

PALEOMAGNETISMO Y TERRENOS TECTONOESTRATIGRAFICOS DE MEXICO

*E. Cabral Cano**
*D. J. Morán Zenteno**
*J. Urrutia Fucugauchi**

RESUMEN

Se presenta una síntesis de los resultados paleomagnéticos disponibles para México, en el contexto de la distribución posible de terrenos tectonoestratigráficos.

Entre las conclusiones de interés derivadas de los datos disponibles se pueden mencionar: (1) los datos paleomagnéticos (Mesozoico y Cenozoico) para México difieren de los de Estados Unidos y Canadá (margen oeste de Norteamérica), indicando que la historia tectónica de la porción sur de la Cordillera Oeste (México) es distinta a la de la porción norte; (2) los datos para el Cenozoico de México divergen (diferencias en la declinación paleomagnética; valores de R negativos) de los datos de Norteamérica, sugiriendo la ocurrencia de rotaciones tectónicas en el sentido contrario a las manecillas del reloj; (3) los datos para el Mesozoico de México no presentan un patrón común, ya que se observan datos con valores distintos de R y F (parámetros de rotación y traslación) para las distintas localidades aunque para el Cretácico se percibe una aparente ausencia de desplazamientos tectónicos mayores y (4) la mayoría de los datos para el Paleozoico de México se aproximan a los datos de Norteamérica, sin embargo, existe la posibilidad de desplazamientos no percibidos o de remagnetizaciones desarrolladas en el intervalo Triásico—Jurásico.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to give a summary of available Paleomagnetic data from Mexico, which are related with possible distribution of Tectonostratigraphic Terrains.

Very important conclusions are derived from this study. (1) The paleomagnetic data (Mesozoic and Cenozoic) from Mexico are different from those of United States and Canada (North America West Margin) show that the tectonic history of the southern region of the western cordillera is different from the southern portion. (2) The Cenozoic data from Mexico diverges from those of North America, suggesting the occurrence of counterclockwise tectonic rotations. (3) The Mesozoic data does not show a common pattern, because the values of R and F (Rotation and Translation Parameters) vary from site to site, however in the Cretaceous rocks an apparent absence of major tectonic shift was detected. (4) Most of the paleozoic data are similar to those of North America nevertheless the possibility of unknown displacements could exist in the Triassic—Jurassic range.

* *Laboratorio de Paleomagnetismo y Geofísica Nuclear, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., Delegación Coyoacan 04510, México.*

INTRODUCCION

Estudios paleomagnéticos en los márgenes occidental y oriental de los Estados Unidos de América (USA) y Canadá (ver por ejemplo: Beck, 1976, 1980; Cox, 1980; Irving, 1979; Van der Voo & Channell, 1980) han desde hace ya varios años indicado que las direcciones y posiciones polares paleomagnéticas divergen de las reportadas para la parte cratónica de Norteamérica, lo que sugiere la ocurrencia de traslaciones y rotaciones tectónicas. Estudios paleontológicos, estratigráficos y tectónicos en esas áreas han también indicado que estas áreas están formadas por un conjunto o "collage" de terrenos con historias tectonoestratigráficas independientes (ver por ejemplo: Jones *et al*, 1977; Coney *et al*, 1980; Ben Avraham *et al*, 1981). Estos estudios interdisciplinarios han modificado los conceptos tectónicos para la evolución de cinturones orogénicos, dando lugar a una tectónica de "terrenos" o de "collage", con importantes implicaciones para la evolución y crecimiento de márgenes continentales. El concepto de aloctonía no está implícito en la definición de terreno, que constituye una entidad con una historia tectonoestratigráfica común; sin embargo los datos paleogeográficos y particularmente los datos paleomagnéticos han indicado historias complejas de movimiento de los terrenos y sobre la deformación al tiempo de acreción y post—acreción.

ESTUDIOS EN MEXICO

La aparente similitud en características litológicas, estructurales, etc. del cinturón orogénico cordillerano del oeste de Estados Unidos de América (USA) y Canadá permitió a algunos autores sugerir que resultados paleomagnéticos similares a los reportados para ese margen continental oeste serían eventualmente documentados también en México (por ejemplo Van der Voo & Channell, 1980). Los reportes sobre la división del margen oeste de USA y Canadá en diversos terrenos estratotectónicos también invitó a autores a sugerir esquemas similares para México e inclusive para el margen oeste de América del Sur en el cinturón andino (por ejemplo Ben Avraham *et al*, 1981).

En los últimos 10 años, se han reportado varios estudios paleomagnéticos realizados en México (ver Urrutia, 1979, 1984) y se han comenzado a sintetizar los datos estratigráficos y tectónicos (Campa & Coney, 1983), con lo que un estudio interdisciplinario de la evolución tectónica de México constituye una posibilidad interesante. El propósito de este reporte es el de presentar una síntesis de los resultados paleomagnéticos (considerados útiles para interpretaciones tectónicas) y discutirlos en términos de la distribución conocida de terrenos estratotectónicos.

Los resultados paleomagnéticos seleccionados se presentan en una tabla y se ilustran en un mapa, divididos de acuerdo a la distribución de terrenos tectonoestratigráficos (tabla 1 y figura 1). Estos, mapa y tabla son útiles como herramientas de trabajo, que ilustran el estado actual de conocimientos y permiten planear trabajos futuros de interés. No obstante que se tienen 43 resultados paleomagnéticos, se puede observar que para la mayoría de los terrenos aún no se dispone de datos. Esto nos sirve para enfatizar la necesidad de intensificar las investigaciones dentro de un programa paleomagnético—estratigráfico—tectónico, que de hecho constituye una de las prioridades principales del Laboratorio de Paleomagnetismo y Geofísica Nuclear de la UNAM. Uno de los objetivos principales de este programa es el de disponer de datos paleomagnéticos precisos para las distintas unidades (distintas edades) de cada terreno, que permitan estimar, la distribución espacio—temporal y las historias de movimiento del "collage" de terrenos estratotectónicos que conforman México al presente.

