

# Implicaciones de los datos paleomagnéticos sobre la edad de la Sierra de Chichinautzin, cuenca de México

J. Urrutia Fucugauchi y Ana Lilian Martin del Pozzo

Laboratorio de Paleomagnetismo y Geofísica Nuclear,  
Instituto de Geofísica, UNAM, México, D.F., México.

Recibido: 16 de agosto de 1990; aceptado: 10 de marzo de 1991.

## RESUMEN

La polaridad geomagnética normal documentada para el Grupo Chichinautzin correlaciona con el Cron normal Brunhes de la Escala Geomagnética de Polaridades, lo que indica una edad más joven que 0.78-0.79 Ma. Para estimar la edad de inicio de la actividad y su distribución temporal y espacial se requiere sin embargo de estudios más detallados de carácter multidisciplinario (geocronológicos y de estratigrafía volcánica). Implicaciones sobre el cierre del drenaje y formación de la cuenca deben también de analizarse críticamente. Las unidades muestreadas provienen de la parte más joven (expuesta) de la Sierra (considerada probablemente como más joven de 40-60,000 años, dentro del rango de fechamiento por C-14) y por lo tanto no representa un muestreo sin sesgo representativo para el Grupo. Ello resalta la necesidad de contar con datos de muestras del subsuelo, así como de las secciones basales de la sierra. Resultados preliminares de la porción sureste de Chichinautzin (hacia el valle de Cuernavaca) indican polaridad reversa y por lo tanto sugieren que la actividad volcánica en la región podría haberse iniciado antes de 0.78-0.79 Ma (o bien durante un sub-cron dentro de Brunhes). Los datos disponibles no proporcionan información sobre el carácter continuo o discreto de la actividad. Los datos paleomagnéticos para el complejo volcánico del Ajusco indican polaridad reversa y normal y reversa, respectivamente, lo que sugiere que la actividad volcánica ocurrió en periodos transicionales y excursiones del campo geomagnético probablemente durante el Cron de Brunhes.

**PALABRAS CLAVE:** Paleomagnetismo, estratigrafía volcánica, Grupo Chichinautzin, cuenca de México, Cuaternario.

## ABSTRACT

The dominant normal geomagnetic polarity observed for the Chichinautzin Group in the southern Basin of Mexico correlates with the Brunhes Chron, implying an age for the volcanic units younger than about 0.78-0.79 Ma. However, to estimate the age for the onset of the activity and its spatial-temporal distribution, further detailed studies of radiometric dating and volcanic stratigraphy are needed. Implications for the closure of the basin should also be viewed with caution. The units studied so far come from the upper part that may be younger than about 40-60,000 years BP (within the range of C-14 dating), and they do not provide an unbiased view of Chichinautzin activity. Paleomagnetic studies from subsurface samples (e.g., from deep cores) and from basal sections may help constrain the time span of Chichinautzin. Preliminary results from a section towards Cuernavaca Valley yield reverse polarity, suggesting that activity began earlier than 0.78-0.79 Ma (or during a sub-chron within Brunhes). The paleomagnetic data do not provide firm constraints on the discrete character of the activity. Results for the Ajusco volcanic complex yield reverse and normal/reverse polarities, indicating that the activity spanned a transitional period probably during the Brunhes Chron.

**KEY WORDS:** Paleomagnetism, volcanic stratigraphy, Chichinautzin Group, Basin of Mexico, Quaternary.

## INTRODUCCION

La Sierra Volcánica del Chichinautzin conforma el límite sur de la cuenca de México (Figura 1). La sierra incluye la actividad volcánica más reciente (por ejemplo, la actividad histórica del volcán Xitle, representada por los flujos del Pedregal de San Angel) y aparentemente constituye la última fase de actividad volcánica en la región, la cual culminó la formación de la cuenca (por ejemplo Fries, 1960; Mooser *et al.*, 1974; Mooser, 1975; Martin, 1982, 1990). La Sierra de Chichinautzin está constituida principalmente por un extenso campo de volcanes monogenéticos, los cuales abarcan una región amplia principalmente entre la ciudad de México y la de Cuernavaca (Figura 2). La evolución temporal y espacial de la actividad volcánica del Chichinautzin es de interés para muy diversos estudios (por ejemplo, geohidrológicos, volcanológicos, sedimentológicos, paleoclimáticos, geomorfológicos, riesgo sísmico y volcánico, etc.). De particular interés, es la determinación de la edad del inicio de la actividad volcánica y su evolu-

ción temporal. Además, es de interés el determinar su evolución espacial y estimar la distribución geográfica, posibles tendencias de migración de actividad (por ejemplo, la posibilidad de una migración hacia el norte, con la actividad reciente localizada preferentemente en la porción sur de la ciudad de México), centros principales de actividad, etc. El cierre estructural de la cuenca modificó los patrones del drenaje, con la consecuente evolución del sistema de lagos en la cuenca y las alteraciones climáticas y ambientales.

La actividad volcánica aparentemente muy joven del Chichinautzin, con su actividad histórica y su morfología joven, muestra que la región es activa y que la actividad volcánica puede reanudarse en un futuro próximo, con las consecuentes implicaciones para la población de la ciudad de México y sus alrededores (por ejemplo, las comunidades del Ajusco, Topilejo, Tres Marias, la Delegación Tlalpan, y muchas otras; Figura 2). No obstante su importancia, la información disponible sobre la edad del Grupo Chichinautzin es desafortunadamente muy escasa. Entre la informa-

