



REVALUACIÓN DE LAS EXCURSIONES GEOMAGNÉTICAS REGISTRADAS EN FLUJOS DE LAVA DE LOS CAMPOS VOLCÁNICOS CEBORUCO Y TEQUILA, OESTE DE MÉXICO

M. Cervantes-Solano¹, A. Gogutchachvili², J. Rosas-Helguera³, R. Cejudo-Ruiz²,
J. Morales-Contreras², J.H. García-Pérez¹

¹ Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, UNAM, México

² Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, IGUM-UNAM, Morelia, México

*e-mail: miguel_cervantes@enesmorelia.unam.mx

RESUMEN

Se presentan los resultados de un estudio paleomagnético y de magnetismo de rocas realizado en seis sitios localizados en el campo volcánico Ceboruco-San Pedro y en el campo volcánico Tequila pertenecientes a la parte oeste de la faja volcánica Transmexicana. Estos sitios cuentan con fechamientos radiométricos y estudios paleomagnéticos previos que arrojan resultados direccionales significativamente distintos con implicaciones Geomagnéticas incluso contradictorias. Con la finalidad de obtener nueva información paleomagnética que permita determinar las características y el tipo de evento geomagnético registrado en estas unidades, se llevó a cabo una nueva campaña de muestreo. Se obtuvieron 69 muestras pertenecientes a seis flujos de lava independientes provenientes de los campos volcánicos de Tequila y Ceboruco en el Oeste de México con edades radiométricas previas entre los 354 Ka a 671 Ka. Los experimentos de magnetismo de rocas muestran que en la mayoría de los casos, el mineral portador de la remanencia magnética es titanomagnetita pobre en titanio, los portadores son una mezcla de granos de dominio sencillo con una cantidad poco significativa de granos multidominio. En todos los casos fue posible determinar las componentes de la magnetización remanente característica. En cuatro de los seis sitios fue posible establecer las direcciones paleomagnéticas promedio mediante estadística Fisher.

Palabras clave: Paleomagnetismo, excursión geomagnética, Faja Volcánica Transmexicana

ABSTRACT

A paleomagnetic and rock-magnetic study carried out on Plio-Pleistocene rocks belonging to the Ceboruco-San Pedro and Tequila volcanic fields at the western part of the Trans-Mexican volcanic belt is presented. Previous paleomagnetic studies performed on these radiometrically-dated sites yielded significantly different directional results with contradictory geomagnetic implications. A new sampling campaign was carried out in order to obtain new paleomagnetic information to determine the characteristics and nature of geomagnetic events recorded in these rocks. In number of 69 samples, belonging to six independent lava flows from Tequila and Ceboruco volcanic fields in western Mexico, were sampled, with ages ranging from 354 Ka to 671 Ka according to available radiometric data. Rock magnetism experiments show that, in most cases, the mineral bearing magnetic remanence is titanomagnetite poor in titanium, while magnetic structure seems to be a mixture of single-domain grains with a negligible amount of multidomain grains. Four out of 6 studied lavas, a well-defined paleodirections were obtained. Other two sites however, failed to retrieve the mean directions due to high within scatter.

Keywords: Paleomagnetism, geomagnetic excursion, Transmexican Volcanic Belt

1. Introducción

Los estudios paleomagnéticos permiten conocer con detalle las variaciones del campo magnético terrestre CMT como la variación paleosecular, las excursiones e inversiones geomagnéticas. Las inversiones como las excursiones geomagnéticas son las variaciones de mayor amplitud y duración que presenta el CMT, se



sabe que estos eventos están fuertemente influenciados por la naturaleza y variaciones laterales del límite entre el manto interno y el núcleo externo (Glatzmaier y Roberts, 1997). Actualmente los registros de excursiones geomagnéticas son escasos y su estudio sistemático permite comprender el origen, la frecuencia, la amplitud, la duración y el comportamiento de este tipo de eventos. Si bien es cierto que desde hace tiempo se ha documentado la existencia de este tipo de eventos (Brunhes, 1906), hasta ahora solo la excursión de Laschamp ha sido suficientemente documentada para probar tanto su existencia como su duración (Laj y Channell, 2007). En el mismo sentido Champion *et al.* (1988), afirma que hay por lo menos ocho eventos de inversión dentro del Cron de Brunhes con una correlación geocronológica bastante precisa que permite distinguir sin ambigüedad a estos eventos (*e.g.* Spell y McDougall, 1992).