SELECCION DE DATOS—METODOS

En la selección de resultados paleomagnéticos para este trabajo se usaron criterios simples similares a los adoptados por Irving (1979) para la construcción de la curva de movimiento polar aparente (APWP) para el cratón de Norteamérica (ver también Irving *et al*, 1976).

Los resultados fueron clasificados en:

- 1) A**, que incluye aquellos resultados basados en 5 o más sitios, con 10 o más muestras y cuyos parámetros estadísticos (de acuerdo a Fisher, 1953) para la dirección media son $k \geq 10$ y $\alpha_{95} \leq 15^\circ$ para la posición polar son $k \geq 10$ y $A_{95} \leq 20^\circ$.
- 2) A*, que incluye aquellos resultados que cumplen con los criterios establecidos para A**, excepto que están basados en menos de 5 sitios.
- 3) B, que incluye todos aquellos resultados no incluidos en A* y A**.

Para este trabajo se usan sólo los resultados A**. Esta clasificación no necesariamente selecciona aquellos resultados que registran adecuadamente el campo paleomagnético para un tiempo dado, sin embargo constituyen una primera selección que puede ser mejorada en un futuro.

Con fines de comparación se usan los datos de la APWP de Norteamérica reportados por Irving (1979) y Van Alstine & de Boer (1978). A partir de las posiciones polares medias para cada intervalo de tiempo (del Carbonífero al Reciente), se calcularon las direcciones medias esperadas para las distintas localidades estudiadas en Mé-

xico. Estas direcciones esperadas (flechas con línea delgada en el mapa de la figura 1) representan las direcciones que deberían observarse en cada localidad si estas porciones de México hubiesen mantenido la misma posición relativa actual con respecto al cratón de Norteamérica. En otras palabras, en caso de que estas direcciones esperadas discrepen de las direcciones observadas (en los estudios paleomagnéticos), se tiene la posibilidad de movimientos tectónicos relativos entre la localidad estudiada y el cratón de Norteamérica (los cuales son proporcionales a la divergencia angular entre las direcciones esperada y observada).

Para fines de estudio se ha encontrado conveniente (Irving, 1979; Beck, 1980) el separar los movimientos tectónicos en traslaciones (cambios en latitud) y rotaciones (cambios en orientación). Estas están reflejadas en divergencias angulares en inclinación magnética y en declinación magnética, respectivamente. El sistema de coordenadas adoptado se ilustra en la figura 2. Los tipos de movimientos tectónicos y cambios en inclinación y declinación se ilustran en la figura 3. En el caso de una traslación, las declinaciones esperada (D_x) y observada (D_o) son similares, mientras que las inclinaciones esperada (I_x) y observada (I_o) divergen; siendo $I_o > I_x$ cuando el movimiento es hacia el norte (como en la figura 3a), o $I_o < I_x$ cuando el movimiento es hacia el sur. En el caso de una rotación se tiene $I_o > I_x$ y $D_o > D_x$; siendo $D_o > D_x$ cuando la rotación es en el sentido de las manecillas del reloj (figura 3b) o $D_o < D_x$ cuando la rotación es en sentido contrario.

Con objeto de estimar la incertidumbre en estos datos, se pueden emplear los parámetros estadísticos asociados a las direcciones paleomagnéticas (estadística de Fisher, 1953); en particular, los semi-ángulos de confianza al 95% de las direcciones esperadas (A_{95}) y observadas (α_{95}). Cuantificando las traslaciones y rotaciones con las diferencias en inclinaciones (parámetro F) y declinaciones (parámetro R), se tienen los parámetros estadísticos ΔF y ΔR , correspondientes. Las ecuaciones correspondientes se incluyen en la figura 4; en la que también se representan los cambios observados en las posiciones polares paleomagnéticas, entre los paleopolos esperados de las curvas APWP de Norteamérica y los paleopolos observados para las localidades en México.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la tabla 1 se incluyen los datos paleomagnéticos que satisfacen los requerimientos de la categoría A** y los resultados de los cálculos de R, F, ΔF y ΔR (éstos 2 últimos aparecen como DE y DR en la tabla). Estos resultados se ilustran en el mapa de la figura 1. Con flechas de línea delgada se representan las declinaciones de las direc-

ciones esperadas y con flechas de línea gruesa se tienen las declinaciones observadas; la diferencia angular en declinaciones nos representa R (figura 4). Para representar F (diferencia entre inclinaciones), se escogió escalar el vector observado con respecto al esperado; de tal forma que una diferencia en inclinaciones de 2° nos da una diferencia en longitud del vector observado de 1 mm. En el mapa se ha añadido la división de terrenos tectonoestratigráficos adoptada de las propuestas por Campa & Coney (1983) e IMP (1984). Los resultados en la tabla 1 se han agrupado de acuerdo a esta división. Las edades de las unidades muestreadas se indican en el mapa y tabla. Debe observarse que no se han representado los terrenos de cobertura que cubren varios terrenos como los de la Sierra Madre Occidental y los de la Faja Volcánica Transmexicana. Los resultados que corresponden a estos terrenos de cobertura se indican con asteriscos en la tabla.

Siguiendo las ideas más recientes sobre la evolución tectónica del Golfo de México, Mar Caribe y áreas y adyacentes de México y Centroamérica y las propuestas de paleorreconstrucción de los continentes alrededor del Atlántico, se esperaría que la divergencia angular (parámetros F y R) entre los datos esperados y observados en México, aumentará con el tiempo, particularmente para edades anteriores al Jurásico Medio en el sur de México. Paradójicamente no se han observado este tipo de resultados para esta porción del país, a pesar de que en la mayor parte de las reconstrucciones para el intervalo Pérmico—Jurásico Medio se sobrepone en algún momento la porción septentrional de la Gondwana en el espacio del sur de México. Esta sobreposición se ha manifestado tanto en las reconstrucciones basadas en la correspondencia de los bordes continentales alrededor del Atlántico (Bullard *et al*, 1965), como en las reconstrucciones basadas en las posiciones polares paleomagnéticas (Van Der Voo *et al*, 1976; Irving, 1979) y en el análisis de las anomalías magnéticas del Atlántico Norte (Ladd, 1976). Si se acepta que la Formación Tiñú (referencia 43) fue probablemente remagnetizada en el Pérmico, como lo sugiere la gran similitud de sus direcciones con las de la Formación Yododeñe (referencia 40) se podrían considerar algunas salidas alternativas para resolver la paradoja.

