4, 985-991.
- SACKS, I. S., 1977. Interrelationships between vulcanism, seismicity and anelasticity in western South-America. *Tectonophysics*, 37, 131-139.
- SNOKE, J. A., I. S. SACKS y H. OKADA, 1977. Determination of the subducting lithosphere boundary by use of converted phases. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 67, 4, 1051-1060.
- STAUDER, W., 1962. The focal mechanism of earthquakes. *Advan. Geophys.*, 9, 1-76.
- STAUDER, W., 1975. Subduction of the Nazca plate under Peru as evidenced by focal mechanisms and by seismicity. *J. Geophys. Res.* 80, 8, 1053-1064.
- STOIBER, R. E. y M. J. CARR, 1973. Quaternary volcanic and tectonic segmentation of Central-America. *Bull. Volcanol.* 37, 3, 304-325.
- SYKES, L. R. y D. HAYES, 1971. Seismicity and tectonics of South-America and adjacent oceanic areas. *Geol. Soc. Am. Abstr. Programs*, 3, 206.
- TRUCHAN, M. y R. L. LARSON, 1973. Tectonic lineaments on the Cocos plate. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 17, 226-232.
- URRUTIA, J. y L. DEL CASTILLO, 1977. Un modelo del Eje Volcánico Mexicano. *Bol. Soc. Geol. Mex.*, 38, 18-28.
- VINIEGRA, F., 1971. Age and evolution of salt basin of Southeastern Mexico. *Am. Assoc. Petroleum Geol. Bull.*, 55, 3, 478-494.
- WICKENS, A. J. y J. H. HODGSON, 1967. Computer re-evaluation of earthquake mechanism solutions 1922-1962. Publ. Dominion Obs. Ottawa, XXXIII, 1.

(Recibido: 4 de julio, 1984)

(Aceptado: 13 de septiembre, 1984)