

# ESTUDIOS TECTONICOS DE LA PARTE SUR DE MEXICO

Por A. E. Scheidegger

## RESUMEN

A partir de mediciones de orientaciones de diaclasas, de planos de falla de terremotos y de otros datos geofísicos se determinaron las direcciones de la máxima presión en la parte Sur de México. Se ve que la máxima presión está normal a la Costa del Pacífico, lo que se concuerda con la idea de una subducción de la placa de Cocos debajo de la placa de Norteamérica. En Yucatán, la presión está E-W; esto corresponde a la componente normal del desplazamiento de la placa Americana al margen de la placa del Caribe.

## ABSTRACT

Starting from measurements of joint orientations, from fault plane solutions of earthquakes and from other geophysical data, the directions of the maximum neotectonic pressure were determined in the southern part of Mexico. It is seen that this maximum pressure is normal to the Pacific coast, indicating a subduction of the Cocos plate in this region. In Yucatan, the maximum pressure is E-W, which corresponds to the normal component of the shearing motion along the boundary between the North American and Caribbean plates.

## INTRODUCCION

Luego de trabajos hechos en México durante los años pasados (Scheidegger, 1979), ha sido posible emprender estudios adicionales de la tectónica de la parte sur de este país.

El método principal de los estudios era el de medir las orientaciones de diaclasas evidentes en afloramientos particulares. La evaluación de los datos se hizo según el método estadístico de Kohlbeck y Scheidegger (1977). Usando este método, el resultado es una tabla de direcciones preferenciales (azimut N a E de la dirección y el ángulo del buzamiento) de las diaclaseas, de los ángulos entre los dos sistemas preferenciales de diaclasas y de las direcciones (azimut y ángulo de buzamiento) de la

máxima (P) y de la mínima (T) presión. La justificación de este método se ha confirmado en todo el mundo (véase Scheidegger, 1985).

En seguida, los resultados de la interpretación de la orientación de diaclasas fueron confirmados por otros datos geofísicos, como la orientación de planos de falla de terremotos y la profundidad de los ipocentros.

Finalmente, daremos una interpretación de los hechos geofísicos bajo el aspecto de la tectónica de placas.

## RESULTADOS DE MEDICIONES DE DIACLASAS

### *Faja volcánica transmexicana*

Las mediciones en esta región ya eran descritas en el trabajo citado de Scheidegger (1979). Recordemos que había dos afloramientos en la ciudad de México, dos en los alrededores del Paso de Cortés y uno en el Nevado de Toluca. Las rocas fueron lavas andesíticas en todos los casos. En el trabajo anterior los afloramientos se evaluaron individualmente; presentamos ahora la evaluación de todos los datos de la región en conjunto (Tabla 1). La Figura 1 muestra el diagrama de la densidad de polos de las diaclasas.

### *Bahía de Acapulco*

Las mediciones en cuatro afloramientos de los alrededores de la Bahía de Acapulco también se presentaron en el trabajo antes citado (Scheidegger, 1979). Las rocas fueron intrusivas del Mesozoico y del Terciario; consisten en granitos y tonalitos gruesos a veces muy meteorizados. Esas rocas se intrudieron en una base de rocas metamórficas paleozoicas. La evaluación estadística de los datos se

ve en la Tabla 1; la Figura 2 muestra el diagrama de la densidad de polos.

### Estado de Oaxaca

Una campaña bastante extensiva se hizo en el estado de Oaxaca. En todo, nueve grupos de afloramientos se observaron, los cuales se muestran en el mapa de la Figura 3.

La geología de la región tiene mucho interés porque contiene muchos metasedimentos precámbricos de Grenville y paleozoicos (Nixon, 1982). Granitos gruesos se intrudieron en el complejo anciano Precámbrico-Paleozoico durante el Mesozoico, que presentan el aspecto de "cerros insulares" como en Nigeria. A veces lentes de calizas del Cretácico sobreyacen conformando el complejo anciano.

En la Tabla 2, presentamos las evaluaciones de las diaclasas en las regiones individuales. Notamos también los tipos de rocas encontradas. La evaluación de todas las diaclasas en el Estado de Oaxaca se halla en la Tabla 1. La Figura 4 muestra el diagrama de la densidad de polos.

### Yucatán

Las investigaciones geológicas en la península de Yucatán han demostrado que la superficie está formada por piedras calizas cubiertas por una pequeña costra de caliche (dicha "laja") que sobreyace rocas calcáreas masivas, en las cuales se demostró, igualmente, la existencia de carbonatos antigénicos y anhidritas. La región de Yucatán, así, es parecida a la Plataforma de Florida: ambas regiones están cubiertas por sedimentos marinos del período Terciario con espesores que varían de 1.300 a 3.000 metros (Bonet y Butterlin, 1977).

En el Terciario se ven varias fases. En la parte más al sur, hacia la frontera de Guatemala, se encuentran rocas del Paleoceno; el propio núcleo de la península (al cual pertenecen Chichén-Itzá y Uxmal) consiste en sedimentos eocenos; en el norte siguen el Oligoceno y el Plioceno.