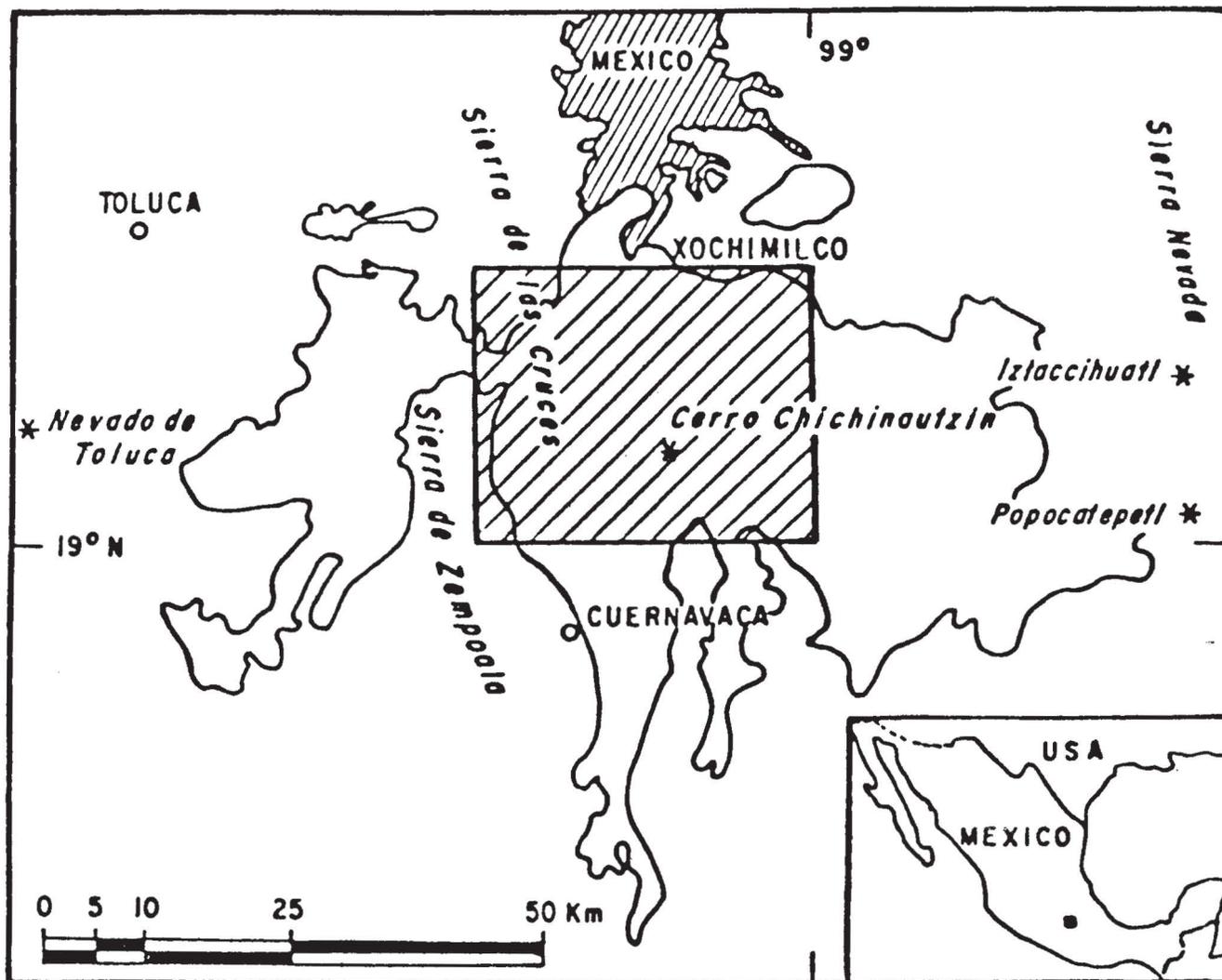


Fig. 1. Mapa de localización de la zona estudiada en la porción sur de la cuenca de México. El campo volcánico de Chichinautzin constituye el límite sur de la cuenca. La zona marcada en el rectángulo se muestra en mayor detalle en la Figura 2.

ción disponible, se emplean frecuentemente los datos paleomagnéticos (Mooser *et al.*, 1974; Urrutia y Valencio, 1976; Herrero y Pal, 1977; Urrutia *et al.*, 1981; Herrero *et al.*, 1986; Böhnell *et al.*, 1990), los cuales indican una polaridad geomagnética normal para las unidades estudiadas del Grupo Chichinautzin. Tomando en consideración la poca información geocronológica y estratigráfica disponible y el empleo (en ocasiones inadecuado ya que se infiere que la actividad se inició a los 0.73 Ma, lo que no se justifica de los estudios) de los datos paleomagnéticos, se ha considerado pertinente el presentar una evaluación crítica de los datos. Consecuentemente, en este artículo se reportan resultados nuevos para la Sierra de Chichinautzin y se incluye una discusión sobre las implicaciones (y limitaciones) de los estudios paleomagnéticos sobre la edad del volcanismo en la cuenca. La documentación de la evolución espacio-temporal del volcanismo en la cuenca es crítica para estudios sobre reconstrucciones paleogeográficas y paleoambientales en varios aspectos del desarrollo del sistema de la-

gos, influencia de la actividad tectónica, impacto climático y ecológico y patrones de erosión.

#### MAGNETOESTRATIGRAFIA Y PALEOMAGNETISMO

Las variaciones temporales del campo geomagnético, como la variación paleosecular, excursiones y cambios de polaridad (Figura 3), proveen un sistema de referencia para correlación y fechamiento (Irving, 1964; Tarling, 1983). En los últimos 2.5 millones de años (Ma), la polaridad del campo geomagnético ha cambiado varias veces dando como resultado periodos normales y reversos de diversa duración. Estos se han agrupado dentro de los cronos Brunhes (normal) y Matuyama (predominante reverso). La polaridad normal que caracteriza el campo magnético al presente se ha mantenido desde hace ya unos 0.73-0.79 Ma (periodo denominado como Cron Normal Brunhes). Durante este Cron Brunhes, se han documentado además varias excursiones o sub-cronos del campo geomagnético (Figura 3).