Una posible explicación puede ser que los terrenos Oaxaca y Mixteca se hayan desplazado después del Pérmico en trayectorias cercanas a una misma línea de paleolatitud. En este caso el desplazamiento no produciría una divergencia angular significativa entre las direcciones paleomagnéticas observadas y las esperadas con respecto a Norteamérica. Una procedencia del oriente sería consistente con la afinidad petrológica y geocronológica que tienen los complejos Acatlán y Oaxaqueño con los Apalaches del norte, que para principios del Mesozoico ocupaban una latitud cercana a la del sur de México. Este modelo sería

también consistente con la propuesta de desplazamiento de Sudamérica en el Permo—Triásico desde una posición frente a los Apalaches hasta su posición en la Pangea de Bullard (Morel e Irving, 1981). La similitud de las asociaciones faunísticas de la secuencia del Paleozoico Superior de Olinalá, El Antimonio, Sonora y Las Delicias, Coahuila (Corona—Esquivel, 1985), podría sugerir, sin embargo, que la procedencia de estos terrenos sería pacífica.

Otra posibilidad es que las direcciones paleomagnéticas obtenidas de los terrenos Mixteca y Oaxaca sean el resultado de una remagnetización desarrollada entre el Triásico y el Jurásico Tardío, lo que significaría una divergencia con las direcciones esperadas con respecto a Norteamérica para dicho intervalo. La inclinación paleomagnética baja obtenida para el área de Olinalá refuerza esta posibilidad. Si bien, los resultados paleomagnéticos para el Jurásico del sur de México no son todavía concluyentes, se esperaría, de acuerdo a este segundo modelo, direcciones hacia la izquierda de las esperadas con respecto a Norteamérica. Esta posibilidad sería congruente con la afinidad pacífica de algunas faunas del Jurásico Medio de la Mixteca (Género *Neoquenocera* Westerman *et al.* 1984).

Las direcciones paleomagnéticas obtenidas de rocas triásicas y jurásicas en el área de la Sierra Madre Oriental manifiestan divergencias angulares en ambos sentidos con respecto a Norteamérica (referencias 13 a 31). Algunos de estos resultados han sido interpretados como resultado de la rotación en el sentido contrario de las manecillas del reloj de esta porción de México con respecto a Norteamérica (Gose *et al.*, 1982). Asimismo, en la secuencia del Triásico Superior—Jurásico Inferior del Antimonio, Sonora, se obtuvo una divergencia en la inclinación con respecto a las inclinaciones paleomagnéticas esperadas (referencia 18) en lo que, según Cohen *et al.* (1982) es la manifestación de un desplazamiento lateral izquierdo del Terreno Caborca.

Algunos de estos resultados para el norte de México apoyan las propuestas de grandes desplazamientos laterales izquierdos para el Jurásico, sin embargo, la dispersión en las direcciones obtenidas de la Sierra Madre Oriental, sugiere la posibilidad de complicaciones estructurales y rotaciones locales que oscurecerían en gran medida los movimientos de toda la región con respecto a Norteamérica. Por otra parte, la divergencia en las inclinaciones esperadas y observadas para el área del Antimonio no es mayor que el margen de incertidumbre calculado ($DF = 16.2^\circ$) lo que le da a la interpretación del desplazamiento lateral izquierdo una fuerte componente especulativa.

Las direcciones paleomagnéticas cretácicas obtenidas (referencias 10, 11, 36, 37 y 41) no difieren significativamente de las direcciones esperadas con respecto a Norteamérica, lo que indica una aparente ausencia de desplazamientos tectónicos mayores, aunque no se descarta

la posibilidad de movimientos no percibidos a lo largo de una misma paleolatitud.

Los datos paleomagnéticos obtenidos de las cubiertas volcánicas de la Sierra Madre Occidental y la Faja Volcánica Transmexicana muestran divergencias angulares, generalmente a la izquierda, con respecto a Norteamérica. Para algunas localidades de la Faja Volcánica dichas divergencias han sido interpretadas por Urrutia—Fucugauchi (1981a) como rotaciones locales de bloques en el marco de probables desplazamientos laterales izquierdos.

Entre las conclusiones de interés derivadas de los datos disponibles (tabla 1 y figura 1) se pueden mencionar: (1) los datos paleomagnéticos para México difieren de los de Estados Unidos y Canadá (margen oeste), indicando que la historia tectónica de la porción sur de la Cordillera Oeste (México) es distinta a la de la porción norte; (2) los datos para el Cenozoico de México divergen (valores de R negativos) de los datos de Norteamérica, sugiriendo la ocurrencia de rotaciones tectónicas locales en el sentido contrario a las manecillas del reloj; (3) los datos para el Mesozoico de México no presentan un patrón común, ya que se observan datos con valores distintos de R y F para cada una de las distintas localidades, aunque para el Cretácico se percibe una aparente ausencia de desplazamientos tectónicos mayores y (4) los datos para el Paleozoico de México aparentemente concuerdan con los datos de Norteamérica. Sin embargo, existe la posibilidad de desplazamientos no percibidos o de remagnetizaciones desarrolladas en el intervalo Triásico—Jurásico.