La morfología se determina por el hecho que la península consiste en una plataforma de calizas con capas casi horizontales. Se encuentran fenómenos kársticos como de costumbre en calizas, particularmente huecos de solución que aquí se llaman "cenotes". Los afloramientos visitados se encontraban en el lado de tales cenotes.

TABLA 1  
Resultados para regiones. Norte magnético

Región	No. de diaclasas	Max. 1	Max. 2	Angulo	P	T
Faja Volcánica	108	280± 7/89± 7	3± 8/87± 7	83	231/2	141/3
Acapulco	86	75±10/90± 9	165±13/83±11	89	300/5	30/5
Oaxaca	506	229± 7/89± 5	138± 6/90± 4	88	4/0	94/1
Yucatán	34	36±21/86±14	148±28/90±19	69	272/3	182/3

TABLA 2  
Evaluación de diaclasas en el Estado de Oaxaca

Lugar	Rocas	No.	Max. 1	Max. 2	Angulo	P	T
1. Mihuatlán	Metamorf. Paleoz.	45	65±14/87±13	162± 9/80± 8	84	293/10	23/4
2. San José del Pac.	Metamorf. Paleoz.	63	34±15/90±13	309±10/78± 9	88	82/ 8	174/8
3. Puerto Angel	Precámbrico	67	264± 9/87± 8	152±11/88±10	68	28/ 4	118/1
4. Puerto Escondido	Precámbrico	21	240±12/89±12	148±19/88±20	88	14/ 2	284/1
5. Laguna del Sol	Precámbrico	64	209±20/88±12	116±20/86±12	86	342/ 4	252/2
6. Salina Cruz	Mesozoico: Granitos	63	225±17/86±12	138±22/89±14	86	91/ 2	1/4
7. Tehuantepec	Mesozoico: Granitos	58	224±21/85±13	136±22/89±13	88	90/ 3	0/4
8. La Escondida	Lavas Cenozoicas	62	32±11/87±11	300± 8/84± 8	89	166/ 6	76/2
9. Mitla	Intrusivas Cenozoicas	63	237±18/87±14	153±11/90± 8	85	105/ 2	15/2
Todo Oaxaca		506	229± 7/89± 5	318± 6/90± 4	88	4/0	94/1

TABLA 3  
Evaluación de diaclasas en Yucatán

Lugar	No.	Max. 1	Max. 2	Angulo	P	T
Chichén-Itzá	12	indef.				
Uxmal	22	301±18/83±18	12±18/89±16	71	67/5	157/5
Yucatán	34	36±21/86±14	328±28/90±19	69	272/3	182/3

En todo, dos afloramientos se visitaron, uno en Chichén, otro en Uxmal. Los resultados se ven en la Tabla 3. La Figura 5 muestra el diagrama de polos para toda la región.

#### *Conclusiones a partir de las mediciones de diaclasas*

Un examen de la Tabla 1, que contiene los resultados para regiones enteras, muestra una variación sistemática de los rumbos de las diaclasas y de los esfuerzos principales. Hemos dibujado la situación en la Figura 6, ahora con la corrección para la declinación magnética que hemos estimado de 10°W. Hemos trazado también los márgenes de las placas tectónicas. Se ve que las presiones maximales en la faja volcánica y Acapulco están normales al margen de la placa de Cocos.

En el Estado de Oaxaca se encuentra un cambio de la dirección de la máxima presión que sigue la Costa. Evidentemente la presión es consecuencia de la subducción de la placa de Cocos bajo la placa Norteamericana. Como el margen de la placa se torna, la presión la sigue.

La situación análoga se encuentra en Yucatán: La máxima presión sigue la costa y siempre está normal a la última. Sin embargo, la costa no es margen de una placa, la frontera entre la placa Norteamericana contra la del Caribe sigue una falla transcurrente (véase la fig. 6), cuyo azimut está a 45° de la máxima presión: la última debe estar en la dirección EW en el interior de la placa Norteamericana adyacente.

#### MECANISMOS FOCALES

Mecanismos focales de terremotos han sido analizados por Molnar & Sykes (1969) y por Dean & Drake (1978). La interpretación geodinámica que resulta de estas investigaciones se muestra en la Figura 7. Los datos obtenidos indican un empuje abajo de la litosfera oceánica bajo la litosfera continental. Los azimuts de los vectores de deslizamiento varían de N41E a N34E, el buzamiento de 15° a 21° (Nixon, 1982). Adicionalmente, se han publicado otras investigaciones de mecanismos focales, particularmente de los terremotos de Colima (30 de enero de 1973) y de su réplica (10 de febrero de 1973; Reyes *et al.* 1980), y de las réplicas del

terremoto de Oaxaca (29 de noviembre de 1978; Reyes *et al.* 1979). Los mecanismos focales también parecen representar compresiones de SE a NE, pero los datos indican fallas de empuje más bien que fallas de rumbo. El buzamiento del plano de falla se acerca a unos 30 grados. Otras soluciones de planos de falla (terremotos de 28 de agosto de 1973, 3 de julio de 1973, 11 de marzo de 1967) parecen ser muy inciertas; las orientaciones de los planos varían considerablemente (Shurbet & Cebull, 1984).

