

**PALEOMAGNETISMO Y MAGNETOESTRATIGRAFIA DE LA
SIERRA DE LA PRIMAVERA, JALISCO**

J. URRUTIA FUCUGAUCHI*
A. RAMIREZ NEGRETE*
S. VENEGAS SALGADO**
S. SANCHEZ REYES**
H. DELGADO GRANADOS*

J. O. CAMPOS ENRIQUEZ**
D. J. MORAN ZENTENO*

(Recibido: 2 de junio, 1987)
(Aceptado: 7 de junio, 1988)

RESUMEN

Se presentan los resultados preliminares de un estudio paleomagnético en las unidades que constituyen el centro volcánico de La Primavera, Estado de Jalisco, México. Las direcciones de magnetización obtenidas para la mayoría de las unidades presentaron polaridades normales, que muy probablemente pertenecen a la época de polaridad normal de Brunhes (últimos 690 000 - 700 000 años). Ello concuerda con los fechamientos de K-Ar que indican una actividad volcánica joven, desarrollada principalmente en los últimos 140 000 años. Las direcciones de magnetización remanente correspondientes a la Toba Tala son de polaridad intermedia y presentan una mayor dispersión. Estas polaridades intermedias podrían expresar la existencia de una excursión del campo geomagnético que parece corresponder a la excursión Blake (110 000 - 116 000 años). De ser así, esta posible relación indicaría una edad ligeramente más antigua que la estimada por el método de K-Ar (alrededor de 96 000 años). Esta hipótesis se ve reforzada por la presencia de componentes secundarias en el registro paleomagnético de la Toba Tala que pueden corresponder a eventos hidrotermales con pérdidas de argón radiogénico. Esta interpretación resuelve el problema estratigráfico presentado por los fechamientos de K-Ar que implican una edad más joven para la Toba Tala que para las unidades que la cubren. Los resultados paleomagnéticos son, aparentemente, más compatibles con los fechamientos de K-Ar y la estratigrafía volcánica reportada por Mahood y colaboradores, que indica una actividad relativamente reciente para la Sierra de La Primavera.

* *Laboratorio de Paleomagnetismo y Geofísica Nuclear, Instituto de Geofísica, UNAM, D. Coyoacán 04510, D. F., MEXICO.*

** *Oficina de Geofísica, Departamento de Exploración, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, CFE, Alejandro Volta 655, Morelia, Michoacán, MEXICO.*

ABSTRACT

A preliminary report is made of a paleomagnetic study of several units belonging to the Sierra La Primavera, Jalisco State, Mexico. Most paleomagnetic directions presented normal polarities, which very likely correspond to the Brunhes normal polarity epoch (last 690 000 - 700 000 years). The only exception corresponds to the Tala Tuff, which presented intermediate polarities and a higher directional dispersion. These intermediate polarities could be related to a transitional event corresponding to the Blake excursion (110 000 - 116 000 years). In this case, this relation would imply a slightly older age for this formation than that estimated by the K-Ar method (*i.e.* about 96 000 years). This hypothesis can be sustained by the presence of secondary components in the normal remanent magnetism of the Tala Tuff, that could be related to hydrothermal alterations giving rise to a loss of radiogenic argon. This also apparently solves the stratigraphic inconsistency posed by the K-Ar date for the Tala Tuff. The paleomagnetic results in general are compatible with the volcanic stratigraphy and K-Ar dating studies reported by Mahood and co-workers, which indicate that the Sierra La Primavera is a young volcanic feature developed mainly during the last 140 000 years.

INTRODUCCION

La Sierra de La Primavera, localizada al oeste de la ciudad de Guadalajara, Jalisco (figura 1), está formada por numerosas lavas y flujos piroclásticos predominantemente riolíticos, originados aparentemente a lo largo de dos "círculos" no concéntricos que conforman la estructura (Mahood, 1980; Mahood y Drake, 1982). En los últimos años se han realizado varios estudios en la región (Mahood, 1981a, b; Walker *et al.*, 1981; Clough *et al.*, 1982; Romero y Reyes, 1979; Venegas *et al.*, 1985; Ferriz y Mahood, 1986; Campos, 1986). De particular interés para este estudio son las investigaciones sobre la edad de la actividad volcánica reportadas por Mahood y Drake (1982) y por Gutiérrez *et al.* (1984), en que se fecharon varias de las unidades de La Primavera por los métodos de K-Ar y de trazas de fisión, respectivamente. No obstante que no se tienen registros de actividad volcánica en tiempos históricos, las características y aparente patrón evolutivo de La Primavera sugieren que ésta posee un alto potencial geotérmico (Venegas *et al.*, 1985) y representa un riesgo volcánico potencial para la región de Guadalajara (Booth, 1979; Ferriz y Mahood, 1986). Recientemente, Gutiérrez *et al.* (1984) han propuesto que la actividad volcánica de la Sierra de La Primavera es anterior a lo inicialmente reportado y no representa un riesgo potencial para la región de Guadalajara.

La Sierra de La Primavera constituye uno de los centros de volcanismo silíceo localizado hacia el norte de la porción oeste de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) (figura 1). Los centros silíceos, Los Azufres, Amealco, Huichapan, Los Humeros y La Primavera se están estudiando para evaluar su potencial como fuentes de energía geotérmica, su origen y evolución y sus relaciones petrogenéticas, tectóni-