Considerando que el campo geomagnético permanece durante algún tiempo en el estado invertido y luego vuelve a su estado de polaridad Normal. El registro paleomagnético de una polaridad inversa no permite por sí mismo establecer si se trata de una excursión ó una inversión, sólo mediante un control geocronológico estricto y datos paleomagnéticos precisos es posible establecer la naturaleza del evento registrado. En este sentido existen numerosos estudios paleomagnéticos realizados en la faja volcánica Transmexicana (FVTM), en particular los realizados en rocas volcánicas provenientes de los campos volcánicos Tequila y Ceboruco-San Pedro. Por ejemplo, Petronille *et al.* (2005), Ceja *et al.* (2006) y Michalk *et al.* (2013), reportan resultados contradictorios que son interpretados como eventos excursionales o transicionales. El presente trabajo se realizó con la finalidad de aportar nuevos datos paleomagnéticos que combinados con geocronología de alta precisión pueda permitir establecer con mayor certeza la naturaleza de estos eventos y examinar sus posibles repercusiones estratigráficas, tectónicas y en la variación secular.

2. Contexto geológico y detalles de muestreo

La Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) o Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) es un arco volcánico continental conformado por más de 8,000 cuerpos volcánicos. Se extiende 1,000 km de largo con un ancho variable de 80 a 230 km (Ferrari, 2000), con una dirección preferencial E-W en su parte central y oriental, y una dirección WNW-ESE en su parte occidental. Se encuentra entre las latitudes 18°30' N y 21°30' N, y las longitudes 106° W y 96° 45' W. Dentro de ella se encuentran los campos volcánicos Ceboruco San Pedro y Tequila. El campo volcánico Ceboruco-San Pedro (CVCSP), se ubica al noroeste de Guadalajara, cuenta con más de 70 chimeneas volcánicas y 16 conos de ceniza monogenéticos en un área de 1600 km² siendo el volcán Ceboruco el más importante (Nelson, 1980). El campo volcánico Tequila se sitúa en el graben Tepic-Zacoalco a 20 km al sur de la ciudad Tequila (Jalisco), ocupa 1600 km² y se caracteriza por flujos de composición basáltica a dacítica, domos riolíticos y algunos estratovolcanes andesíticos, el volcán Tequila es el más importante (Lewis-Kenedi *et al.*, 2005). Se obtuvieron 62 muestras de seis flujos de lava distintos, dos de ellos pertenecientes al campo volcánico Ceboruco y cuatro al campo volcánico Tequila. Los sitios se seleccionaron siguiendo dos criterios: a) que los flujos fueran los datados en los trabajos de Frey *et al.*, (2001) para el campo volcánico Ceboruco y por Lewis-Kenedi *et al.*, (2005) para el campo volcánico Tequila y 2) en muestras cuyas direcciones paleomagnéticas previamente publicadas presentasen polaridades discordantes o que la determinación de sus direcciones se hubiese realizado con una cantidad insuficiente de datos como para establecer conclusiones (Fig. 1).

3. Resultados

Con el objetivo de identificar a los minerales magnéticos responsables de la remanencia y comprobar su estabilidad magnética se realizaron mediciones de susceptibilidad en función de la temperatura (curvas termomagnéticas k-T). Las curvas indican que en la mayoría de las muestras se observa la presencia de una sola fase ferromagnética con una temperatura de Curie entre los 520° C y 580° C compatible con la