Este patrón de esfuerzos ha sido confirmado por LeFèvre y McNally (1985) a partir de 190 mecanismos focales. Las autoras citadas también calcularon la velocidad del movimiento de la placa de Cocos al NE que es un empuje de cerca de 70 mm a<sup>-1</sup>.

#### HECHOS GEOFISICOS GENERALES

La Figura 8 muestra las profundidades de los focos sísmicos en México. La distribución de esas profundidades es una indicación directa de la existencia de una zona de subducción (Nixon 1982). Lomnitz (1982) ha podido confirmar esta hipótesis directamente en cuanto él ha identificado fases de refracción que provienen del límite entre la parte descendiente y la masa yacente encima de ella.

#### INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Según la discusión precedente está absolutamente claro que la neotectónica de la parte central de México observada, concuerda con la hipótesis de una subducción de la placa oceánica (de Cocos) bajo la placa continental (de América). Una cuestión aparte es el problema del origen de la faja volcánica transmexicana. Esta faja no parece estar en conexión sencilla con la tectónica de placas, pero más bien parece ser consecuencia de una desintegración o fractura de la placa continental. Así se formó una zona de transtensión porque las velocidades del movimiento no son iguales en las dos partes de la masa continental. Esta idea ha sido propuesta por Shurbet & Cebull (1984) y armoniza bien con los resultados sobre diaclasas hallados por nosotros. El sistema propuesto se muestra en la Figura 9 por cuanto la dirección de la máxima presión es la misma al norte y al sur de la faja, la rotura y abertura de la placa debe hacerse por la desigualdad de las velocidades del deslizamiento.

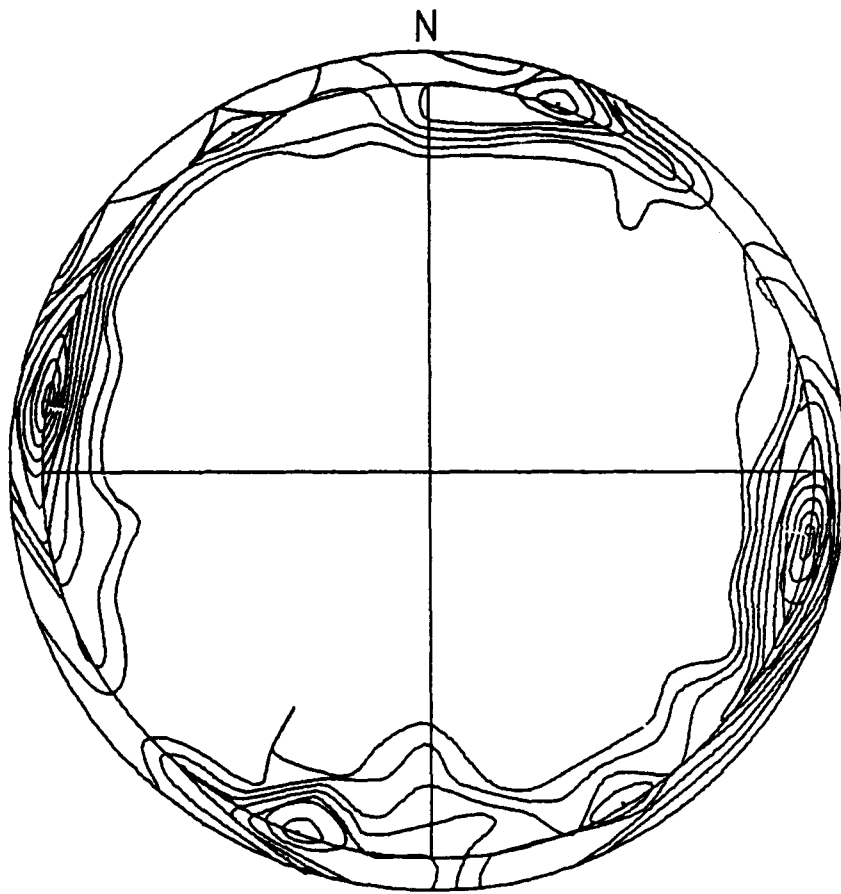


FIGURA 1. Diagrama de densidad de polos (proyección de Lambert) para la faja volcánica transmexicana. Norte magnético.