REFERENCIAS DEL TEXTO

- BECK, M. E., Jr., 1976. Discordant Paleomagnetic Pole Positions as evidence of regional shear in the Western Cordillera of North America. *American Jour. Sci.*, Vol. 276, pp. 694—712.
- BECK, M. E., Jr., 1980. Paleomagnetic record of plate—margin tectonic processes along the western edge of North America. *Jour. Geophys. Res.*, Vol. 85, pp. 7115—7131.
- BEN—AVRAHAM, Z., A. NUR, D. JONES, and A. COX, 1981. Continental accretion: From oceanic plateaus to allochthonous terranes. *Sci.*, Vol. 213, pp. 47—54.
- BULLARD, F. C., J. F. EVERETT, and A. G. SMITH, 1965. The fit of continents around the Atlantic. In Blackett P. M. S., E. C. Bullard and S. K. Runcorn, A Symposium on continental drift. *Roy. Soc. London Philos. Trans.*, 258—A pp. 41—51.
- CAMPA, M. F., and P. J. CONEY, 1983. Tectono—stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico. *Can. Jour. Earth Sci.*, Vol. 20, pp. 1040—1051.
- CONEY, P. J., D. L. JONES, and J. W. H. MONGER, 1980. Cordilleran suspect terranes. *Nature*, Vol. 288, pp. 329—333.
- CORONA—ESQUIVEL, R., 1985. Geología de la región comprendida entre Olinalá y Huamuxtltlán, Estado de Guerrero. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, p. 102.
- COX, A., 1980. Rotation of microplates in western North America. In: *The continental crust and its mineral deposits* (D. W. Strangway Ed.). *Geol. Assoc. of Canada Special Paper* 20, pp. 305—321.

- FISHER, R.A., 1953. Dispersion on a sphere. *Proc. R. Soc. A* 217, pp. 163—175.
- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO e INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA, GEOGRAFIA e INFORMATICA, 1984. Carta de terrenos y conjuntos estratotectónicos de la República Mexicana, 1a. edición.
- IRVING, E., 1979. Paleopoles and paleolatitudes of North America and speculations about displaced terranes. *Canadian Jour. Earth Sci.*, Vol. 16, pp. 669—694.
- IRVING, E., E. TANCZYK, and J. HASTIE, 1976. Catalogues of paleomagnetic directions and poles. *Earth Phys. Branch, Mines, Energy and Resources, Geomag. Sev.*, Vol. 5, 6, 10. Ottawa, Canada.
- JONES, D.L., N.J. SILBERLING, and J.W. HILLHOUSE, 1977. Wrangellia, a displaced terrane in northwestern North America: *Can Jour. Earth Sci.*, Vol. K1, pp. 2565—2577.
- LADD, J.W., 1976. Relative motion of South America with respect to North America and Caribbean tectonics. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Vol. 87, pp. 969—979.
- MOREL, P., and E. IRVING, 1981. Paleomagnetism and the evolution of Pangea. *Jour. Geophys. Res.*, Vol. 86, pp. 1858—1872.
- URRUTIA—FUCUGAUCHI, J., 1979. Preliminary apparent polar wander path for Mexico. *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, Vol. 56, pp. 227—235.
- URRUTIA—FUCUGAUCHI, J., 1980. Paleomagnetic studies of Mexican rocks. Ph. D. Thesis, Univ. Newcastle upon Tyne, U.K., p. 689.
- URRUTIA—FUCUGAUCHI, J., 1984. On the tectonic evolution of Mexico: Paleomagnetic constraints. *American Geophysical Union. Geodynamics Series*. Vol. 12, pp. 29—47.
- URRUTIA—FUCUGAUCHI, J. y D.J. MORAN—ZENTENO, 1985. Resultados paleomagnéticos preliminares del Paleozoico superior de Olinálá, Guerrero y sus implicaciones tectónicas. Memoria del VI Congreso Latinoamericano de Geología, Bogotá, Colombia.
- VAN ALSTINE, D.R., and J. DE BOER, 1978. A new technique for constructing apparent polar wander paths and the revised Phanerozoic path for North America. *Geology*, Vol. 6, pp. 137—139.
- VAN DER VOO, R., F.J. MAUK, and R.B. FRENCH, 1976. Permian Triassic continental configurations and the origin of the Gulf of Mexico. *Geology*, Vol. 4, pp. 177—180.
- VAN DER VOO, R. and J.E.T. CHANNELL, 1980. Paleomagnetism in Orogenic Belts. *Revs. Geophys. Space Phys.*, Vol. 18, pp. 455—481.
- WESTERMAN, G.E.C., R. CORONA and R. CARRASCO, 1984. The andean mid-Jurassic Neuquenicas ammonite assemblage of Cualac, Mexico. *Geol. Assoc. Canada, Spec. Paper 27*, pp. 99—112.