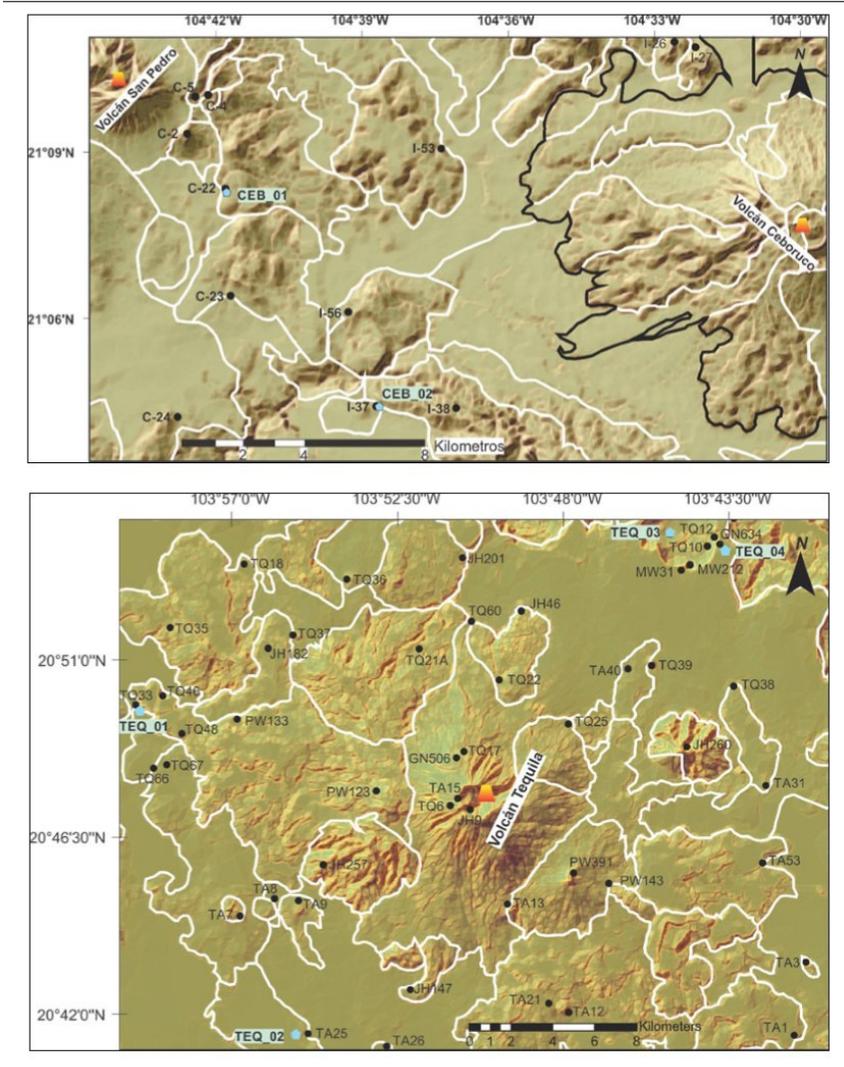
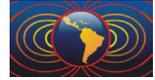
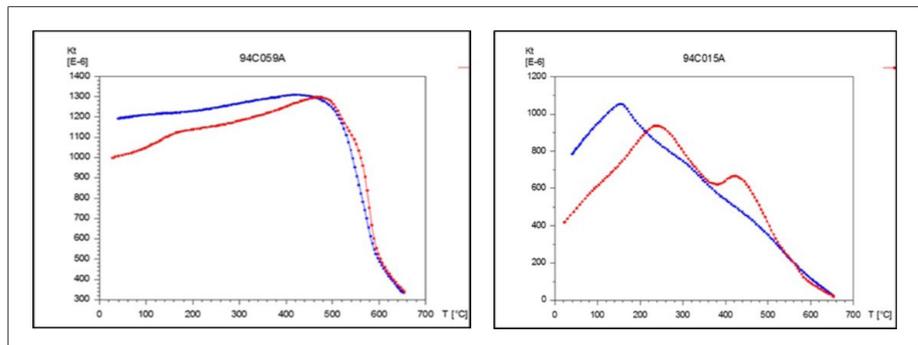
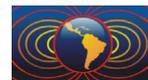


Figura 1. Ubicación de los sitios de estudio. En la parte superior se muestra el campo volcánico Ceboruco-San Pedro y en la inferior el campo volcánico Tequila, los sitios muestreados se indican por pentágonos azules, los puntos negros son las localizaciones donde se obtuvieron las muestras para datación y las líneas blancas delimitan las unidades individuales de lavas de acuerdo con Frey *et al.* (2001) y Lewis-Kenedi *et al.* (2005).

titanomagnetita pobre en titanio, también se observa un ligero aumento de la susceptibilidad durante el enfriamiento por lo que se les considera curvas irreversibles, sin embargo, muestran una alta estabilidad térmica (Fig. 2, muestra 94C059A). En otro grupo de muestras se manifiesta la presencia de dos fases ferromagnéticas durante el calentamiento y una sola durante el enfriamiento, su punto de Curie más bajo se encuentra entre los 240° C y 360° C y el mayor entre los 440° C y 580° C; este comportamiento se debe posiblemente a la coexistencia de titanomagnetitas ricas en titanio para la primera fase y titanomagnetita pobre en titanio para la segunda (Fig. 2, 94C05A).