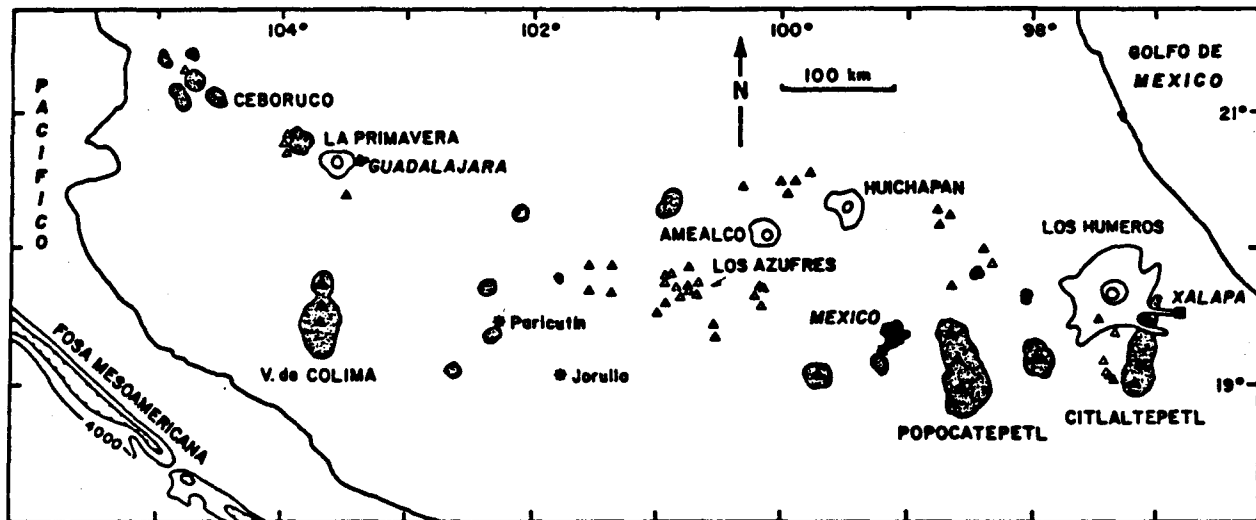


Fig. 1. Localización de la zona de estudio, Sierra de La Primavera, Jalisco, en la porción occidental de la Faja Volcánica Mexicana (FVM).

cas, etcétera, con otros elementos de la Faja Volcánica. Además, la actividad volcánica silférica de tipo explosivo presenta un alto riesgo potencial, particularmente en el caso de la Sierra de La Primavera, dada su cercanía a la zona densamente poblada de Guadalajara.

Como parte de un proyecto de colaboración a largo plazo sobre el riesgo volcánico y tectónico en la región de Guadalajara-Chapala y para el estudio de zonas con potencial geotérmico en la FVTM se realizó un muestreo preliminar de algunas unidades dentro de la Sierra de La Primavera (figura 2). En este trabajo se reportan los resultados paleomagnéticos y magnetoestratigráficos preliminares obtenidos y se presenta una breve discusión sobre sus implicaciones estratigráficas. Entre los objetivos principales del trabajo se encuentran: (1) obtener resultados paleomagnéticos relativos a las unidades volcánicas de La Primavera, (2) utilizar, de ser posible, estos resultados (de unidades previamente fechadas) para definir una base de calibración magnetoestratigráfica, (3) correlacionar los datos paleomagnéticos para la Sierra de La Primavera con la escala de polaridades del campo geomagnético y analizar los resultados radiométricos aparentemente discrepantes de K-Ar y de trazas de fisión y (4) obtener datos sobre estratigrafía y variación del campo geomagnético, por ejemplo, sobre variación paleosecular y excursiones.

MAGNETOESTRATIGRAFIA

Las variaciones del campo geomagnético, como la variación paleosecular, excursiones y cambios de polaridad, proveen un sistema de referencia útil para resolver problemas estratigráficos, particularmente en el estudio de secuencias volcánicas cenozoicas (Bremer y Urrutia, 1985). Las rocas volcánicas poseen generalmente un registro magnético con una magnetización remanente de alta intensidad y estabilidad, adquirido durante el cambio de temperatura al tiempo de emplazamiento. Empleando estos registros magnéticos es posible establecer correlaciones y, en algunos casos, fechamientos de unidades volcánicas, por medio de: (a) cambios de polaridad y excursiones (figura 3), (b) direcciones y posiciones polares, las cuales cambian debido a la variación paleosecular y (c) dispersión de las direcciones y posiciones polares. La precisión del fechamiento requiere una calibración, la cual está basada en métodos numéricos de fechamiento (tales como radio-carbono, trazas de fisión, series de uranio, termoluminescencia, berilio-10, aluminio-26, dendrocronología, cronología de varvas y registros históricos). El empleo combinado de estos métodos y de aquellos de fechamiento relativo, por ejemplo, la magnetoestratigrafía y muchos otros,