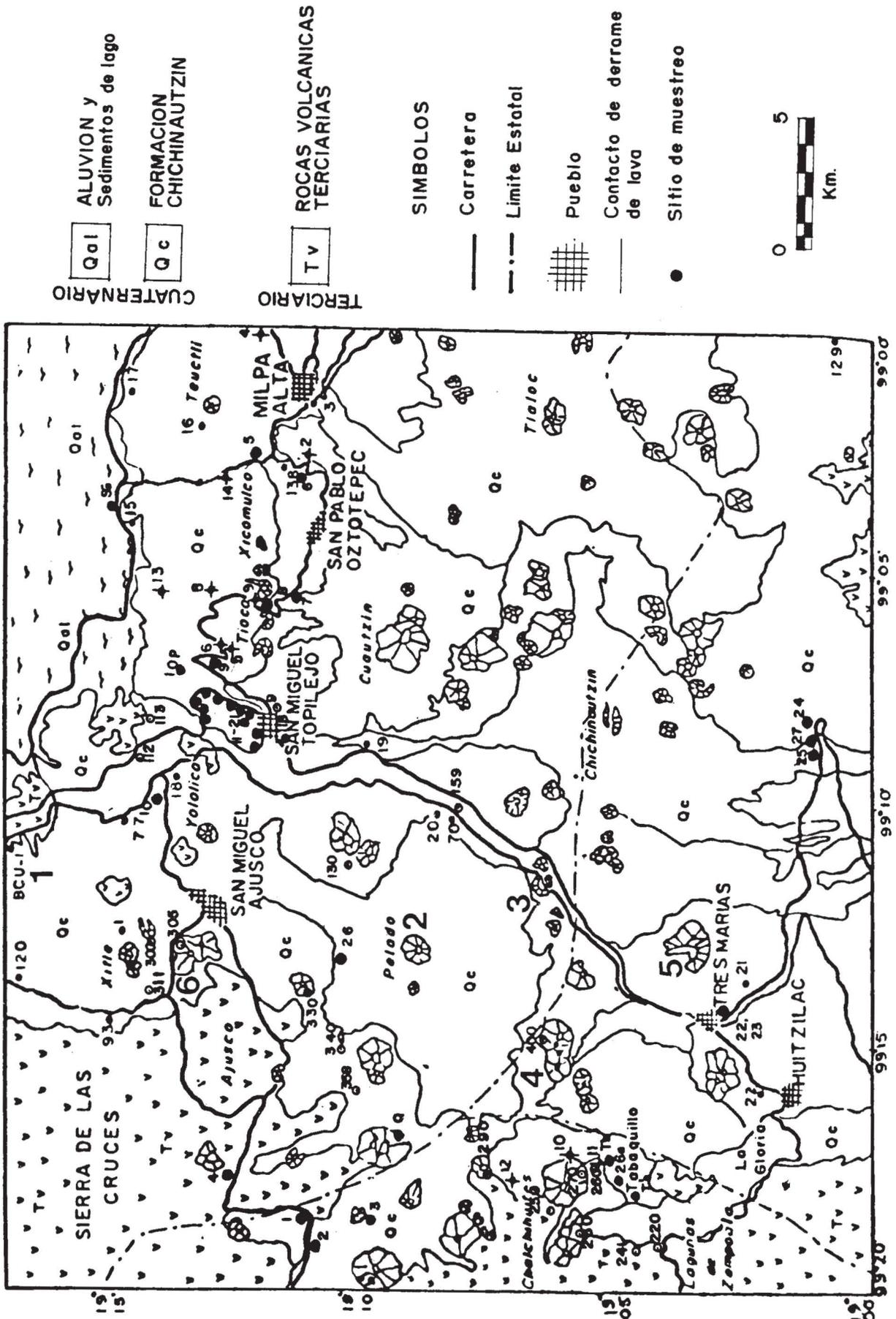


Fig. 2. Plano simplificado de la porción norte del campo volcánico de Chichinautzin. Los sitios estudiados en este trabajo se indican por los números 1 al 6. Estos corresponden a: 1, Xitle; 2, Pelado; 3, Cima; 4, Raices; 5, Cumbres; 6, Malinalé. Datos resumidos en la Tabla 1.

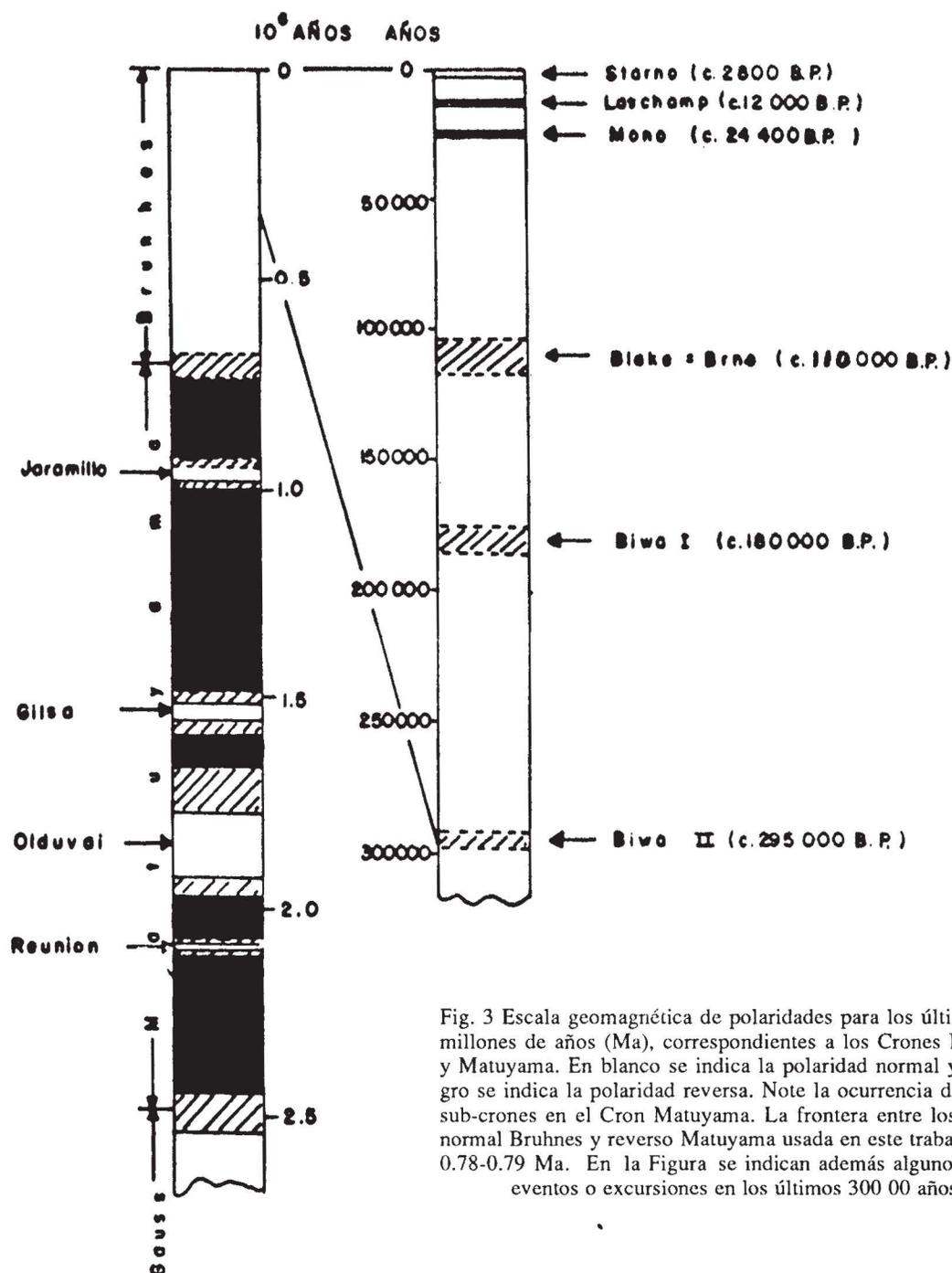


Fig. 3 Escala geomagnética de polaridades para los últimos 2.5 millones de años (Ma), correspondientes a los Cronos Bruhnes y Matuyama. En blanco se indica la polaridad normal y en negro se indica la polaridad reversa. Note la ocurrencia de varios sub-crones en el Cron Matuyama. La frontera entre los cronos normal Bruhnes y reverso Matuyama usada en este trabajo es de 0.78-0.79 Ma. En la Figura se indican además algunos de los eventos o excursiones en los últimos 300 00 años.