TABLA 1

DIRECCIONES PALEOMAGNETICAS OBSERVADAS Y ESPERADAS

No. REF.	EDAD	Fm. MUESTREADA	LOCALIZACION	Do	Io	ALFA 95	Dx	Ix	A 95	R	DR	F	DF	AUTOR
TERRENO CABORCA														
18	Trs-Ji	Fm. Antimonio	30.7/-112.5	350.0	33.8	12	350.6	20.4	6	-0.6	15.7	-13.4	16.2	2*
							351.5	27.3	6	-1.5	15.8	-6.5	15.7	
TERRENO CHIHUAHUA														
5	Eoceno	Volc. Chih.###	28.6/-105.8	154.6	-46.6#	4	350.0	47.1	5	-15.4	8.1	0.5	7.2	13
TERRENO COAHUILA														
10	Ks.	Gpo. Difunta	26.0/-101.0	325.0	38.3	12	337.1	52.1	8	-12.1	18.1	13.8	14.7	9
TERRENO CORTEZ														
1	Plioceno	Lodos Plioceno	31.0/-115.0	41.0	43.0	10	358.2	53.0	12	42.8	19.9	10.0	16.0	11
TERRENO GUERRERO														
2	Oligoceno	Volc. S.M. Occ.###	24.0/-105.0	151.9	-37.1#	10	355.6	41.7	5	-23.7	13.7	4.6	12.0	10
3	Oligoceno	Volc. Tepalcates—Navíos	24.0/-105.1	157.5	-34.5#	11	355.6	41.7	5	-18.1	14.5	7.2	12.9	5
4	Terc. inf.	Volc. Jalisco	20.7/-102.3	335.6	36.2	10	355.7	36.8	5	-20.1	13.5	0.6	12.4	17
6	Olig.—Mio.	Volc. Sin—Dgo.	24.0/-106.0	335.8	33.7	10	355.6	41.8	5	-19.8	13.2	8.1	12.0	1
7	Ks—Ti	Volc.—Int. Sin.	24.0/-106.0	3.3	34.9	9	338.2	52.0##	8	25.1	14.5	17.1	12.4	1
							346.4	47.3	7	16.9	13.6	12.4	12.3	
							350.3	43.9	5	13.0	12.3	9.0	11.0	
TERRENO OAXACA														
36	Alb—Cen.		16.5/-97.0	348.7	23.0	7	338.3	37.3	4	10.4	8.7	14.3	9.1	14
40	Pen—Perm.	Fm. Yododeñe	17.5/-97.2	152.9	24.1	4	151.3	-34.3	5	1.6	6.9	-10.2	8.6	3
43	Tremadoc.	Fm. Tiñú	17.5/-97.2	160.0	24.0	n.d.	151.0	-34.0	n.d.	9.0	n.d.	-10.0	n.d.	7
TERRENO MAYA														
9	Maestrich.	Fm. Méndez	22.3/-98.2	349.1	27.8	6	340.8	45.2	7	8.3	10.4	17.4	10.6	6
37	Ki	Fm. San Ricardo	16.8/-93.7	340.3	19.9	3	340.4	20.7	13	-0.1	13.6	0.8	23.8	5

TABLA 1

DIRECCIONES PALEOMAGNETICAS OBSERVADAS Y ESPERADAS
(Continuación)

No. REF.	EDAD	Fm. MUESTREADA	LOCALIZACION	Do	Io	ALFA 95	Dx	Ix	A 95	R	DR	F	DF	AUTOR
38	Jm-Js	Cg. Rojo Tr-J	17.6/-96.3	28.9	-14.0	11	356.5	-0.1##	6	32.4	12.8	13.9	16.3	ined
39	Perm. Inf.	Fm. Paso Hondo-Grupera	15.5/-92.5	177.8	0.6	4	153.8	-39.9	6	24.0	7.6	-39.3	9.2	3
TERRENO MIXTECA														
33	Olig-Mio.	Jantecico-Tepexco	18.7/-98.8	301.2	27.1	11	356.9	33.4	4	-55.7	13.1	6.3	12.6	12
34	Olig-Mio.	Volc. Gro.	18.6/-99.4	144.2	-22.4	9	355.8	33.1	5	-31.6	11.1	10.7	11.9	16
35	Pal-Eoc.	Fm. Balsas	18.6/-99.0	310.9	16.3	12	350.5	34.3	5	-39.6	13.6	18.0	14.2	16
41	Alb-Cen.	Fm. Morelos	17.7/-99.5	332.7	46.8	4	332.0	49.0	4	0.7	7.5	2.2	6.1	18
44	Pen-Perm.	Fm. Olinálá	17.7/-98.7	160.0	0.6	8	344.6	-28.2	7	-4.6	10.8	-28.8	14.1	19
TERRENO SIERRA MADRE ORIENTAL														
11	Apt-Alb.	Fm. C. del Cura	23.8/-99.2	345.1	43.5	3	331.6	49.2	10	13.5	12.3	5.7	11.8	4
12	Jurásico	Fm. Nazas	25.0/-103.5	350.6	28.4	8	335.6	46.4	15	15.0	19.3	18.0	19.9	9
13	Oxford.	Fm. Zuloaga	23.8/-99.2	180.8	-37.5#	2	348.3	28.5	13	12.5	13.7	-9.0	21.7	4
14	Oxford.	Fm. Zuloaga	23.8/-99.2	349.9	44.4	8	348.3	28.5	13	1.6	17.5	-15.9	23.0	4
15	Jm-Js.	Fm. La Joya	23.8/-99.2	124.3	-34.0#	13	334.8	46.9	4	-30.5	16.4	12.9	13.9	4
16	Jm-Js.	Fm. La Joya	23.6/-99.2	141.5	-23.3	10	334.9	46.7	4	-13.4	11.8	23.4	11.1	4
17	Trs	Fm. Huizachal	23.5/-99.5	330.4	28.9	6	351.8	27.0	12	-21.4	14.2	-1.9	21.2	9
19	Trs	Fm. La Boca	23.5/-99.5	222.9	-30.0	10	355.4	3.9##	6	47.5	13.0	-26.1	15.6	4
20	Trs	Fm. La Boca	23.7/-99.8	30.0	17.3#	7	350.6	-8.0	7	52.3	13.5	22.0	17.0	4
21	Trs	Fm. La Boca	23.8/-99.1	40.8	3.1#	13	355.2	4.4##	6	34.8	9.5	-12.9	13.8	4
22	Trs	Fm. La Boca	23.8/-99.1	40.0	3.2#	8	350.5	-7.6	7	39.5	10.1	-24.9	15.5	4
23	Trs	Fm. La Boca	23.8/-99.1	44.7	27.7#	10	355.5	4.5	6	45.3	14.3	1.4	17.7	4
24	Trs	Fm. La Boca	23.8/-99.2	229.4	-25.1	14	350.9	-7.6	7	49.9	14.8	-10.7	19.0	4
25	Trs	Fm. La Boca	23.8/-99.2	284.1	-6.4	6	355.5	4.5##	6	44.5	10.0	1.3	14.4	4
26	Trs	Fm. La Boca	23.8/-99.2	275.9	-18.0	6	350.9	-7.6	7	49.1	10.6	-10.8	16.0	4
27	Trs	Fm. La Boca	23.8/-99.2	263.8	-18.2	8	355.5	4.5##	6	49.2	12.8	-23.2	15.6	4
							350.9	-7.6	7	53.8	13.3	-35.3	17.1	4
							350.8	-7.5	7	58.6	17.0	-32.6	19.7	4
							355.5	4.5##	6	-71.4	8.5	10.9	13.4	4
							350.8	-7.5	7	-66.7	9.3	-1.1	15.1	4
							355.5	14.9##	6	-79.6	8.7	22.5	13.4	4
							350.8	-7.5	7	-74.9	9.4	10.5	15.1	4
							355.5	4.5##	6	-91.7	10.3	-13.7	14.4	4
							350.8	-7.5	7	-87.0	11.1	-25.7	16.0	4