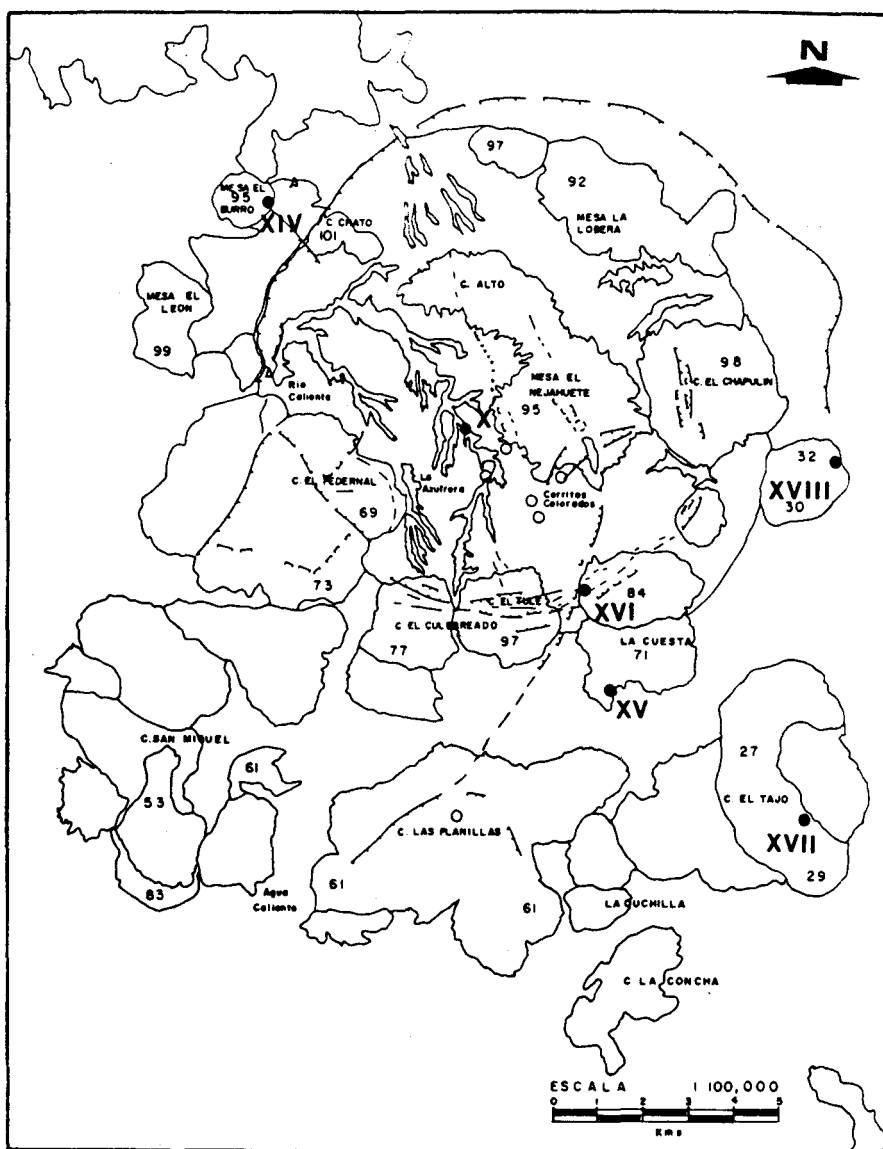


Fig. 2. Plano geológico simplificado, con la localización de sitios de muestreo paleomagnético. Obsérvese la presencia de dos “círculos” no concéntricos de actividad, domos jóvenes y viejos y los domos centrales. Al sur se observan lavas jóvenes (ver Tabla 2 y Fig. 8). Los números corresponden a los fechamientos radiométricos reportados por Mahood y Drake (1982).

tales como el desarrollo de suelo, tefracronología, cocientes de depositación, intemperismo o deformación y geomorfología, permite mejorar los resultados de correlación y fechamiento (Mahaney, 1984).

B. P. por A.

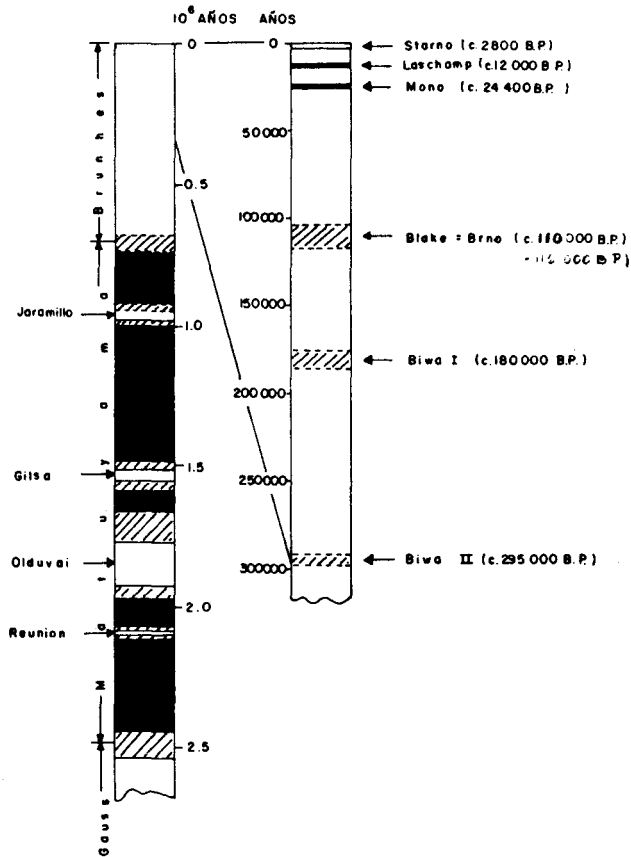


Fig. 3. Cambios de polaridad y excursiones del campo geomagnético para los últimos 2.5 millones de años.

Los estudios estratigráficos y geocronológicos realizados en la zona de La Primavera, ofrecen la oportunidad de obtener datos paleomagnéticos para calibración de magnetoestratigrafía, en el intervalo de 25 000 años a 150 000 años, aproximadamente, o mayor, en el último millón de años. Estos datos magnetoestratigráficos son útiles en problemas de correlación y fechamiento y en estudios del campo geomagnético. En la figura 3 se ilustran los cambios de polaridad y las excursiones conocidas para los últimos 2.5 millones de años (modificada de Tarling, 1983).

CALDERA DE LA PRIMAVERA

Las estructuras volcánicas que constituyen el centro volcánico de La Primavera se encuentran cubriendo un sustrato de rocas volcánicas (más antiguas) de las que se han obtenido fechamientos que alcanzan, en las unidades subvolcánicas basales, hasta 26.7 m.a. (K-Ar) (Nieto *et al.*, 1985). La secuencia volcánica que se encuentra formando este conjunto antiguo está expuesta en los cortes cercanos del Cañón del Río Grande de Santiago, en donde además se han obtenido fechamientos entre 5 y 9 m.a. (Watkins *et al.*, 1971). En las inmediaciones de la ciudad de Guadalajara se han calculado edades K-Ar de 4.8 y 3.3 m.a. en cuerpos de ignimbrita que cubren la secuencia expuesta en el Río Grande de Santiago (Gilbert *et al.*, 1985).