En general, la documentación de las variaciones de intensidad y dirección del campo geomagnético en secuencias sedimentarias o volcánicas proporcionan datos sobre: (a) cambios de polaridad, (b) excursiones, (c) direcciones y posiciones polares, (d) paleointensidades, (e) dispersión de las direcciones y posiciones polares y (f) susceptibilidad magnética e intensidad de magnetización remanente. El empleo de uno o más de estos parámetros permite resolver diversos problemas de correlación estratigráfica. Para estudios de fechamiento ("absoluto") el método paleomagnético requiere de referencia a otros métodos de fechamiento tales como potasio-argón, argón-argón, radio-carbono, trazas de fisión,

series de uranio, termoluminiscencia, berilio-10, aluminio-26, dendrocronología, cronología de varvas, geomorfología, tefracronología, desarrollo de suelos y registros históricos (Mahaney, 1984; Rutherford, 1984). Con el empleo combinado del método paleomagnético y de varios de los otros métodos, es posible el contar con datos magnetoestratigráficos de referencia tales como la relación de cambios de polaridad y excursiones (Figura 3) o las curvas de paleovariación secular cuyo desarrollo constituye uno de los objetivos de los estudios paleomagnéticos enfocados a problemas estratigráficos (por ejemplo: Urrutia, 1979; Morán *et al.*, 1987; Mora *et al.*, 1991).

Las rocas volcánicas poseen generalmente varias características adecuadas para este tipo de estudios, ya que el registro magnético está constituido principalmente por una magnetización termoremanente (TRM), adquirida al tiempo de enfriamiento del magma y se caracteriza por una alta estabilidad e intensidad (lo que permite su fácil medición en el laboratorio). Detalles de los procedimientos pueden encontrarse en Tarling (1983). En algunos estudios de campos geotérmicos de la Faja Volcánica Trans-Mexicana se han documentado varias aplicaciones potenciales de los estudios magnetoestratigráficos (por ejemplo: Urrutia, 1979; Morán *et al.*, 1987; Urrutia *et al.*, 1988).

La Escala Geomagnética de Polaridades para los últimos 6 Ma se ha desarrollado a partir principalmente de estudios combinados de K-Ar y paleomagnéticos (Cox y Dalrymple, 1967; Mankinen y Dalrymple, 1979). Conforme se han realizado los diversos estudios, la resolución de las variaciones geomagnéticas se ha incrementado, nuevos sub-crones se han documentado y los límites entre los crones se han modificado (McDougall, 1985; Harland *et al.*, 1982). Durante los últimos años se ha usado tradicionalmente la fecha de 0.73 Ma para el límite Brunhes/Matuyama, derivada de estudios en la Caldera Valles, Nuevo México (Doell y Dalrymple, 1966), con las correcciones correspondientes a las nuevas constantes de decaimiento del potasio (Steiger y Jaeger, 1977). La edad de 0.73 Ma es la que se ha adoptado y referido en los estudios de Chichinautzin. Sin embargo, varios estudios han indicado desde hace varios años (Johnson, 1982) que la edad para el límite Brunhes/Matuyama puede ser de alrededor de  $0.79 \pm 0.005$  Ma. La calibración del límite está basada en correlaciones astronómicas y marinas (Johnson, 1982) y ha sido también propuesta (0.78 Ma) en estudios subsecuentes de sedimentos oceánicos del DSDP (Shackleton *et al.*, 1990). Estudios nuevos de las mismas unidades volcánicas empleadas inicialmente para calibrar la Escala Geomagnética por métodos de alta resolución, permitirán una mejor definición de los límites de crones y sub-crones.

Esta modificación puede parecer insignificante si se consideran las incertidumbres asociadas a los métodos radiométricos, sin embargo es importante en las investigaciones sobre por ejemplo estimaciones de velocidades de placas (a partir de anomalías magnéticas), cocientes medios de extrusión de magma, riesgo volcánico, etc. En este trabajo se sugiere considerar el límite Brunhes/Matuyama como de 0.78-0.79 Ma y referir de alguna forma sencilla a posibles usuarios de otros campos de estudio, la incertidumbre asociada a este valor (por ejemplo, indicar 0.73-0.79 Ma o preferentemente alrededor de 0.78-0.79 Ma).

#### DATOS PALEOMAGNETICOS-FORMACION CHICHINAUTZIN

Datos paleomagnéticos para el Grupo Chichinautzin han sido reportados en varios trabajos (Mooser *et al.*, 1974; Urrutia y Valencio, 1976; Herrero y Pal, 1977; Urrutia *et al.*, 1981; Herrero *et al.*, 1986; Böhnelt *et al.*, 1990). La principal característica (y de la cual se han deri-

vado las interpretaciones referidas en la literatura sobre la edad del Grupo Chichinautzin) es la polaridad normal observada en todas las unidades volcánicas.

Los datos paleodireccionales y de paleopolos (polos geomagnéticos virtuales, VGP) se resumen en la Figura 4. Considerando las evidencias de una actividad volcánica joven en Chichinautzin y haciendo referencia a la escala geomagnética de polaridades (Figura 3), la polaridad predominantemente normal implica una actividad dentro del Cron Brunhes. El volcanismo es por lo tanto más joven que el último cambio de polaridad del campo geomagnético, el cual se ha estimado a los 0.73 Ma (Harland *et al.*, 1982) o hasta los 0.78-0.79 Ma (Johnson, 1982; Shackleton *et al.*, 1990). Sin embargo, dentro de este periodo y considerando sólo la información sobre la polaridad, no es posible determinar las características temporales de la actividad volcánica; es decir, si esta se inició hace 0.78-0.79 Ma o en que tiempo posteriormente, si la actividad ha sido predominantemente continua o discreta, si está concentrada en los últimos miles de años, etc. En particular, no es correcto el asumir que la actividad volcánica en Chichinautzin y por lo tanto el cierre estructural de la cuenca se inició hace 0.78-0.79 Ma. Ello por otro lado, no elimina la posibilidad de que la actividad pudiera haberse iniciado en ese tiempo.

La relación entre el volcanismo en Chichinautzin y la clausura del drenaje de la cuenca requiere sustentarse a partir de estudios detallados en las secuencias lacustres (en los lagos de Chalco, Xochimilco y Texcoco) y correlaciones laterales con la actividad volcánica. El utilizar como suposición inicial en reconstrucciones paleogeográficas y paleoambientales que el drenaje se cerró con la actividad inicial de Chichinautzin y a partir de esa época se desarrolló el sistema lacustre introduce una sobre-simplificación no necesaria y no cuenta con una sustentación sólida. No se conoce la distribución espacio-temporal de la actividad volcánica en Chichinautzin y por lo tanto no es posible relacionar eventos volcánicos y tectónicos con el desarrollo de los sistemas lacustres, particularmente en los periodos tempranos.

Las muestras estudiadas para paleomagnetismo han sido obtenidas en las unidades expuestas, por lo que se tiene la posibilidad de un sesgamiento en la toma de la información (hacia las unidades más jóvenes). Muestras de los periodos más antiguos podrían sencillamente no haberse estudiado aún.