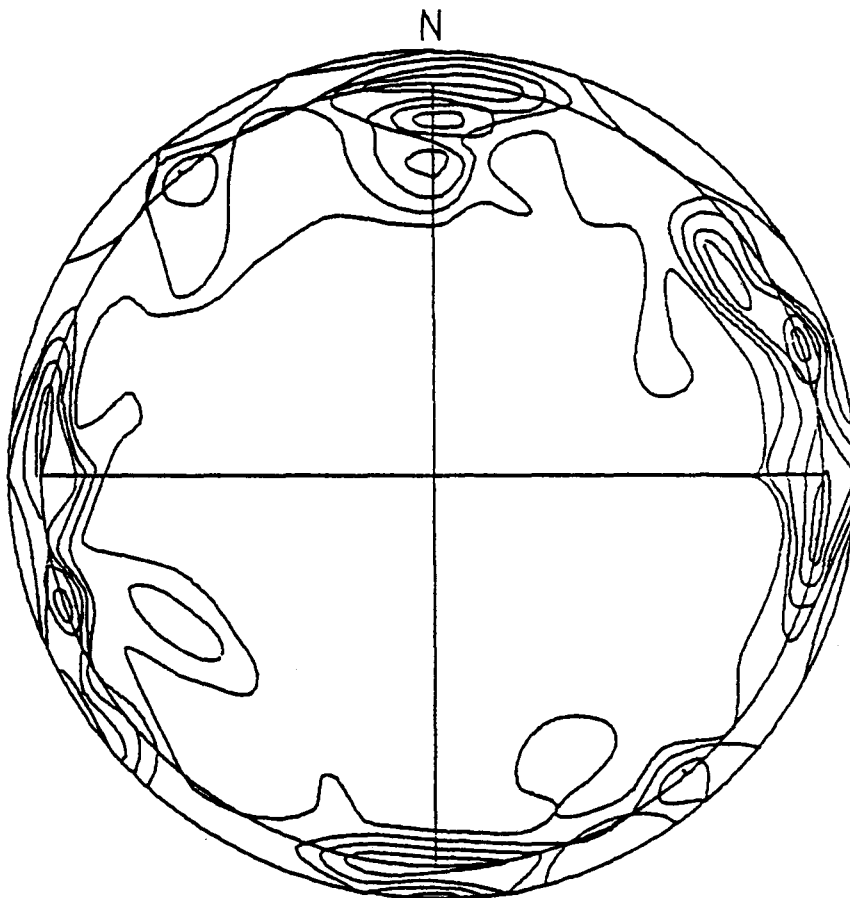


FIGURA 2. Diagrama de densidad de polos (proyección de Lambert) para la Bahía de Acapulco. Norte magnético.

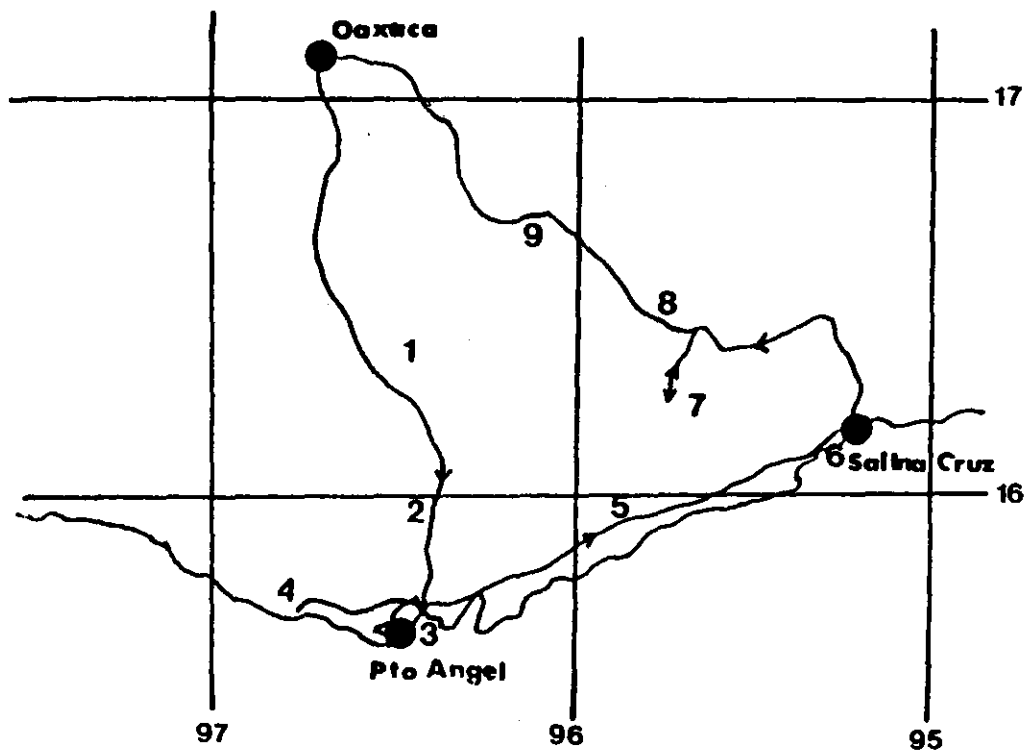


FIGURA 3. Mapa de la ruta y de las regiones visitadas en el Estado de Oaxaca.