Figura 2. Curvas termomagnéticas continuas (k-T). La línea roja indica el calentamiento y la línea azul indica el enfriamiento, en el eje horizontal indica la temperatura (°C) y en el eje vertical la susceptibilidad magnética (K) en unidades arbitrarias.





Para determinar las componentes direccionales de la magnetización remante característica CHRM se realizaron desmagnetizaciones mediante campos alternos, lográndose en todos los casos determinar las componentes direccionales de la CHRM. Posteriormente se determinaron mediante la estadística de Fisher, los promedios para cada sitio. Se obtuvieron direcciones en cuatro de los seis sitios debido a que dos de ellos no se observa agrupamiento coherente entre las direcciones individuales de cada muestra por lo que no es posible calcular el promedio.

En los sitios CEB_1 Y CEB_2 pertenecientes al CVCSP, a saber, no fue posible establecer una dirección promedio debido a que las determinaciones individuales de las muestras no se observa un agrupamiento coherente. Los resultados de los sitios TEQ_1 y TEQ_4 difieren de los reportados previamente en Ceja *et al.* (2006) y Michalk *et al.* (2013) por lo que no es posible establecer con mayor certeza la información sobre la naturaleza de los eventos registrados. En lo correspondiente al sitio TEQ_2, nuestros resultados coinciden con los resultados los publicados por Michalk *et al.* (2013), mostrando ambos una polaridad normal bien definida por lo que se descarta que sea un registro de la excursión geomagnética Levantine propuesta por Ceja *et al.* (2006). En cuanto al sitio TEQ_3 los resultados coinciden con los reportados por Michalk *et al.* (2013), por lo que se puede afirmar que el registro corresponde a la excursión geomagnética conocida como Big Lost con una edad de 592 ± 20 ka. (Fig. 3).

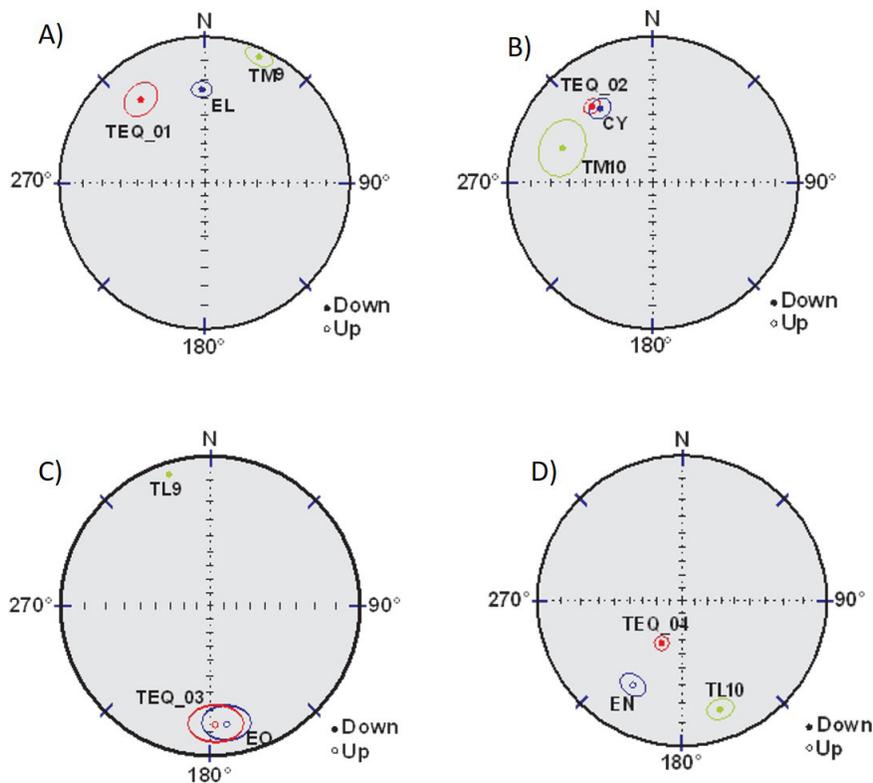
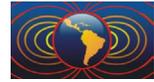