Los datos paleomagnéticos para el Grupo Chichinautzin contrastan con los obtenidos para las otras sierras volcánicas en la cuenca de México. Por ejemplo, los estudios de unidades de la Sierra de Santa Catarina indican la ocurrencia de polaridades normal y reversa, por lo que el periodo de actividad es en este caso mayor, cubriendo los Crons de Brunhes y de Matuyama o bien menor y estar concentradas en periodos transicionales y excursiones del campo geomagnético (Figura 3). Los datos preliminares para la Sierra del Ajusco (Mooser *et al.*, 1974; Bremer y Urrutia, 1985; Mora *et al.*, 1991; Urrutia y Herrero, en preparación) indican polaridades reversa y normal, lo que ha sido interpretado en términos de que el Ajusco es anterior a los 0.78-

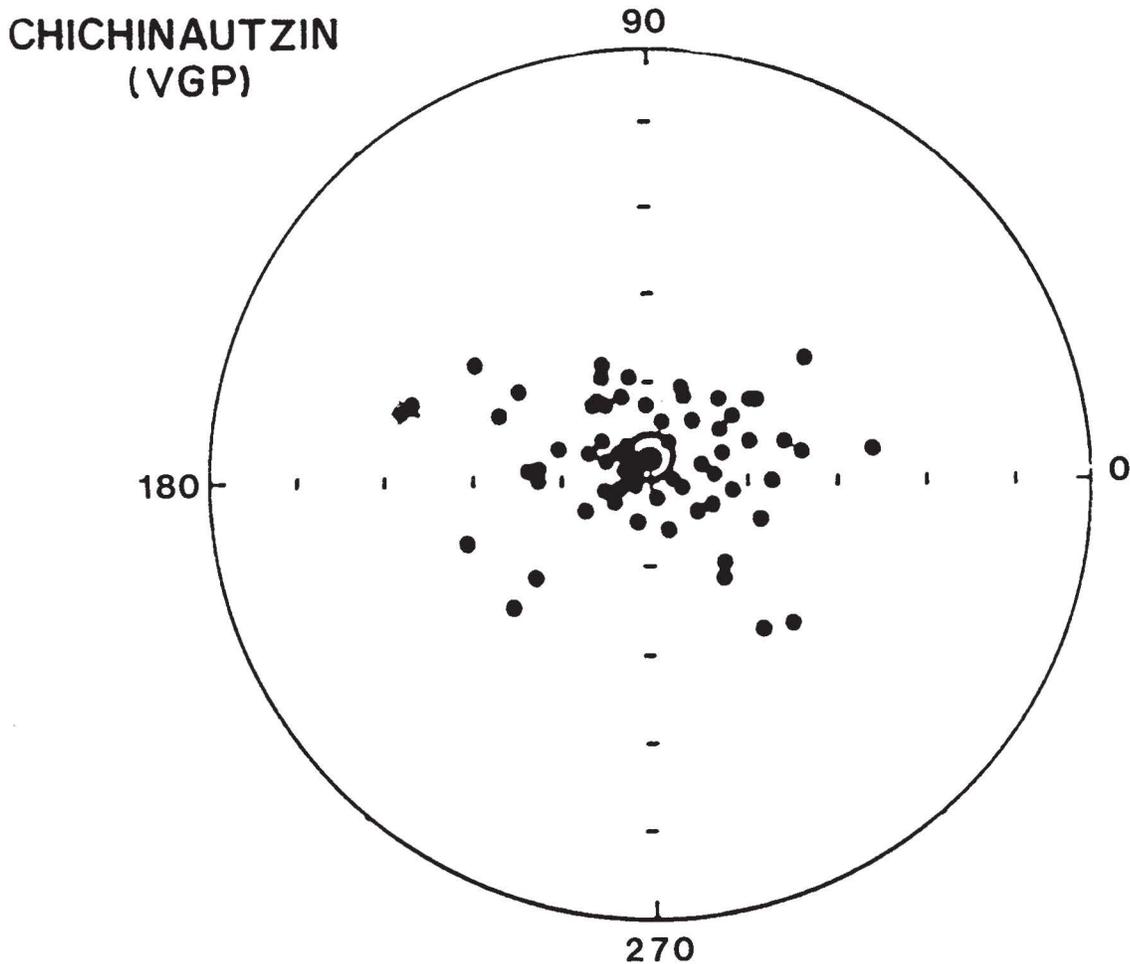


Fig. 4. Resumen de datos paleomagnéticos para el Grupo Chichinautzin (modificada de Böhnell *et al.*, 1990). Los polos geomagnéticos virtuales (VGP) para las distintas unidades están graficados en una proyección estereográfica de igual-área. La polaridad geomagnética es normal.

0.79 Ma, coincidiendo con la transición Brunhes-Matuyama (Mooser *et al.*, 1974; Bremer y Urrutia, 1985). En contraste, el fechamiento radiométrico de 0.39 Ma (K-Ar en roca total) reportado por Mora *et al.*, (1991) indica una edad reciente, quizá correspondiendo a un periodo de excursión del campo geomagnético.

Con base en estudios geomorfológicos, estratigráficos y su correlación con unidades fechadas por C-14 de la porción oeste de Chichinautzin (Bloomfield, 1975), Martín (1982, 1990) ha establecido una división estratigráfica de las unidades expuestas de Chichinautzin. Las unidades cubren los últimos 40 000 años y por lo tanto documentan la actividad más reciente en Chichinautzin. Los resultados paleomagnéticos obtenidos para Chichinautzin provienen principalmente de unidades asignadas a estas subdivisiones (ver Böhnell *et al.*, 1990). Considerando estos datos, bien podría tenerse una edad mucho más joven para la actividad de Chichinautzin. Recientemente, Kirianov *et al.* (1990) han reportado datos de C-14 para varias de los volcanes en Chichinautzin. Las determinaciones se efectuaron en los Institutos de Volcanología y de Geología de la Academia de

Ciencias de la ex Unión Soviética. Los datos cubren el rango entre los 23,000 años y los 3250 años (edades convencionales de radiocarbono referidas a 1950 DC).

Entre los volcanes investigados se tienen: Xitle-Tarango ( $3250 \pm 100$ ), Pelado ( $4070 \pm 150$ ), Cima ( $10160 \pm 70$  y  $10410 \pm 80$ ), Raices ( $15740 \pm 80$  y  $15570 \pm 300$ ), Tres Cumbres ( $16700 \pm 150$ ,  $18680 \pm 120$  y  $23200$ ) y Malinalte ( $18900 \pm 600$ ) (Figura 2). Para los volcanes Tezontle y Acopiaco no fue posible determinar una fecha. Las fechas se reportan en años antes del presente referidas a una vida media de 5568 años (fechas convencionales de C-14 referidas a 1550 DC y sin corrección por dendrocronología). Detalles pueden consultarse en Kirianov *et al.* (1990).

Los resultados paleomagnéticos obtenidos para flujos de lava asociados a los volcanes Xitle (XT-1), Pelado (P-2), Cima (C-13), Tres Cumbres (TC-5) y Malinalte (M-6) y para un flujo en la porción sur del campo volcánico, hacia el Valle de Cuernavaca (CH-45), se resumen en la Tabla 1.