Las rocas riolíticas con alto contenido de sílice que se encuentran formando el centro volcánico de La Primavera fueron originadas por eventos eruptivos desarrollados durante los últimos 140 000 años (Mahood, 1981 b; Clough *et al.*, 1982; Mahood y Drake, 1982) o quizá durante un período anterior (Gutiérrez *et al.*, 1984). El volumen de magma extruído es de aproximadamente 60 km³ (Walker *et al.*, 1981; Mahood, 1983). Las unidades presentan un fuerte zonamiento compresional e incluyen varios grupos de domos, flujos ignimbríticos y tobas riolíticas. El centro volcánico está constituido por un grupo de domos dispuestos en forma de arcos que en conjunto expresan la existencia de una caldera de colapso (figura 2). A los domos que se ubican en la parte central del complejo volcánico se les han atribuido edades mayores que las calculadas por el método K-Ar para la Toba Tala, la cual se encuentra en una posición estratigráfica inferior y ocupando también la parte central de la estructura volcánica. Ello presenta aparentemente un problema estratigráfico. Los grupos de domos que se encuentran formando los arcos de las porciones noreste y noroeste tienen edades K-Ar cercanas a la edad de la Toba Tala. Los arcos que se en-

cuentran ocupando la parte meridional del centro volcánico representan episodios volcánicos más recientes. En la Tabla 1 se incluye un resumen de la historia evolutiva de La Primavera, de acuerdo con Mahood (1980) y Mahood y Drake (1982).

Tabla 1

Historia evolutiva simplificada para el centro volcánico de La Primavera, Jalisco (tomada de Mahood, 1980; Mahood y Drake, 1982)

Evento	Edad (10^3 años)
Erupción de las lavas del grupo sur (7 km^3).	60 - 25
Elevación y desaparición del lago.	-----
Erupción de los domos jóvenes (3 km^3).	75
Depósito de sedimentos en períodos de calma	-----
Erupción de los domos antiguos (5 km^3).	95
Erupción de los domos centrales y del horizonte gigante de pómez.	-----
Colapso de la caldera (11 km de diámetro) y formación de un lago.	
Erupción de la Toba Tala (20 km^3).	95. ¹
Erupción de las lavas pre-caldera.	145 - 100

¹ Interpretada en este estudio en 110 000 - 116 000 años.

Ver figura 8 para información geocronológica.

Por otro lado, Gutiérrez *et al.* (1984) han reportado fechamientos de trazas de fisión para seis unidades de la Sierra de La Primavera, las cuales son mayores que las obtenidas por el método de K-Ar. Los fechamientos varían entre 150 000 y 3 810 000 años (esto es: 0.15, 0.17, 0.40, 0.49, 1.02 y 3.81 millones de años). Con estos datos, Gutiérrez *et al.* (1984) concluyen que la actividad en la Sierra de La Primavera se inició mucho antes, durante el Pleistoceno medio, hace más de un millón de años.

Las muestras estudiadas para paleomagnetismo y magnetoestratigrafía provienen de cinco diferentes domos y de la secuencia piroclástica, según se puede observar en la figura 2.

RESULTADOS

Para este estudio se colectaron muestras en seis sitios (figura 2) empleando una perforadora portátil (y en algunos casos obteniendo muestras de bloque) y orientación con brújula magnética (Urrutia y Pal, 1975). En el laboratorio se prepararon especímenes de 2.5 cm de diámetro y aproximadamente 2.1-2.2 cm de largo. La dirección e intensidad de la magnetización remanente natural (NRM) se midieron con un magnetómetro (discriminador de flujo) de giro. La estabilidad y composición vectorial de NRM se estudiaron por desmagnetización con campos magnéticos alternos decrecientes (CMAD) y con temperaturas (térmica). Detalles de los procedimientos de laboratorio y métodos de análisis pueden consultarse en Urrutia (1977, 1978 y 1979) y en un reporte anterior sobre estudios en el campo geotérmico de Los Azufres, Mich. (Urrutia *et al.*, 1985).

Las direcciones de NRM de los sitios XIV, XV, XVI, XVII y XVIII presentaron una polaridad normal y una baja dispersión, mientras que las correspondientes al sitio X presentaron una mayor dispersión y una polaridad intermedia con declinaciones al sur e inclinaciones arriba de la horizontal.

En la figura 4 se presentan ejemplos de diagramas vectoriales de desmagnetización y en la figura 5 se ilustran algunos diagramas de intensidad de magnetización normalizada en función del campo magnético aplicado. Las temperaturas máximas de bloqueo son generalmente menores de 500°C; los minerales portadores de la NRM son óxidos de la serie de las titanomagnetitas y proporcionan contribuciones variables de productos de oxidación de la serie de las titanohematitas. En la figura 6 se ilustran las direcciones para algunos sitios observados después de la desmagnetización y en la figura 7 se resumen las direcciones medias y dispersiones (en términos del α_{95} de Fisher, 1953) para los diferentes sitios.

DISCUSION

Las magnetizaciones remanentes para las diversas unidades estudiadas en la Sierra de La Primavera son de polaridad normal y con direcciones medias cercanas a las esperadas para la época de polaridad normal Brunhes. Ello concuerda con los reportes de una actividad volcánica joven en La Primavera, desarrollada principalmente durante los últimos 140 000 años (Mahood y Drake, 1982). Cabe enfatizar, sin embargo,