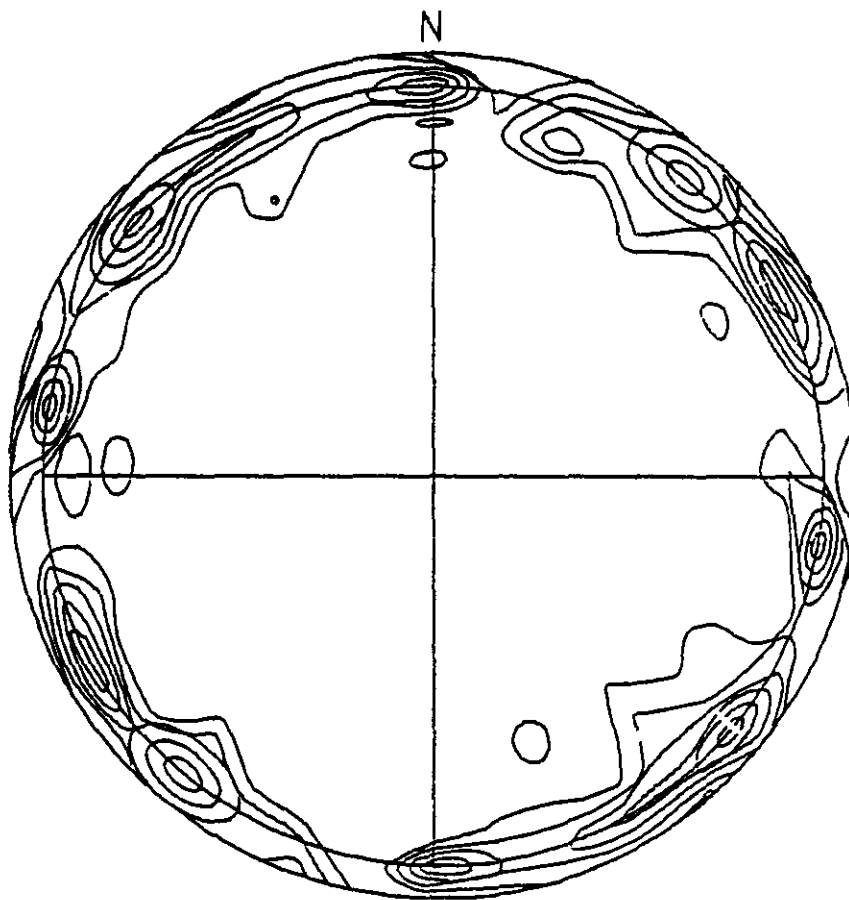


FIGURA 4. Diagrama de densidad de polos (proyección de Lambert) para el Estado de Oaxaca. Norte magnético.

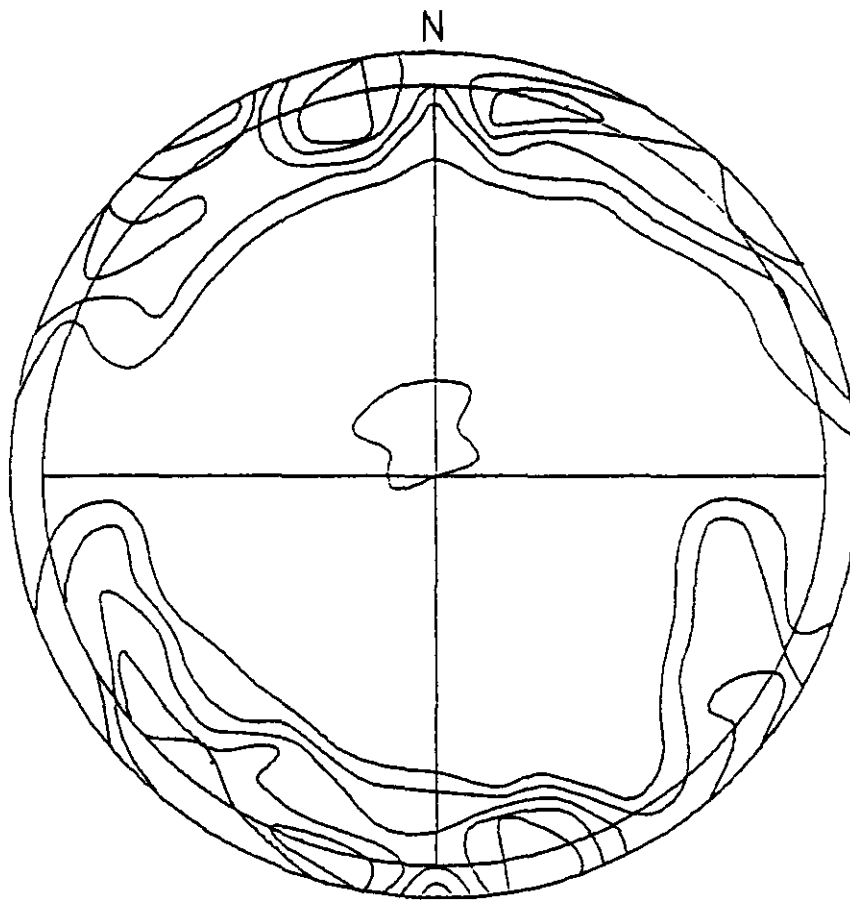


FIGURA 5. Diagrama de densidad de polos (proyección de Lambert) para la Península de Yucatán. Norte magnético.