En cada una de las unidades lávicas se colectaron alrededor de seis muestras, excepto el sitio Ch-45 en donde se

Tabla 1

## Datos paleomagnéticos para el Grupo Chichinautzin

| Sitio | Localización<br>(SLat, SLong)    | N  | Dec   | Inc  | k   | $\alpha_{95}$ | PLat<br>( N) | PLong<br>( W) | C14 ( $\sigma$ )<br>(y BP) |     |
|-------|----------------------------------|----|-------|------|-----|---------------|--------------|---------------|----------------------------|-----|
| XT-1  | Xitle<br>(19.18N, 99.14W)        | 6  | 356.5 | 32.3 | 276 | 4.0           | 86.3         | 145.2         | 2422                       | 250 |
|       |                                  |    |       |      |     |               |              |               | 3250*                      | 100 |
| P-2   | V. Pelado<br>(19.15N, 99.21W)    | 6  | 354.6 | 15.1 | 130 | 5.9           | 77.4         | 106.9         | 4070                       | 150 |
| C-3   | V. Cima<br>(19.10N, 99.19W)      | 7  | 16.8  | 21.6 | 71  | 7.2           | 72.0         | 14.4          | 10160                      | 70  |
|       |                                  |    |       |      |     |               |              |               | 10410                      | 80  |
| R-4   | V. Raices<br>(19.10N, 99.26W)    | -  | -     | -    | -   | -             | -            | -             | 15740                      | 80  |
|       |                                  |    |       |      |     |               |              |               | 15570                      | 300 |
| TC-5  | Tres Cumbres<br>(19.06N, 99.21W) | 6  | 2.7   | 22.3 | 317 | 3.8           | 82.1         | 61.2          | 16700                      | 150 |
|       |                                  |    |       |      |     |               |              |               | 18680                      | 120 |
|       |                                  |    |       |      |     |               |              |               | 23200                      |     |
| M-6   | Malinala<br>(19.21N, 99.21W)     | 6  | 6.0   | 32.8 | 513 | 3.0           | 84.2         | 3.1           | 18900                      | 600 |
| CH-45 | (19.01N, 99.00W)                 | 10 | 173   | -29  | 58  | 6.4           | 82.5         | 144.4         | -                          | -   |

Nota: N, número de muestras, Dec, Inc, Declinación e Inclinación, k &  $\alpha_{95}$ , parametros estadística Fisher, PLat & Plong, latitud y longitud del polo geomagnético virtual (VGP). Los fechamientos de C14 estan tomados de Arnold y Libby (1951) para el Xitle (2422 años BP) y de Kirianov et al. (1990) para el resto de los volcanes. \*La fecha de 3250 años BP no se considera aplicable a la erupción del volcán Xitle, la cual es más joven (posiblemente alrededor de 2000 años BP).

colectaron 10 muestras. La intensidad y la dirección de la magnetización remanente natural (NRM) se midieron con un magnetómetro de giro con sensor de discriminación de flujo Molspin. La composición vectorial y la estabilidad de la NRM se examinaron por desmagnetización por campos magnéticos alternos (CMA). Se utilizó un desmagnetizador con sistema de giro alterno Schonstedt, con campos máximos de 100 mT. La magnetización característica se obtuvo del análisis de gráficas vectoriales. Las direcciones medias para cada sitio se obtuvieron por suma vectorial y los parámetros estadísticos de dispersión se calcularon con la estadística Fisher (Irving, 1964).

Las magnetizaciones corresponden a magnetizaciones térmicas (TRM) y residen primordialmente en minerales de baja e intermedia coercitividad de la serie de titanomagnetitas. La magnetización característica presenta una baja dis-

persión angular en todos los sitios analizados (Tabla 1). La polaridad es normal, excepto en el sitio CH-45.

La polaridad reversa observada para el sitio CH-45 llama la atención ya que es la única reportada hasta la fecha para unidades del Grupo Chichinautzin. Estudios adicionales están siendo desarrollados y detalles adicionales y una discusión en términos de sus implicaciones se reportarán posteriormente (Urrutia y Herrero, en preparación). Los resultados obtenidos aquí dejan poca duda sobre la polaridad de la unidad, que presenta una dirección estable con baja dispersión angular. Los datos direccionales se incluyen en la Figura 5. La magnetización corresponde a una TRM y de los diagramas vectoriales puede determinarse la magnetización característica y la ocurrencia de una componente secundaria (Figura 6).

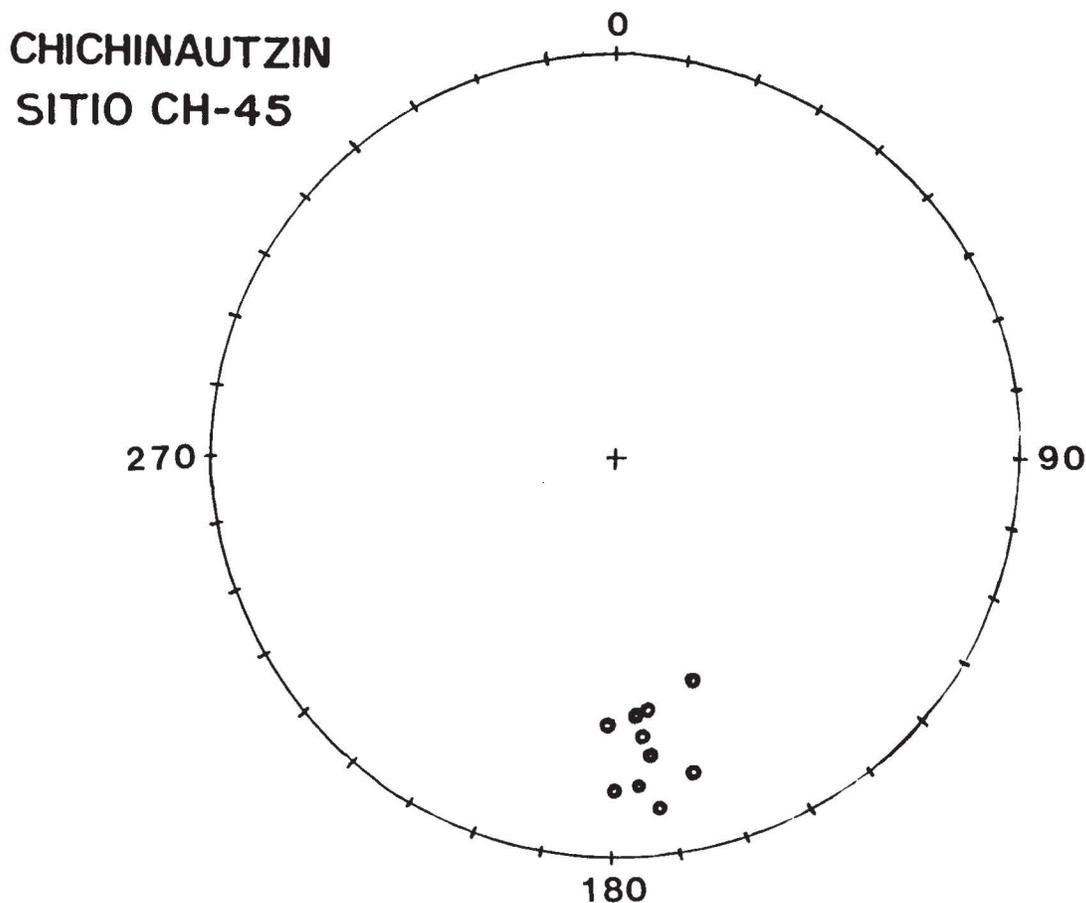


Fig. 5. Direcciones de magnetización remanente característica para el sitio CH-45, situado en el sector sur del campo volcánico de Chichinautzin, hacia el valle de Cuernavaca. La polaridad del sitio es reversa.