Figura 3. Estereograma con las direcciones promedio de cada sitio y las reportadas en trabajos anteriores. A) direcciones del sitio TEQ_01 y de los estudios previos, EL (Michalk *et al.*, 2013) y TM9 (Ceja *et al.*, 2006); B) direcciones sitio TEQ_02 y de los estudios previos, CY (Michalk *et al.*, 2013) y TM10 (Ceja *et al.*, 2006); C) direcciones del sitio TEQ_03 y de los estudios previos, EO (Michalk *et al.*, 2013) y TL9 (Ceja *et al.*, 2006) y D) direcciones del sitio TEQ_04 y de los estudios previos, EN (Michalk *et al.*, 2013) y TL10 (Ceja *et al.*, 2006).



Referencias

- Brunhes B., 1906. Recherches sur la direction de l'aimantation des roches volcaniques. *Journal de Physique* 5, 705-724.
- Ceja M., Goguitchaichvili A., Calvo-Rathert M., Morales-Contreras J., Alva-Valdivia L., Elguera J., Urrutia-Fucugauchi J., Delgado H., 2006. Paleomagnetism of the Pleistocene Tequila Volcanic Field (Western Mexico). *Earth Planets Space* 58, 1359-1358.
- Champion D.E., Lanphere M.A, Kuntz M.A, 1988. Evidence for a new geomagnetic reversal from lava flows in Idaho: Discussion of short polarity reversals in the Brunhes and late Matuyama polarity chrons. *Journal of Geophysical Research* 93, 11667-11680.
- Ferrari L., 2000. Avances en el conocimiento de la faja volcánica transmexicana durante la última década. *Boletín de la sociedad geológica mexicana* LIII, 84-92.
- Frey H., Lange R., Hall, C., Delgado-Granados H., 2004. Magma eruption rates constrained by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology and GIS for the Ceboruco-San Pedro volcanic field, western Mexico, *Geological Society of America Bulletin*, 116, 259-276.
- Glatzmaier, G. A., y P. H. Roberts., 1997. Simulating the geodínamo. *Contemporary Physics* 38, 269-288.
- Laj C., y Channell, J., 2007. *Geomagnetic Excursions*, Elsevier, United States, pp. 373-416.
- Lewis-Kenedi C., Lange R., Hall C., Delgado-Granados, H., 2004. The eruptive history of the Tequila volcanic field, western Mexico: ages, volumes, and relative proportions of lava types, *Bulletin of Volcanology* 67, 391-414.
- Michalk D., Böhnell H., Nowaczyk N., Aguirre-Diaz G., López-Martínez M., Ownby S., Negendank J., 2013. Evidence for geomagnetic excursions recorded in Brunhes and Matuyama Chron lavas from the trans-Mexican volcanic belt. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 118, 2648-2669.
- Petronille M., Goguitchaichvili A., Henry B., Alva-Valdivia L. M., Rosas-Elguera J., Urrutia-Fucugauchi, J., Calvo-Rathert M., 2005. Paleomagnetism of Ar-Ar dated lava flows from the Ceboruco-San Pedro volcanic field (western Mexico): Evidence for the Matuyama-Brunhes transition precursor and a fully reversed geomagnetic event in the Brunhes chron. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 110, B8101.
- Spell T.L. y McDougall I., 1992. Revisions to the age of the Brunhes-Matuyama Boundary and the Pleistocene geomagnetic polarity timescale. *Geophysical Research Letters* 19, 12, 1181-1184.
- Zijderveld, J. 1967. A.C. Demagnetization of rocks: analysis of results, en Collinson, D.W., Creer, K.M., Runcorn, S. K. (editores.), *Methods in Paleomagnetism*: Elsevier, New York, 254-286.