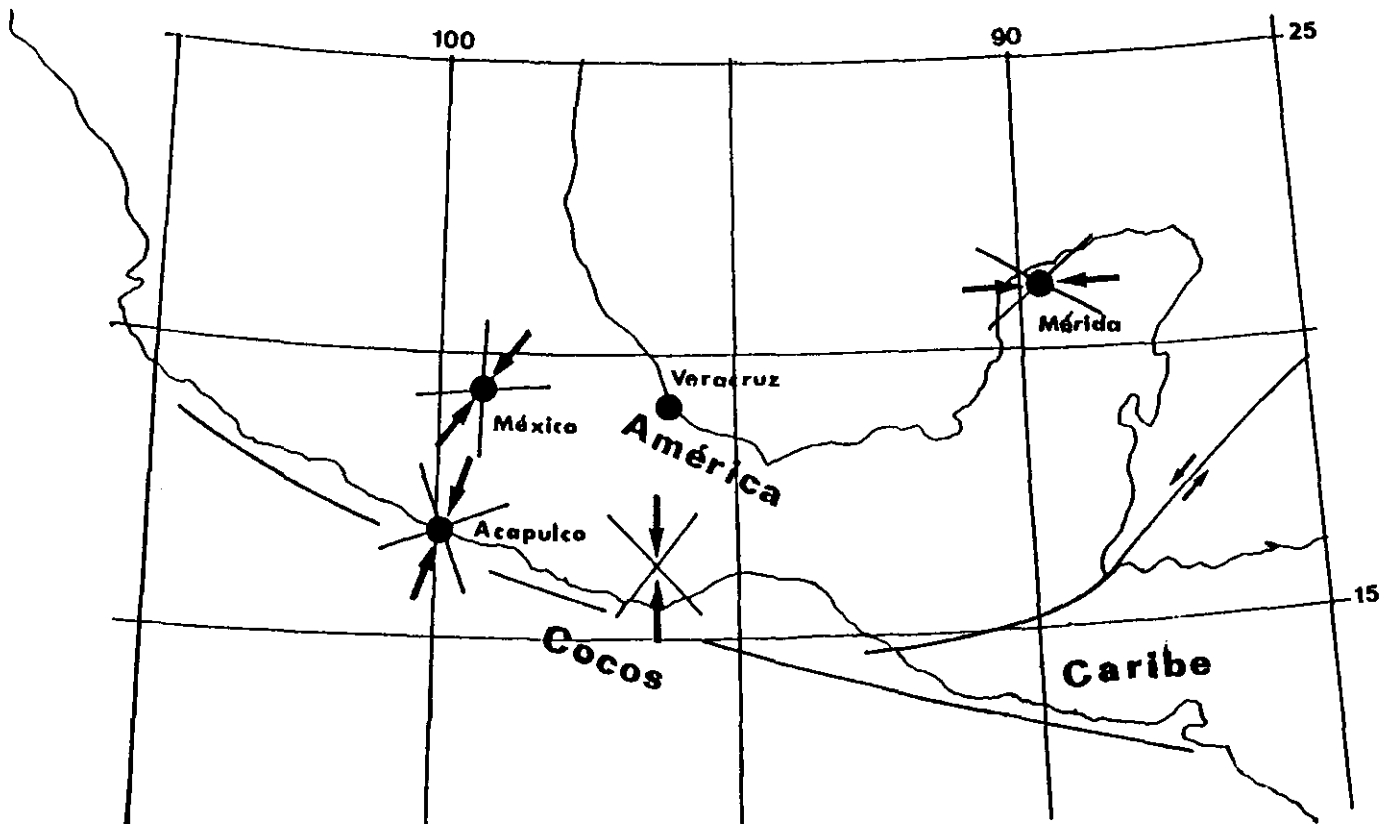


FIGURA 6. Rumbos preferenciales (líneas) de las diaclasas y máximas presiones (flechas) en cuatro regiones de México. Los márgenes de las placas tectónicas están marcados.