### DISCUSION

Los resultados paleomagnéticos reportados para unidades volcánicas (Mooser *et al.*, 1974; Urrutia y Valencio, 1976; Herrero y Pal, 1977; Urrutia *et al.*, 1981; Herrero *et al.*, 1986; Böhnell *et al.*, 1990; Tabla 1) indican que el Grupo Chichinautzin se caracteriza por presentar polaridad normal. Tomando en consideración la ocurrencia de actividad histórica y las características geomorfológicas jóvenes del Grupo (Martín, 1982), esta polaridad normal se ha correlacionado con el Cron de Polaridad Normal de Brunhes. La actividad es por lo tanto más joven de aproximadamente 0.78-0.79 Ma. Las características de la evolución temporal del magmatismo, es decir en que tiempo se inició la actividad y si esta ha sido continua o discreta, no pueden estimarse de la información paleomagnética. Las inferencias sobre el cierre del drenaje de la cuenca y las implicaciones sobre el desarrollo del sistema lacustre requieren analizarse críticamente. En particular, la posibilidad de un desarrollo de lagos en la cuenca, anterior a la actividad tectónica y climática (ocurrencia de las glaciaciones del Pleistoceno).

Por otro lado, cabe enfatizar que los estudios se han concentrado en las unidades más jóvenes (expuestas) y que

por lo tanto representan potencialmente un muestreo estadístico sesgado. El estudio de unidades del subsuelo o de áreas que expongan unidades basales del Grupo podría permitir evaluar que tan antigua es la actividad en la región. La posibilidad de una actividad más antigua es reforzada por la obtención de polaridad reversa en muestras de una unidad de la porción sureste de la Sierra, hacia el valle de Cuernavaca (Tabla 1 y Urrutia y Herrero, en preparación). Si esta unidad forma parte de la actividad basal de la Sierra de Chichinautzin, entonces los datos implicarían una edad más antigua para el Grupo Chichinautzin y ofrecerían la oportunidad de determinar la transición de polaridad reversa a polaridad normal y estimar la magnitud del volcanismo dentro del Cron Brunhes (y anterior). La otra interpretación alternativa, favorecida en los casos de la Sierra de Santa Catarina y del complejo volcánico del Ajusco, es en términos de volcanismo en un periodo de transición dentro del Cron de Brunhes (Figura 3).

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de los proyectos de estudios en la cuenca de México apoyados parcialmente por DGAPA, UNAM (Proyectos IN-103589 y IN-103891). Parte de los estudios paleomagnéticos en la Sierra de Chichinautzin se

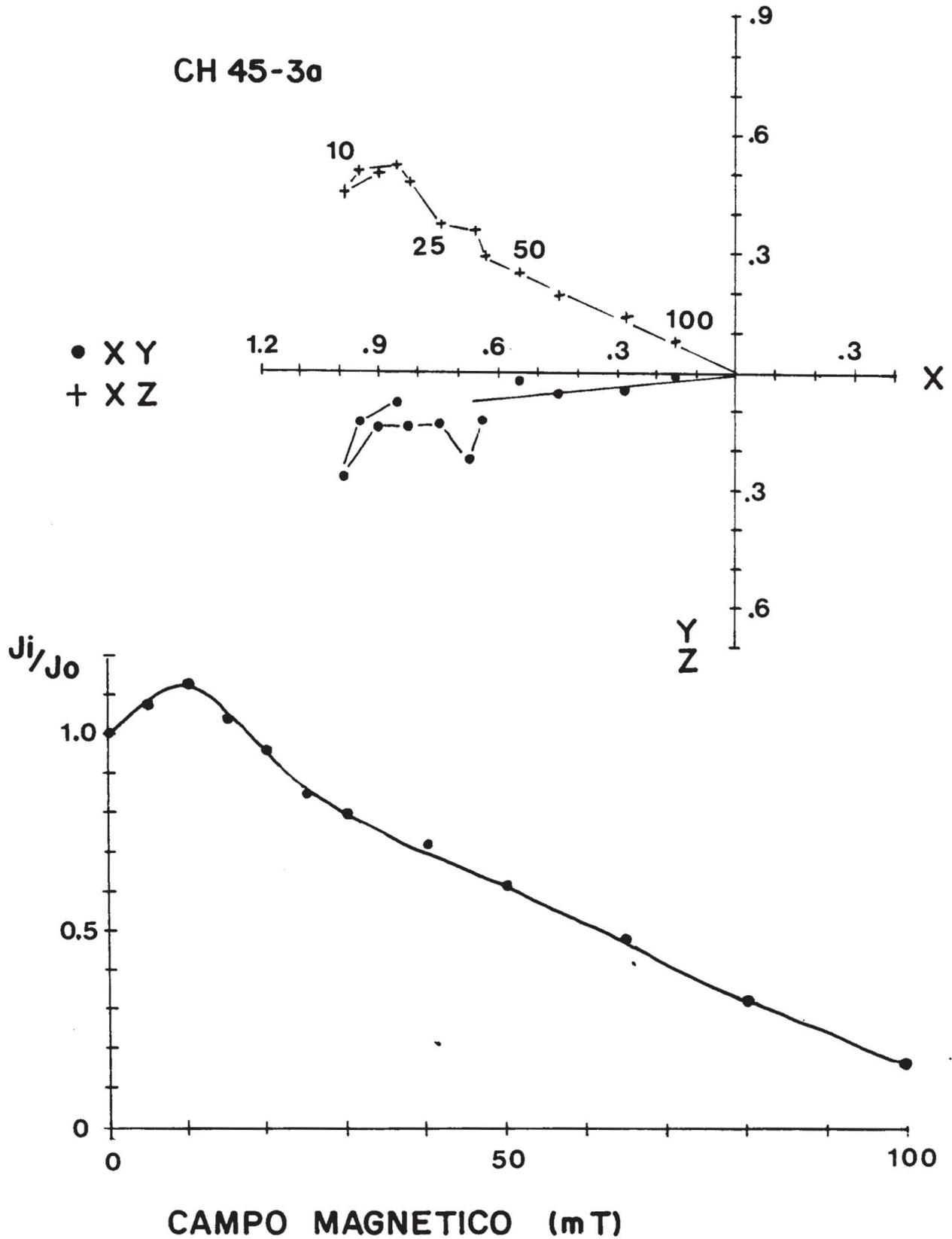


Fig. 6. Ejemplo de gráfica vectorial (arriba) y diagrama de intensidad normalizada (abajo) para una muestra del sitio CH-45.

han desarrollado en colaboración con E. Herrero Bervera (Universidad de Hawaii, USA) y H. Böhnell. Los resultados se reportan por separado en trabajos conjuntos en relación con el estudio de la variación secular del campo geomagnético y paleointensidades. Se agradecen los comentarios críticos sobre las diversas versiones de este manuscrito por parte de Jaime Durazo y Gerardo Carrasco.