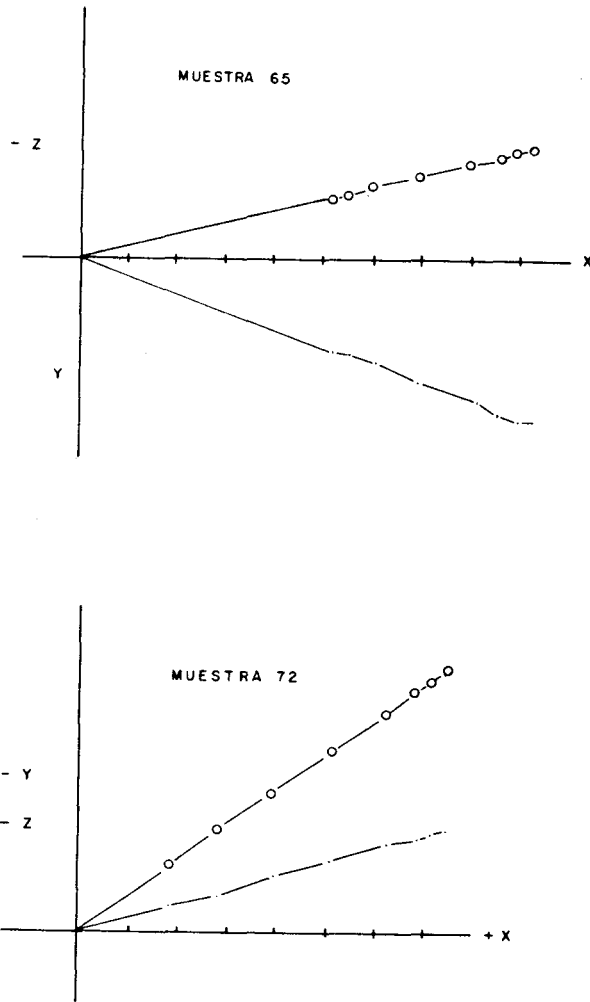
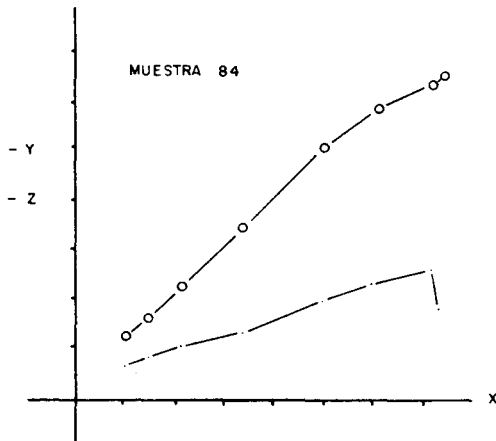
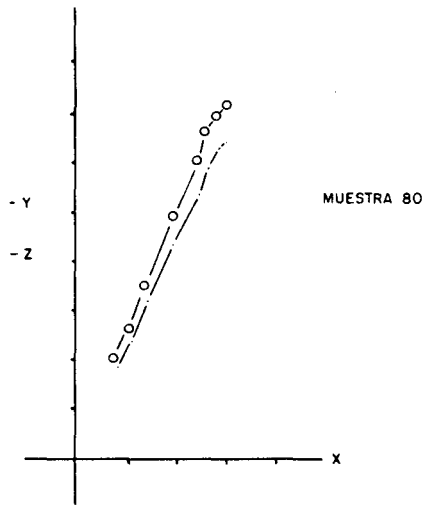


Fig. 4. Ejemplos de resultados de desmagnetización por campos magnéticos alternos para cuatro muestras. Datos ilustrados en gráficas vectoriales (diagramas de As-Zijderveld) que muestran los cambios en las componentes norte-sur, este-oeste y vertical (x, y, z, respectivamente).

Fig. 4 (Cont.)



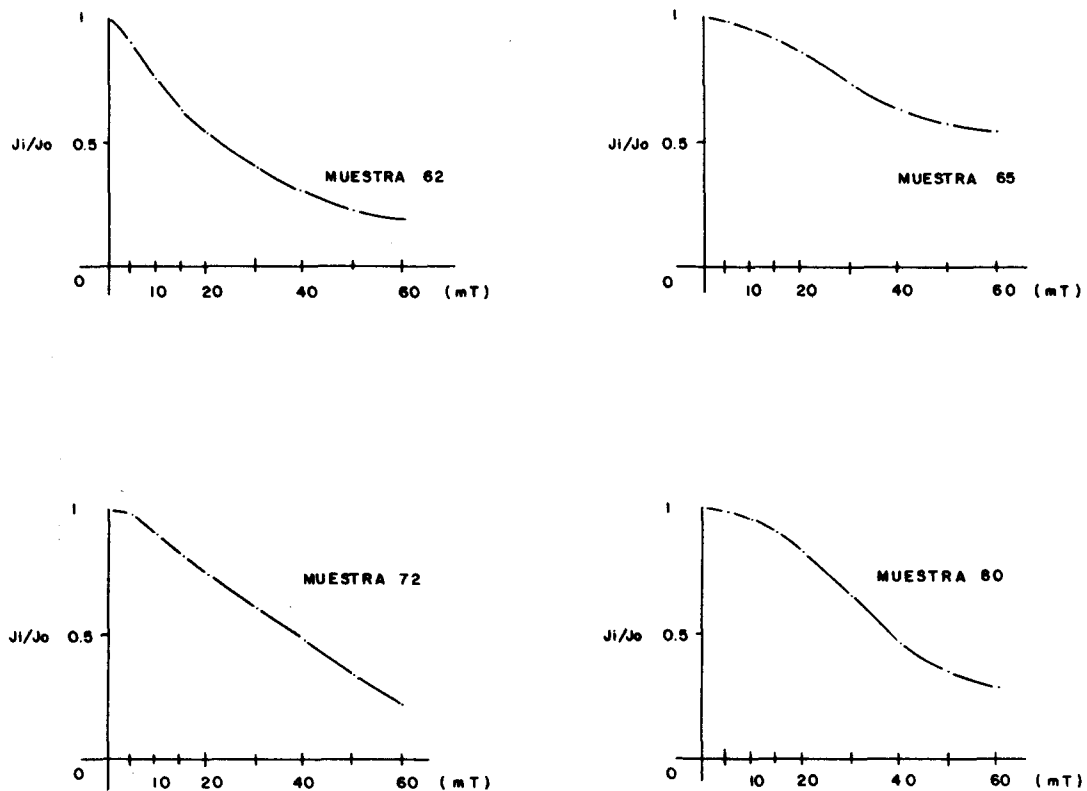


Fig. 5. Ejemplos de cambios de intensidad (normalizados con respecto a la intensidad de magnetización remanente inicial) con desmagnetización por campos magnéticos alternos decrecientes (en militeslas, mT).

SITIO 7 NRM MUESTRAS (39-46) SLP.