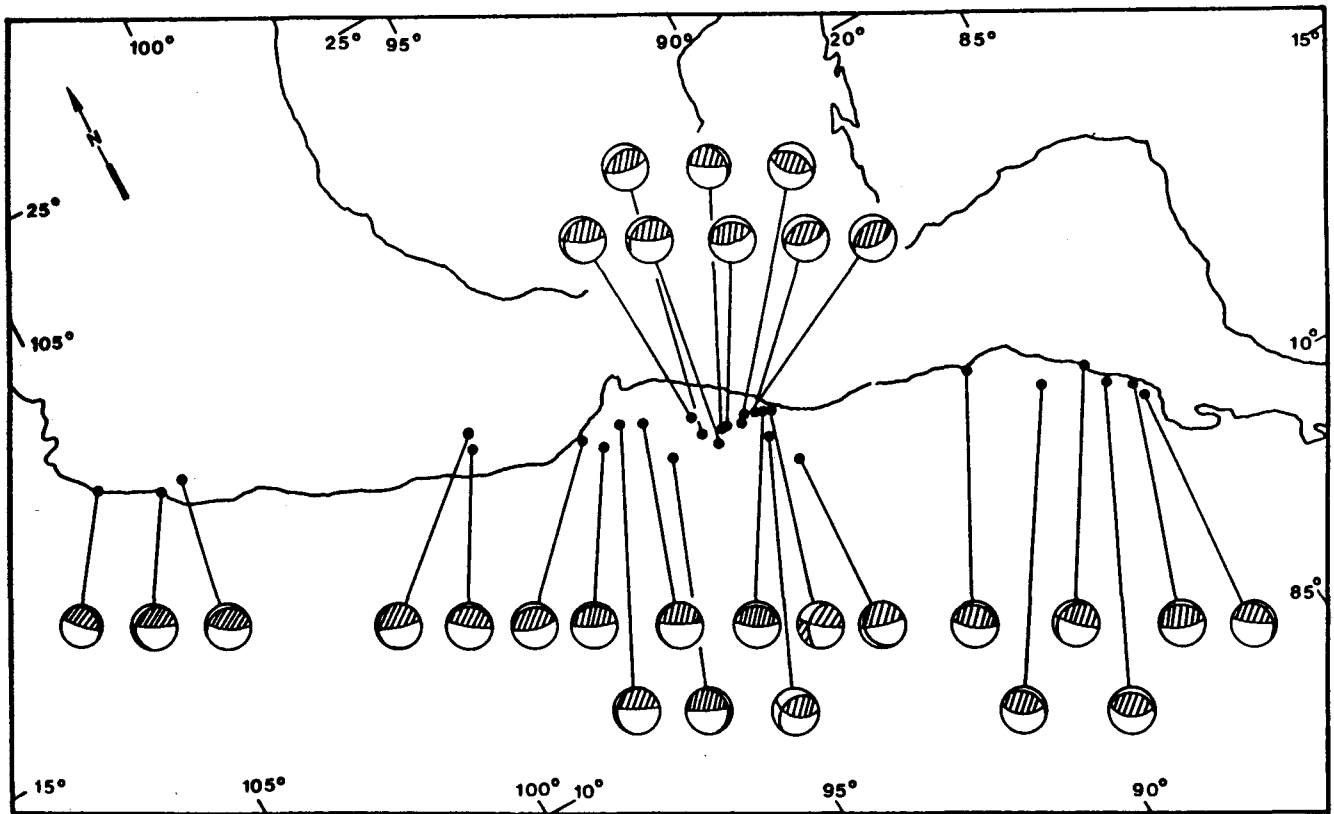


FIGURA 7. Mecanismos focales en la región de México, modificado según los estudios sísmicos de Molnar & Sykes (1969), y de Dean & Drake (1978).