#### BIBLIOGRAFIA

- ARNOLD, J.R. y W. F. LIBBY, 1951. Radiocarbon dates. *Science*, 113 (2927), 111-120.
- BLOOMFIELD, K., 1975. A Late Quaternary monogenetic volcano field in Central Mexico. *Geol. Rundsch.*, 64, 476-497.
- BÖHNELL, H., J. URRUTIA y E. HERRERO, 1990. Palaeomagnetic data from central Mexico and their use for palaeosecular variation studies. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 64, 224-236.
- BREMER, M. y J. URRUTIA, 1985. Magnetoestratigrafía y variaciones del campo geomagnético en rocas volcánicas del centro de México. *Rev. Ing.*, 55, 41-45.
- COX, A. y G.B. DALRYMPLE, 1967. Statistical analysis of geomagnetic reversal data and the precision of potassium-argon dating. *J. Geophys. Res.*, 72, 2603-2614.
- DOELL, R.R. y G.B. DALRYMPLE, 1966. Geomagnetic polarity epochs: A new polarity event and the age of the Brunhes-Matuyama boundary. *Science*, 152, 1060-1061.
- FRIES, C., 1960. Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región centromeridional de México. *Bol. Inst. Geol., UNAM*, 60, 1-236.
- HARLAND, B., A.V. COX, P.G. LLEWELLYN, C.A.G. PICKTON, A.G. SMITH y R. WALTERS. 1982. A Geological Time Scale, Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom, 131 pp.
- HERRERO, E. y S. PAL, 1978. Palaeomagnetic study of Sierra de Chichinautzin. *Geofís. Int.*, 17, 167-180.
- HERRERO, E., J. URRUTIA, A.L. MARTIN, H. BÖHNELL y J. GUERRERO, 1986. Normal amplitude Brunhes paleosecular variation at low-latitudes: A paleomagnetic record from the Trans-Mexican volcanic belt. *Geophys. Res. Lett.*, 13, 1442-1445.
- IRVING, E., 1964. Palaeomagnetism and its Applications to Geological and Geophysical Problems. Wiley and Sons, USA.
- JOHNSON, R.G., 1982. Brunhes-Matuyama magnetic reversal dated at 790,000 yr B.P. by marine-astronomical correlations. *Quat. Res.*, 17, 135-147.
- KIRIANOV, V., A. KILOSKOV, S. DE LA CRUZ Y A. L. MARTIN, 1990. The major stages of manifestation of recent volcanism in the Chichinautzin zone. *Geol. Ser. URSS Acad. Sci.*, 311, 2, 430-434.
- MAHANEY, W.C. (Ed), 1984. Quaternary Dating Methods. Elsevier Sci. Publ., Amsterdam. The Netherlands, 428 pp.
- MANKINEN, E.A. y G.B. DALRYMPLE, 1979. Revised geomagnetic polarity scale for the interval 0-5 m.y. B.P. *J. Geophys. Res.*, 84, 615-626.
- MARTIN, A.L., 1982. Monogenetic volcanism in Sierra Chichinautzin, Mexico. *Bull. Volcanol.*, 45, 9-24.
- MARTIN, A.L., 1990. Palcomagnetismo y Geoquímica de Sierra Chichinautzin. Tesis Doctoral, Fac. Ciencias, UNAM.
- McDOUGALL, I., 1985. Status of the geomagnetic polarity time scale. *J. Geomag. Geoelectr.*, 37, 129-137.
- MOOSER, F., 1975. Historia geológica de la Cuenca de México. En: Memoria obras del Drenaje Profundo Distrito Federal, Depto. D.F., Mexico, t. 1, 7-38.
- MOOSER, F., A.E.M. NAIRN y J.F.W. NEGENDANK, 1974. Palaeomagnetic investigations of the Tertiary and Quaternary igneous rocks: VIII A palaeomagnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of Mexico. *Geol. Rundsch.*, 63, 451-483.
- MORA, G., C. CABALLERO, J. URRUTIA y S. UCHIUMI, 1991. Southward migration of volcanic activity in the Sierra de las Cruces, Basin of Mexico?. -A preliminary K-Ar dating and palaeomagnetic study. *Geofís. Int.*, 30, 61-70.
- MORAN, D.J., J. URRUTIA Y J. O. CAMPOS, 1987. Magnetoestratigrafía del campo geotérmico de Los Azufres, Michoacán. *Rev. Geogr.*, 1, 35-41.
- RUTTER, N.W. (Ed), 1984. Dating Methods of Pleistocene Deposits and Their Problems. Geosci. Canada Rep. Ser., 2.
- SHACKLETON, N.J., A. BERGER y W.R. PELTIER, 1990. An alternative astronomical calibration of the Lower Pleistocene timescale based on ODP Site 677. *Trans. R. Soc. Edinburg, Earth Sci.*, 81, 251-261.

- STEIGER, R.H y E. JAEGER, 1977. Subcomission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36, 359-362.
- TARLING, D.H., 1983. Palaeomagnetism. Chapman and Hall, United Kingdom.
- URRUTIA, J. 1979. Palaeomagnetism of Caldera de los Humeros, Mexican volcanic belt. Proceed. Latin America Congr., Trinidad y Tobago, 1, 4-15.
- URRUTIA, J. y D. A. VALENCIO, 1976. Estudio paleomagnético del basalto del Pedregal de San Angel, Valle de México. Rep. Inst. Geof., UNAM, 27 pp.
- URRUTIA, J., L. MAUPOME y P. BROSCHE, 1981. Archaeomagnetic research programme, I. An introduction to the knowledge of magnetism in pre-Columbian Mesoamerica. Rep. Inst. Geof., UNAM, 25 pp.
- URRUTIA, J., J.O. CAMPOS, A. RAMIREZ *et al.*, 1998. Paleomagnetismo y magnetoestratigrafía de la Sierra de la Primavera, Jalisco. *Geofís. Int.*, 27, 395-414.
- 
- J. Urrutia Fucugauchi y Ana Lilian Martín del Pozzo  
*Laboratorio de Paleomagnetismo y Geofísica Nuclear, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F., México.*