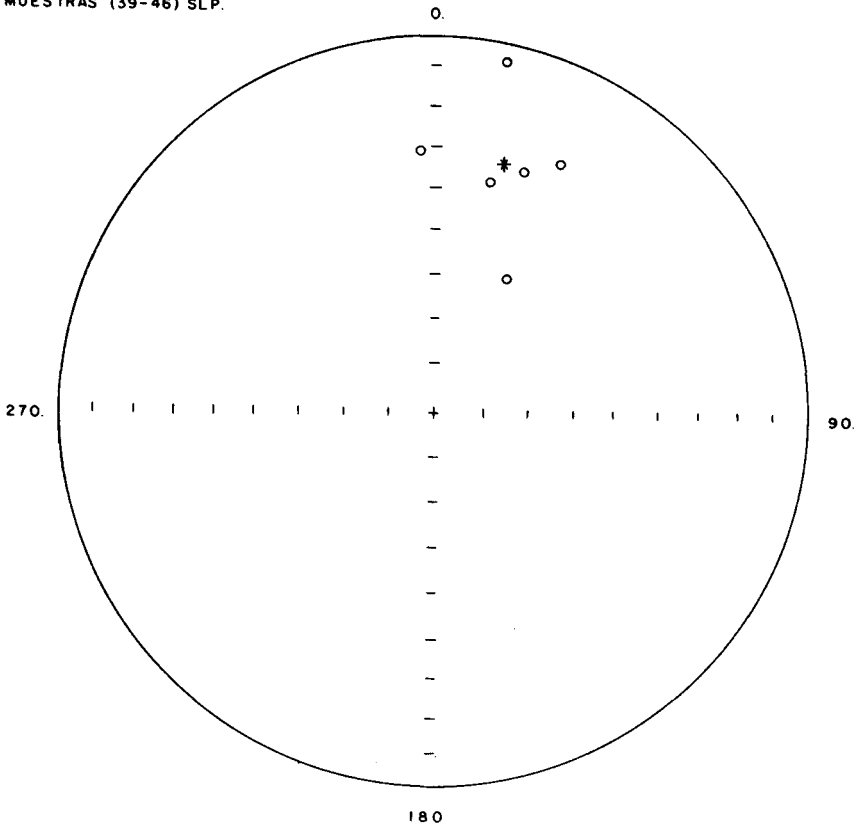


Fig. 6. Direcciones de magnetización remanente para muestras de dos sitios estudiados en La Primavera.

que la edad mayor reportada por Gutiérrez *et al.* (1984), de 1.02 m.a. corresponde, dentro de los límites de resolución, al evento normal de Jaramillo (figura 3). La falta de observaciones de unidades con polaridades reversas podría deberse a efectos del muestreo o de hecho a la ausencia de actividad volcánica entre aproximadamente un millón de años y 700 000 años. Considerando las dificultades inherentes al método de trazas de fisión, la interpretación más simple de los resultados paleomagnéticos de polaridad normal consiste en asignarlos a la época normal de Brunhes.

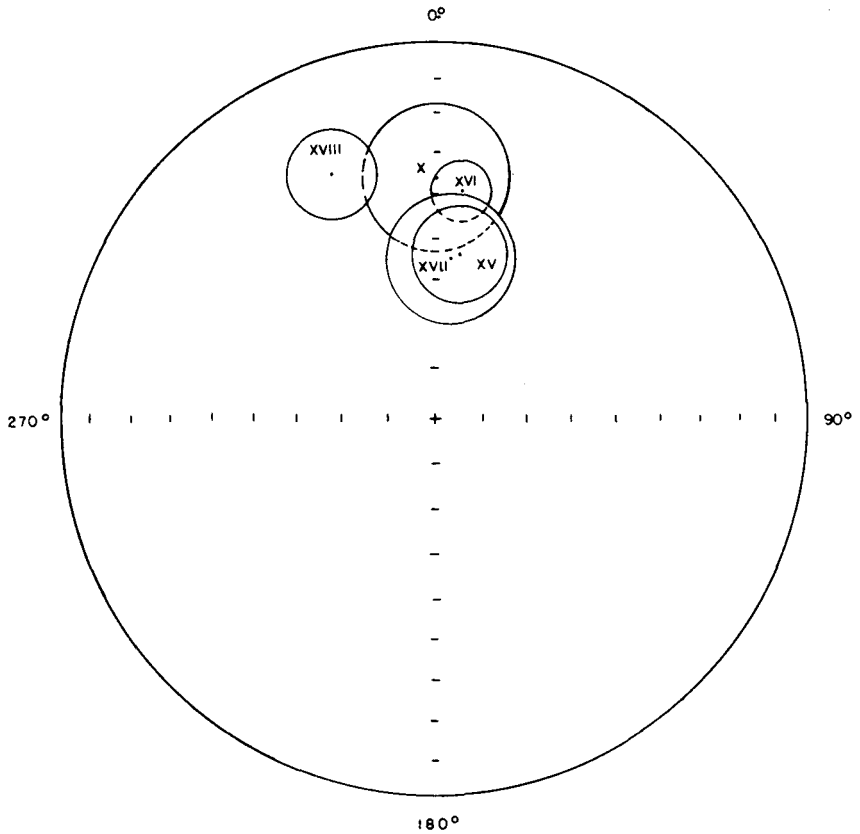


Fig. 7. Direcciones medias para las unidades estudiadas en La Primavera; obsérvese que la polaridad para la mayoría de los sitios es normal.

En la Tabla 2 se resumen los resultados paleomagnéticos para las unidades estudiadas de acuerdo con su posición estratigráfica y edad de K-Ar (Mahood, 1980, Mahood y Drake, 1982). Estos resultados permiten tener una base de calibración preliminar para una porción del intervalo de actividad de La Primavera. Estos datos magnetoestratigráficos permiten resolver problemas de correlación y fechamiento de secuencias volcánicas en el área para los cuales no se cuenta con información estratigráfica

Tabla 2
Resultados paleomagnéticos para la región de la Caldera de La Primavera, Estado de Jalisco