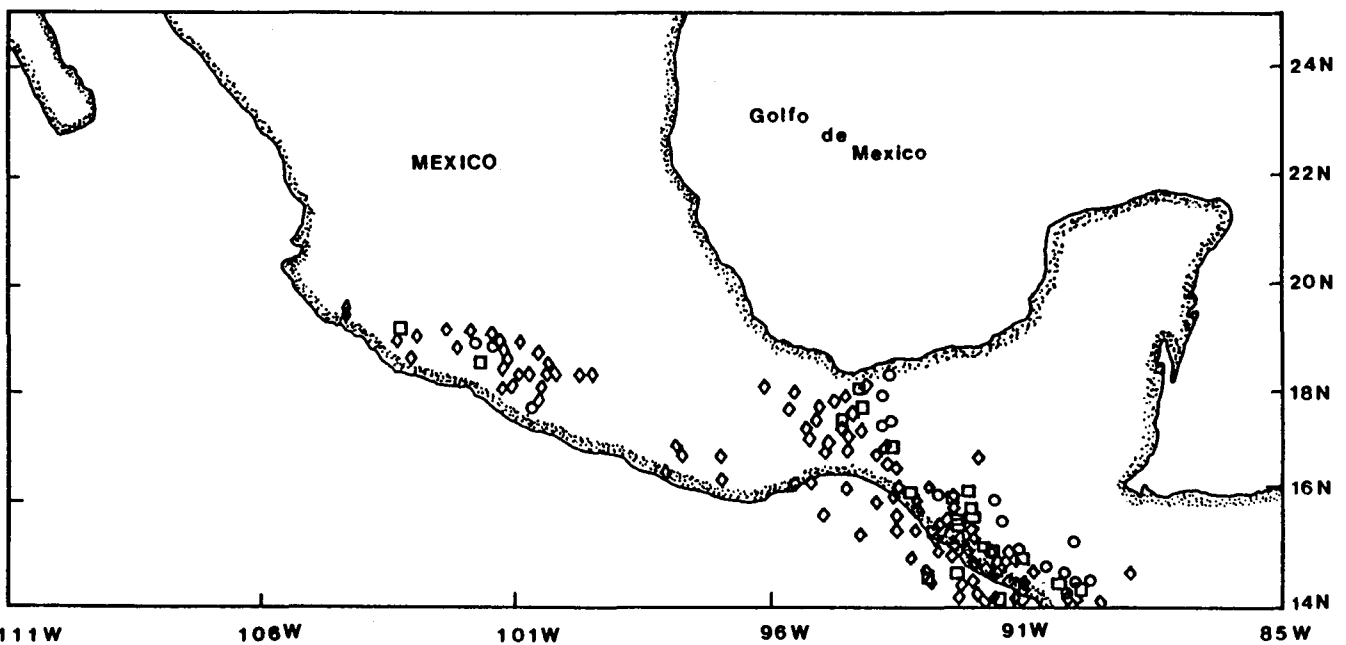


FIGURA 8. Profundidades de focos sísmicos en México, modificado según Nixon (1982). Los rombos significan profundidades entre 100-150 Km.; los cuadrados entre 150-200 Km., los círculos más de 200 Km.

# PLACA DE NORTEAMERICA

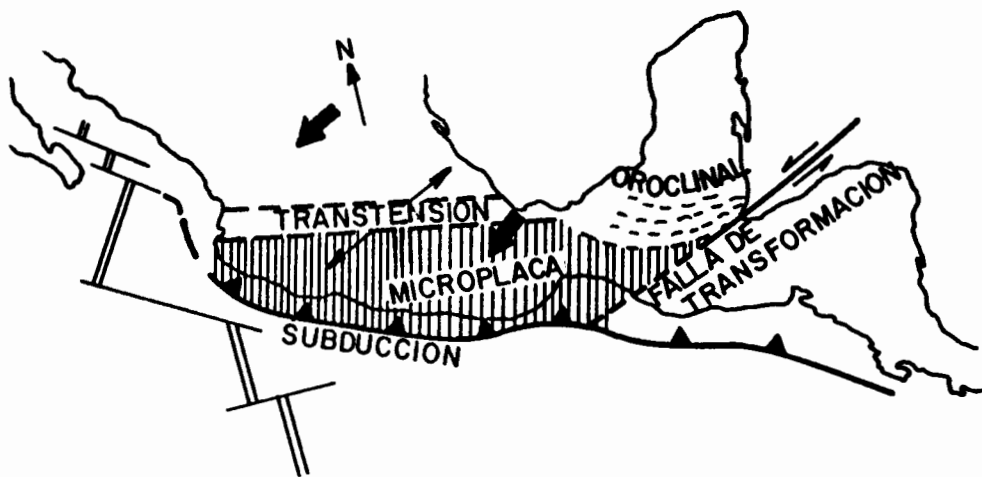


FIGURA 9. Origen de la faja volcánica transmexicana por desigualdad de velocidades del movimiento de placas (según Shurbet & Cebull 1984).

## BIBLIOGRAFIA

- BONET, F. & BUTTERLIN, J. (1977): Reconocimiento geológico de la Península de Yucatán. En: Enciclopedia Yucatanense.
- DEAN, B.W., DRAKE, C.L. (1978): Focal mechanism solutions and tectonics of the Middle America arc. *J. Geol.* **86**, 111-128.
- KOHLBECK, F. & SCHEIDEGGER, A.E. (1977): On the theory of the evaluation of joint orientation measurements. *Roch. Mech.* **9**, 9-25, 5 Figs., Viena.
- LeFEBRE, L. V. & McNALLY, K. C. (1985). Stress distribution and subduction of aseismic ridges in the Middle America subduction zone. *J. Geophys. Res.* **90** (B6), 4495-4510.
- LOMNITZ, C. (1982): Direct evidence of a subducted plate under southern Mexico. *Nature* **296**, 235-238.
- MOLNAR, P., SYKES, L.R. (1969): Tectonics of the Caribbean and middle America Regions. *Bull. Geol. Soc. Amer.* **80**, 1639-1684.
- NIXON, G.T. (1982): The relationship between Quaternary volcanism in central Mexico and the seismicity and structure of subducted ocean lithosphere. *Bull. Geol. Soc. Am.* **93**, 514-523.
- REYES, A., BRUNE, J.N., LOMNITZ, C. (1979): Source mechanism and aftershock study of the Colima, México earthquake of January 30, 1979. *Bull. Seism. Soc. Amer.* **69** (6), 1819-1840.
- REYES, A., GONZALES, J., MUNGUÍA, L., NAVA, A., VERNON, F., BRUNE, J.F. (1980): Locations of aftershocks of the Oaxaca earthquake using smoked paper recorders and digital event recorders. *Geofísica Internacional (México)* **19** (4), 341-349, México.
- SCHEIDEGGER, A.E. (1979): Joint orientations in Central Mexico. *Geofísica Internacional (México)* **18** (4), 329-346.
- SCHEIDEGGER, A.E. (1985): The significance of surface joints. *Geophys. Surveys* **70**, 259-271.
- SHURBET, D.H., CEBULL, S.E. (1984): Tectonic interpretation of the Trans-Mexicano volcanic belt. *Tectonophysics* **101**, 159-165.