DIRECCIONES PALEOMAGNETICAS OBSERVADAS Y ESPERADAS
(Continuación)

No. REF.	EDAD	Fm. MUESTREADA	LOCALIZACION	Do	Io	ALFA 95	Dx	Ix	A 95	R	DR	F	DF	AUTOR
28	Trs	Fm. La Boca	23.8/-99.2	110.8	-1.2#	9	355.5	4.5##	6	-64.7	10.8	3.3	15.0	4
29	Trs	Fm. La Boca	23.6/-99.2	141.1	-4.6##	355.5	350.8	-7.5	7	-60.0	11.4	-8.7	16.5	4
30	Trs	Fm. La Boca	23.6/-99.2	156.1	-13.3#	7	355.5	4.1##	6	-19.4	9.4	-9.2	13.9	4
31	Trs	Fm. La Boca	24.7/-100.1	137.1	-47.9#	6	350.8	-9.9	7	-14.7	10.1	-23.2	15.4	4
							355.1	6.4##	6	-38.0	10.8	-41.5	13.3	4
							350.4	-5.5	7	-33.3	11.4	-53.4	15.1	
TERRENO TOLIMAN														
32	Olig-Mio.	Gpo. Chichinautzin y Gpc.##	19.5/-99.2	179.0	-36.6	13	356.9	34.6	4	2.1	16.8	-2.0	14.3	8
TERRENO XOLOPAN														
42	Eoceno	Gr. Acapulco	16.5/-99.5	338.0	38.0	10	355.0	37.0		-17.0		-1.0		15

Dirección de la magnetización remanente interpretada como reversa en la referencia original.
Se dan dos o más polos para una mayor referencia, tomados de Irving (1979) y Van Alstine & de Boer (1978).
Terreno tectonoestratigráfico de cubierta.
* El número que aparece en la columna del autor, se refiere a la numeración en las referencias bibliográficas.

n.d. No se dispone de la información.

No. REF. Número de referencia con el cual aparece graficado en el plano anexo.

LOCALIZACION Latitud y longitud geográficas medias de los sitios de muestreo.

Do Declinación magnética observada.

Io Inclinación magnética observada.

ALFA 95 Angulo del cono de 95% de confianza para las direcciones observadas.

Dx Declinación magnética esperada según el polo de referencia utilizado.

Ix Inclinación magnética esperada según el polo de referencia utilizado.

A 95 Angulo del cono de 95% de confianza para el polo de referencia utilizado.

R Parámetro de rotación.

DR (Delta R), Parámetro de error al 95% de confianza para el parámetro R.

F Parámetro de traslación.

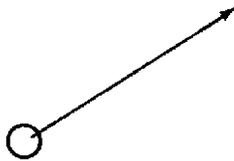
DF (Delta F), parámetro de error al 95 de confianza para el parámetro F.

REFERENCIAS DE LA TABLA

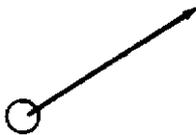
- BOBIER, C. and C. ROBIN, 1983. Paleomagnétisme de la Sierra Madre Occidental dans les Etates de Durango et Sinaloa (Mexique): Variations du champu ou rotations de blocs au Paléocène et au Néogène? *Geof. Intern.*, v. 22, pp. 57—86.
- COHEN, K.K., T.H. ANDERSON, and V.A. SCHMIDT, 1982. Preliminary results: Paleomagnetism of Mesozoic units from north-west Sonora and their tectonic implications for northern Mexico. *Geof. Intern.*, v. 20, pp. 219—233.
- GOSE, W.A., and L.A. SANCHEZ—BARREDA, 1982. Paleomagnetic results from southern Mexico. *Geof. Intern.*, v. 20, pp. 163—175.
- GOSE, W.A., R.C. BELCHER, and G.R. SCOTT, 1982. Paleomagnetic results from northeastern Mexico: Evidence for large Mesozoic rotations. *Geology*, v. 10, pp. 50—54.
- GUERRERO—GARCIA J.C., 1976. Contributions to paleomagnetism and Rb/Sr geochronology. Ph.D. Thesis, Univ. Texas at Dallas, 128 p.
- KEATING, B.H., 1975. Magnetostratigraphy and biostratigraphy of the Late Cretaceous and problems asociated with paleomagnetic study of DSDP material. M.S. Thesis, Univ. Texas at Dallas, 1975.
- MCCABE, C., R. VAN DER VOO, J. URRUTIA—FUCUGAUCHI, 1984. Paleomagnetism of the Tremadocian Tibu Limestone, State of Oaxaca, Mexico: EOS, 1984, AGU Meeting.
- MOOSER, F., A.E.M. NAIRN, and J.F.W. NEGENDANK, 1974. Paleomagnetic investigations of the tertiary and quaternary igneous rocks: VIII A paleomagnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of Mexico. *Geol. Rundsch.*, v. 63, pp. 451—483.
- NAIRN, A.E.M., 1976. A Paleomagnetic study of certain mesozoic Formations in northern Mexico. *Phys. Earth Planet. Inter.*, v. 13, pp. 47—56.
- NAIRN, A.E.M., J.F.W. NEGENDANK, H.C. NOLTIMER, and T.J. SCHMIDT, 1975. Paleomagnetic investigations of the tertiary and quaternary igneous rocks. X, the ignimbrites and lava units west of Durango, Mexico. *Neues. Jb. Geol. Palaeont.*, H11, pp. 664—678.
- STRANGWAY, D.W., B.E. McMAHON, T.R. WALKER and E.E. LARSON, 1971. Anomalous pliocene paleomagnetic pole positions from Baja California. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 13, pp. 161—166.
- URRUTIA—FUCUGAUCHI, J., 1981a. Paleomagnetism of the miocene Jantetelco granodiorites and Tepexco volcanic group and inferences of crustal block rotations in central Mexico. *Tectonophysics*, v. 76, pp. 149—168.
- URRUTIA—FUCUGAUCHI, J., 1981b. Paleomagnetic evidence for tectonic rotation of northern Mexico and the continuity of the Cordilleran erogenic belt between Nevada and Chihuahua. *Geology*, v. 9 pp. 178—183.
- URRUTIA—FUCUGAUCHI, J., 1981c. Reconnaissance paleomagnetic investigation of cretaceous limestones from southern Mexico. *Geof. Intern.*, v. 20, pp. 203—217.
- URRUTIA—FUCUGAUCHI, J., 1983a. Paleomagnetism and rock magnetism of selected intrusive bodies from southern Mexico: I Reconnaissance study of the Acapulco and Tierra Colorada intrusives. *Geof. Intern.*, v. 22, pp. 39—56.
- URRUTIA—FUCUGAUCHI, J., 1983b. Preliminary paleomagnetic study of lower Tertiary volcanic rocks from Morelos and Guerrero States. *Geof. Intern.*, v. 22, pp. 87—110.
- URRUTIA—FUCUGAUCHI, J. and S. PAL, 1977. Paleomagnetic data from tertiary igneous rocks, north—east Jalisco, México. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 36, pp. 202—206.
- URRUTIA—FUCUGAUCHI, J. and R. VAN DER VOO, 1983. Reconnaissance paleomagnetic study of cretaceous limestones from southern Mexico, EOS, 1983, AGU Meeting.
- URRUTIA—FUCUGAUCHI, J. y D.J. MORAN—ZENTENO, 1984. Resultados preliminares paleomagnéticos para el sur de México y sus implicaciones tectónicas. VII Conv. Nal. Soc. Geol. Mexicana, Resúmenes, p. 5.