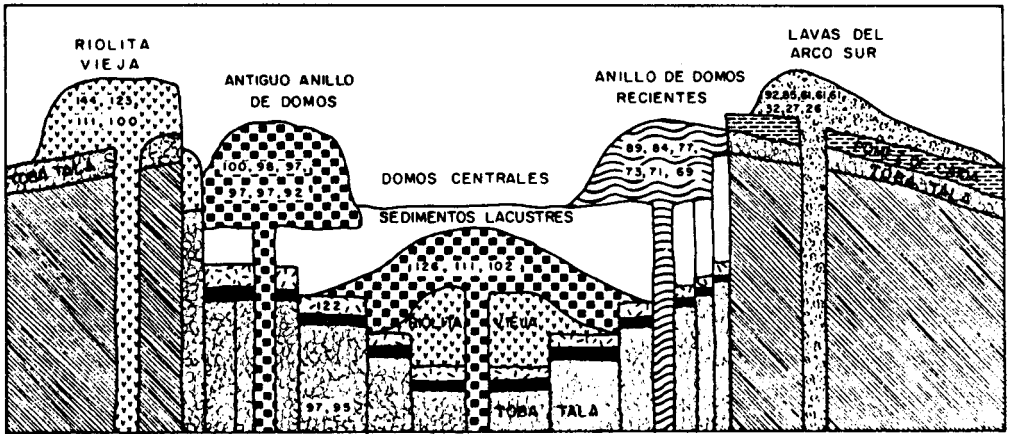
Sitio	Localidad	Núm.	Declin.	Inclin.	K	α_{95}	Posiciones polares		Edad(10 ³ años)	Polaridad	Epoca
							Lat.	Long.			
X	I Toba Tala	20	179.95	35.23	4.17	18.27	49.89	76.57	95.2, 96.7	Intermedia	Excursion Blake(?)
XIV	F El Burro	6	0.18	39.83	5.69	30.7	46.73	76.17	96.7, 127.7	Normal	Brunhes
XV	K La Cuesta	16	8.18	52.8	11.98	11.11	75.32	75.51	71.3	Normal	Brunhes
XVI	R Las Canoas	16	6.25	28.73	23.48	7.77	82.04	27.23	83.6	Normal	Brunhes
XVII	EE El Tajo	3	4.83	54.4	67.69	15.1	75.07	87.9	25.5, 26.8	Normal	Brunhes
XVIII	FF El Colli	3	337.01	29.26	115.37	11.52	67.61	157.47	30.2, 31.9	Normal	Brunhes

adecuada. Los datos permiten, además, estudiar la variación paleosecular del campo geomagnético en el período considerado.









Las magnetizaciones para las muestras estudiadas son de polaridad normal, excepto las correspondientes al sitio X obtenidas de la Toba Tala que presenta polaridades intermedias. Las edades reportadas para esta unidad son de 95.2 ± 6.5 y 96.7 ± 3.8 miles de años (Mahood y Drake, 1982) y se ha resaltado la existencia de una anomalía estratigráfica relacionada con la mayor edad obtenida con el método K-Ar para los domos centrales y el horizonte de pómez que sobreyacen a la mencionada Toba Tala (figura 8). Mahood y Drake (1982) reportan seis fechamientos para los domos centrales (con edades de 126, 111 y 102 miles de años) y dos para el horizonte gigante de pómez (122 y 104 miles de años). Los fechamientos son en sanidina y vidrio, los cuales resultaron infructuosos para el fechamiento de la Toba Tala (para la cual sólo se reportan dos edades en sanidina). No obstante que en los domos centrales se tienen fechamientos sanidina-vidrio concordantes (por ejemplo, para la muestra 317 con 111.1 y 112.9 miles de años), Mahood y Drake (1982) interpretan los resultados en términos de edades anómalas para los domos centrales, los cuales serían más jóvenes de lo que indican los fechamientos de K-Ar.

Alternativamente, si se considera que las direcciones paleomagnéticas intermedias corresponden a un evento geomagnético transicional, entonces es posible sugerir otra interpretación para explicar las discrepancias entre las edades K-Ar para los domos centrales y la Toba Tala. Esta anomalía estratigráfica podría ser explicada por una pérdida de argón original en las muestras analizadas en la Toba Tala, donde el mecanismo responsable de tal pérdida podría provenir de procesos hidrotermales, tal como lo sugiere la presencia de componentes secundarios en el registro paleomagnético de la Toba Tala. Esta alteración habría contribuido a dar una subestimación de la edad real de la formación. La polaridad intermedia que se observó en esta formación podría corresponder al evento transicional Blake (figura 3). De ser así, la edad de la Formación Tala sería de 110 000 - 116 000 años aproximadamente, lo cual parece más congruente con la relación estratigráfica que observan entre sí los diversos elementos de la caldera de La Primavera. Al respecto, ello conduciría a re-examinar los fechamientos reportados para los Domos Centrales, el Horizonte Gigante de Pómez y la Toba Tala. El fechamiento de rocas volcánicas jóvenes (entre 40 y 500 mil años) es difícil, ya que la cantidad de Ar radiogénico es muy pequeña. Los fechamientos anómalos encontrados para las unidades mencionadas podrían deberse a la presencia

de argón disuelto en el magma en diferentes profundidades de la cámara magmática (Mahood y Drake, 1982) o bien a pérdidas de argón debidas a procesos de alteración. Cabe mencionar que las diferencias entre los fechamientos de K-Ar para las unidades y la estimación paleomagnética están dentro de los límites de resolución de los métodos para rocas muy jóvenes. Dadas las dificultades presentes en establecer una



LEYENDA

-  LAVAS DEL ARCO SUR
-  POMEZ DE CAIDA AEREA
-  ANILLO DE DOMOS RECIENTES
-  SEDIMENTOS LACUSTRES
-  ANTIGUO ANILLO DE DOMOS
-  RIOLITA VIEJA
-  POMEZ GIGANTE
-  TOBA BENTONITICA
-  TOBA TALA
-  BASAMENTO TERCIARIO

TOMADO DE MAHOOD 1980, Y MODIFICADO POR VENEZAS 1987

Fig. 8. Representación esquemática de las unidades que conforman la Sierra de La Primavera. Datos de K-Ar, y figura adaptada de Mahood y Drake (1982).

estratigrafía para unidades volcánicas, sólo cabe señalar la necesidad de utilizar varios métodos de fechamiento y comparar críticamente los resultados.

Por otro lado, no obstante los problemas, es importante el estimar edades precisas para eventos volcánicos. En particular, en problemas de estimación de riesgo volcánico, como es el caso de la Sierra de La Primavera, en la cual se tiene la posibilidad de emplazamiento de nuevos domos riolíticos con erupciones subplinianas y tobas de caída libre o bien una voluminosa erupción pliniana del tipo de la Toba Tala, se requieren estudios detallados sobre la evolución espacio-temporal de los ciclos de actividad volcánica.

A manera de recomendación final, cabe mencionar que los resultados paleomagnéticos obtenidos son útiles para estudios de estratigrafía volcánica y, considerando que varias otras unidades volcánicas de la zona han sido fechadas, debería extenderse este trabajo para obtener un registro magnetoestratigráfico más detallado.

AGRADECIMIENTOS

Apoyo económico para la realización del proyecto ha sido provisto por parte de la Fundación Ricardo J. Zeevada a través de un proyecto de investigación. Este trabajo es parte de un proyecto de cooperación entre CFE (Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos) y el Laboratorio de Paleomagnetismo del Instituto de Geofísica (UNAM). Se agradece el apoyo aportado al proyecto por parte de Héctor Alonso Espinosa, Arturo González Salazar y Antonio Razo Montiel. Los comentarios de los dos árbitros académicos de la revista han resultado útiles en la preparación de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- BOOTH, B., 1979. Assessing volcanic risk. *J. Geol. Soc. London*, 136, 331-340.
- BREMÉR-BREMÉR, M. y J. URRUTIA-FUCUGAUCHI, 1985. Magnetoestratigrafía y variaciones del campo geomagnético en rocas volcánicas del centro de México. *Rev. Ingeniería*, 55, 41-45.
- CAMPOS-ENRIQUEZ, J. O., 1986. Interpretación cuantitativa del vuelo aeromagnético-regional del área de La Primavera - Planillas, Jalisco. Informe inédito 25/86, CFE (México).

- CLOUGH, B. J., J. V. WRIGHT and G. P. L. WALKER, 1982. Morphology and dimensions of the young comendite lavas of La Primavera volcano, Mexico. *Geol. Mag.* 111, 477-485.
- FERRIZ, H. y G. A. MAHOOD, 1986. Volcanismo riolítico en el Eje Neovolcánico Mexicano. *Geofís. Int.*, 25, 1, 117-156.
- FISHER, R. A., 1953. Dispersion on a sphere. *Proc. Roy. Soc. London*, 4217, 295-305.
- GILBERT, G. M., G. A. MAHOOD and I. S. E. CARMICHAEL, 1985. Volcanic stratigraphy of the Guadalajara area, Mexico. *Geofís. Int.*, 24, 1, 169-191.
- GUTIERREZ-NEGRIN, L., A. LOPEZ MARTINEZ and M. BALCAZAR GARCIA, 1984. Application of dating for searching geothermic sources. *Nuclear Tracks Rad. Meas.*, 8, 385-389.
- MAHANEY, W. C. (Ed.), 1984. Quaternary Dating Methods. Elsevier Sci. Publ., 428 pp.
- MAHOOD, G. A., 1980. Geological evolution of a Pleistocene rhyolitic center Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 8, 199-230.
- MAHOOD, G. A., 1981a. Chemical evolution of a Pleistocene rhyolitic center, the Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico. *Contrib. Min. Petrol.* 77, 127-140.
- MAHOOD, G. A., 1981b. A summary of the geology and petrology of the Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico. *J. Geophys. Res.*, 86, 10137-10152.
- MAHOOD, G. A. and R. E. DRAKE, 1982. K-Ar, dating of young rhyolitic rocks. A case study of the Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.* 93, 1232-1241.
- NIETO, O. J., A. L. DELGADO and P. E. DAMON, 1985. Geochronologic, petrologic and structural data related to large morphologic features between the Sierra Madre Occidental and the Mexican Volcanic Belt. *Geofís. Int.*, 24, 4, 623-663.
- ROMERO G., J. C. y V. P. REYES, 1979. Resultados preliminares de la exploración geoelectrica en el área de Cerritos Colorados-La Azufrera de la zona geotérmica de La Primavera, Jal., Informe inédito 7-79, CFE (México).
- RUTTER, N. W. (Ed.) 1984. Dating Methods of Pleistocene Deposits and Their Problems. *Geoscience Canada Rep.*, Ser. 2.
- URRUTIA-FUCUGAUCHI, J. y S. PAL, 1975. Procedimientos de campo en investigaciones paleomagnéticas. *Anales Inst. Geof.*, UNAM, 21, 109-125.
- URRUTIA-FUCUGAUCHI, J., 1977. Algunos métodos estadísticos usados en paleomagnetismo. *Anales Inst. Geof.*, UNAM, 22-23, 87-98.
- URRUTIA-FUCUGAUCHI, J., 1978. Análisis de estabilidad de la magnetización remanente natural. *Anales Inst. Geof.*, UNAM, 24, 117-146.

- URRUTIA-FUCUGAUCHI, J., 1979. Significado y utilización de magnetizaciones de múltiples fases. *Anales Inst. Geof., UNAM*, 25, 101-123.
- URRUTIA-FUCUGAUCHI, J., D. J. MORAN ZENTENO y J. O. CAMPOS ENRIQUEZ, 1985. Paleomagnetismo, magnetoestratigrafía y magnetismo de rocas en el campo geotérmico de Los Azufres, Michoacán. Informe 05-85, CFE (México).
- VENEGAS S., S., J. J. HERRERA F. y R. MACIEL F., 1985. Algunas características de la faja volcánica mexicana y de sus recursos geotérmicos. *Geofís. Int.*, 24, 1, 47-81.
- WALKER, G. P. L., J. V. WRIGHT, B. J. CLOUGH and B. BOOTH, 1981. Pyroclastic geology of the rhyolitic volcano of La Primavera, Mexico. *Geol. Rundsch.* 70, 1100-1118.
- WATKINS, N. D., B. M. GUNN, A. D. BAKSI, A. D., D. YORK and J. ADE-HALL, 1971. Paleomagnetism, geochemistry and potassium-argon ages of the Río Grande de Santiago volcanics, Central Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 82, 1955-1968.