EXPLICACION DE LA FIGURA 1

Para cada estudio se muestran dos tipos de vectores: uno representa la dirección magnética esperada y otro la dirección magnética observada.



DIRECCION ESPERADA: calculada a partir de los polos de referencia para Norteamérica, según Irving (1979), y Van Alstine & de Boer (1978). El azimut del vector corresponde a la declinación, y su longitud es arbitraria.



DIRECCION OBSERVADA: el azimut del vector corresponde a la declinación. Su longitud refleja la inclinación y es relativamente proporcional a la longitud del vector de dirección esperada. Las inclinaciones con mayor tendencia a la horizontalidad se representan como vectores más largos. La diferencia en longitudes entre los vectores esperado y observado, indicará una diferencia en sus inclinaciones magnéticas, directamente proporcional a la diferencia en longitudes.

La simbología bajo cada par de vectores representa el número de la referencia bibliográfica en la tabla de direcciones paleomagnéticas observadas y esperadas anexa, y la edad aproximada de las rocas muestreadas, respectivamente.

Las direcciones observadas múltiples, presentes en algunas localidades se refieren a varios estudios realizados en rocas de edad muy similar y dentro de un área geográfica pequeña, pero con direcciones demasiado divergentes que excluyen la posibilidad de promediarlas.



Límite de terreno tectonoestratigráfico. Nomenclatura y límites adaptados de las propuestas de Campa y Cooney (1983), e IMP—INEGI (1984).

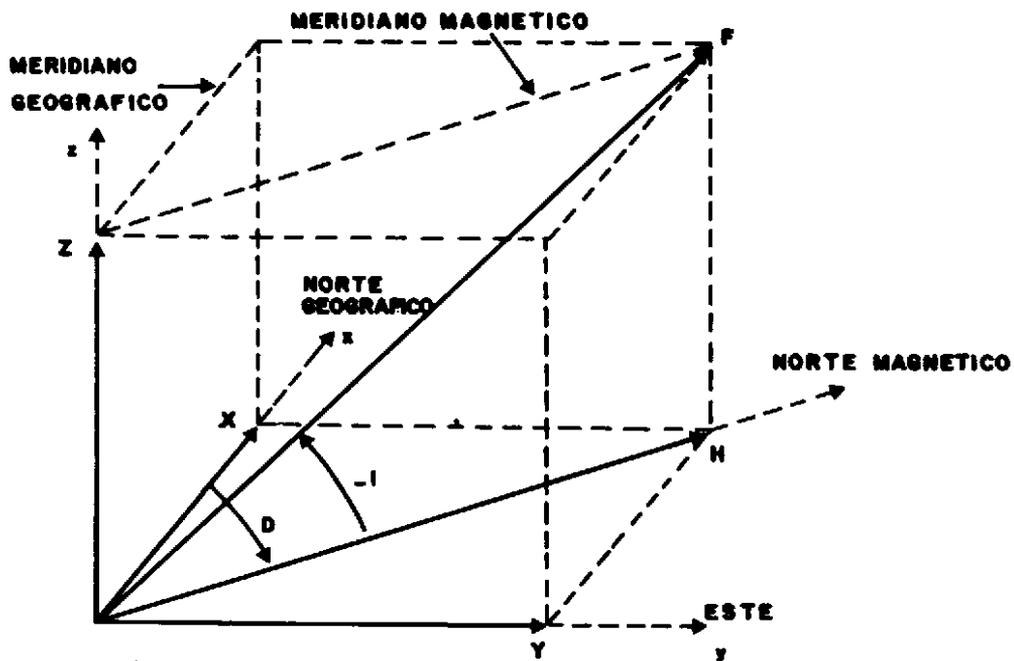
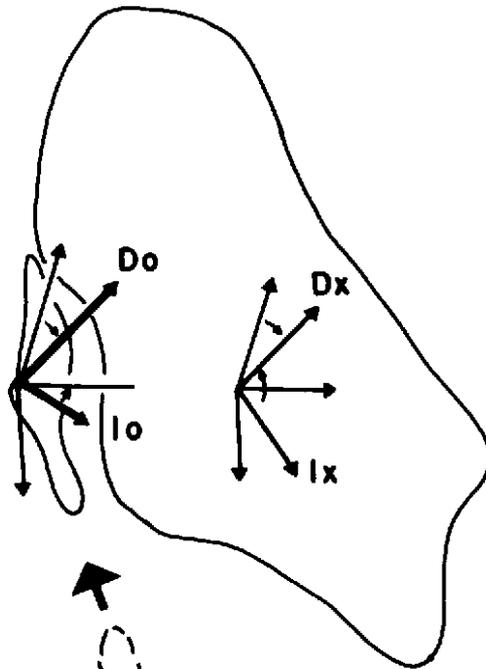


Figura 2.— Sistema de coordenadas empleado para referir los datos geomagnéticos y paleomagnéticos. La declinación D se mide en grados a partir del norte geográfico (valores positivos al este) y la inclinación I se mide en grados a partir de la horizontal (valores positivos hacia abajo de la horizontal).

TRASLACION

$$I_o < I_x$$

$$D_o \approx D_x$$



(A)

Dirección esperada

D_x, I_x

Dirección observada

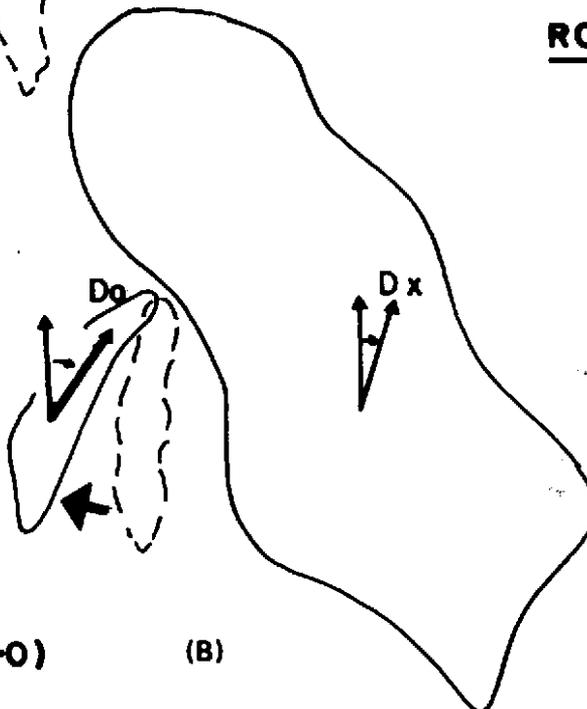
D_o, I_o

Hacia el Norte ($F > 0$)

ROTACION

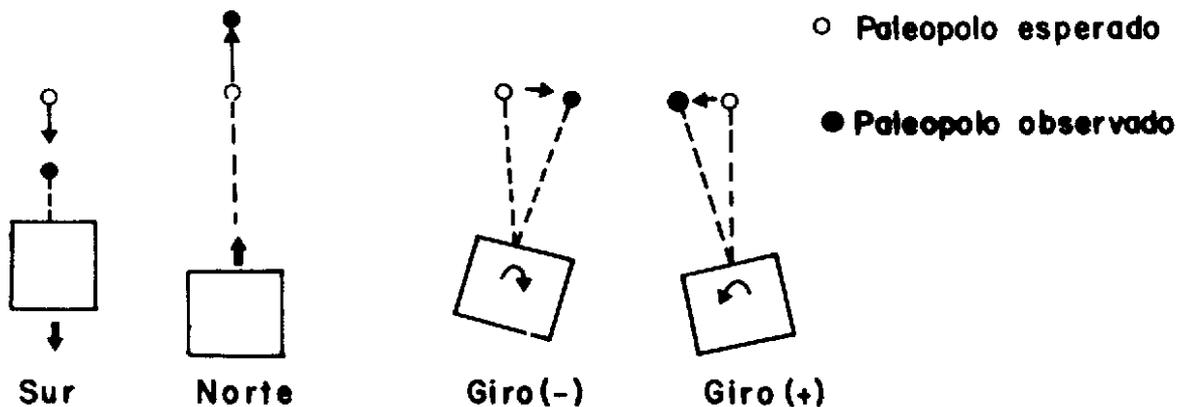
$$I_o \approx I_x$$

$$D_o > D_x$$



Giro (-)  ($R > 0$) (B)

Figura 3.— Representación esquemática de los efectos de traslaciones y rotaciones tectónicas en los resultados paleomagnéticos (direcciones: declinaciones e inclinaciones).



TRASLACION

$$F = I_x - I_o$$

$$\Delta I_o = \alpha_{95}$$

$$\Delta I_x = 2A_{95} / (1 + 3 \cos^2 p)$$

$$\Delta F = (\Delta I_x^2 + \Delta I_o^2)^{1/2}$$

ROTACION

$$R = D_o - D_x$$

$$\Delta D_o = \sin^{-1} (\sin \alpha_{95} / \cos I_o)$$

$$\Delta D_x = \sin^{-1} (\sin A_{95} / \sin p)$$

$$\Delta R = (\Delta D_o^2 + \Delta D_x^2)^{1/2}$$

Donde:

D = Declinación

I = Inclinación

D_o = Dirección observada

I_o = Inclinación observada

D_x = Dirección esperada

I_x = Inclinación esperada

Figura 4.— Representación esquemática de los efectos de traslaciones y rotaciones tectónicas en los resultados paleomagnéticos (posiciones polares). Se incluyen las ecuaciones necesarias para cuantificar estos movimientos. Ver texto para una explicación y discusión.