



ESTUDIO PALEOMAGNETICO INTEGRAL DE LOS FLUJOS DE LAVA DE LA REGION TACAMBARO PERTENECIENTE AL CAMPO VOLCANICO MICHOACAN GUANAJUATO (OCCIDENTE DE MEXICO)

Rafael Maciel Peña*¹, Avto Goguitchaichvi¹, Bernard Henry², Leda Sanchez Bettucci³, Bertha Aguilar Reyes¹ y Juan Morales¹

¹ LIMNA, Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán, UNAM – Campus Morelia.

² Paléomagnétisme, Institut de Physique du Globe de Paris and Centre National de la Recherche Scientifique, 94107 Saint Maur, France

³ Departamento de Geología, Area Geofísica-Geotectónica, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, 11200 Montevideo, Uruguay

Resumen

Este trabajo presenta nuevos resultados paleomagnéticos de 26 unidades de enfriamiento independientes pertenecientes al Campo Volcánico Michoacán Guanajuato (CVMG) en el oeste de México. Se muestrearon cerca de 260 muestras paleomagnéticas estándar de la localidad de Tacámbaro. Todos los sitios están fechados por el método radiométrico de Ar-Ar y las edades van desde 4 Ma hasta la actualidad. La paleodirección característica fue aislada para 25 flujos de lava, de los cuales 20 mostraron polaridad normal, 5 reversa y uno se desechó por mostrar inconsistencia. La principal paleodirección obtenida es $I=32.7^\circ$, $D=352.3^\circ$, $\alpha_{95}=4.8^\circ$, lo cual corresponde a una posición del polo de $Plat=83.7^\circ$, $Plong=0.59^\circ$, y $\alpha_{95}=3.8^\circ$. Estas paleodirecciones son prácticamente indistinguibles de la esperada para el Plio-Cuaternario, como la obtenida del polo de referencia para el cratón norte americano. La variación paleosecular se estimó a través de estudiar la dispersión del polo geomagnético virtual dando $S_B=13.7$, $S_U=17$, $S_L=11.5$ (límite superior e inferior respectivamente), lo cual corresponde con el modelo G de McFadden et al. (1988, 1991) y la nueva compilación de Johnson et al. (2008) para los últimos 5 Ma.

Abstract

We report new paleomagnetic results obtained from 26 cooling units belonging to the Michoacán Guanajuato Volcanic Field (West Mexico). In total, 260 standard paleomagnetic cores were obtained at Tacámbaro area. All sites were recently dated by Ar-Ar systematics yielding 4 Ma as oldest ages. The mean paleodirection obtained from 25 sites, $I=32.7^\circ$, $D=352.3^\circ$, $\alpha_{95}=4.8^\circ$, is close to the expected paleodirection for Plio-Quaternary derived from the reference pole of North America. The corresponding paleomagnetic pole position is $Plat=83.7^\circ$, $Plong=0.59^\circ$, y $\alpha_{95}=3.8^\circ$. Paleosecular variation was estimated through the dispersion of virtual geomagnetic poles yielding $S_B=13.7$, $S_U=17$, $S_L=11.5$ (upper and lower limits respectively). These values agree well to the model G of McFadden et al. (1988, 1991) and recent compilation of Johnson et al. (2008) for the last 5 Ma.

Introducción

La Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) es una zona que tiende a E-W entre la latitud 19° a 20° N, extendiéndose cerca de los 1,000 Km desde el Pacífico hasta el Golfo de México. El origen es relacionado con la subducción de la placa de Cocos por debajo de la placa Norteamericana. El Campo Volcánico Michoacán Guanajuato (CVMG), está situado en la parte media de la Faja Volcánica Trans-Mexicana, comprendiendo la parte norte del estado de Michoacán y la parte sur del estado de Guanajuato (Ramos, 1981; Hasenaka y Carmichael, 1987; Hasenaka et al, 1994), y contiene más de mil volcanes en un área de $40,000 \text{ km}^2$, la mayoría de los cuales son conos



cineríticos, y en menor cantidad hay domos de lava, maars, volcanes escudo, compuestos y flujos de lava. El muestreo se realizó en el municipio de Tacámbaro. La mayoría fueron volcanes monogeneticos pertenecientes a las comunidades o poblaciones de Tecario, Puruarán, Tacámbaro, Chupio, Tavera, Cahulote de Santana y Pedernales, en la mayoría de los casos se muestreo un flujo de lava pero hubo casos en los que se muestreo una bomba en un volcán monogenético de escoria.

Muestreo

Se muestrearon en total 260 muestras orientadas pertenecientes a 26 flujos de lava. Los sitios fueron previamente datados por Ar-Ar y K-Ar. Estas lavas fueron eruptadas de 4 Ma hasta la actualidad (Figura 1). Los núcleos fueron muestreados con una perforadora portátil a base de gasolina y orientados en la mayoría de los casos con brújula magnética y solar.

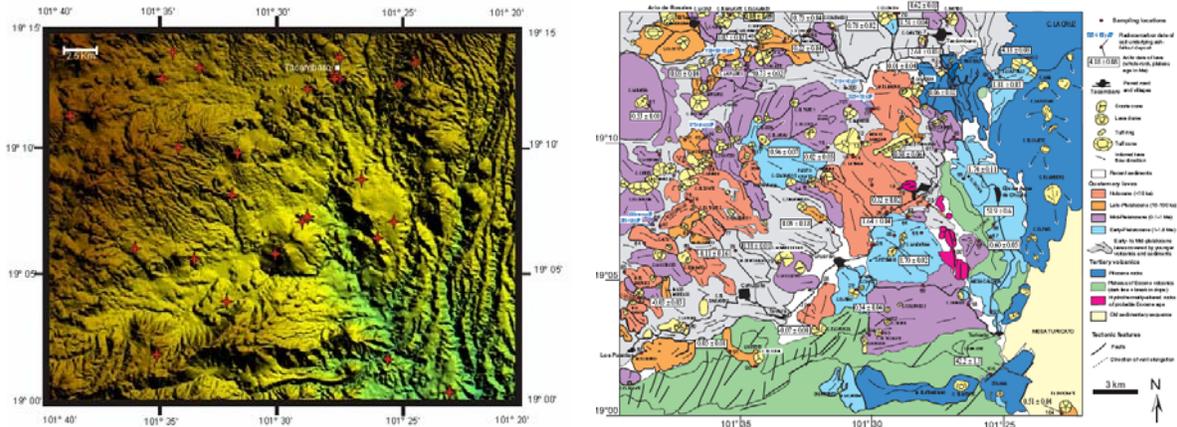


Figura 1 Ubicación de sitios muestreados, a) Modelo Digital de Elevación, b) mapa geológico

Mediciones Magnéticas

Se realizaron experimentos de magnetismo de roca sobre muestras representativa de cada flujo de lava, para identificar los portadores magnéticos y el tamaño de grano característico. Todas las mediciones magnéticas de roca se realizaron en el laboratorio del Instituto de Física del Globo de París (Francia). Experimentos de susceptibilidad a baja temperatura muestran un aumento monótono desde unos -185°C a la temperatura ambiente sin indicación de transición Verwey. Correspondiente de alta temperatura, las curva de calentamiento y enfriamiento no son perfectamente reversibles, probablemente a causa del valor inicial bajo de susceptibilidad magnética. Con el análisis de estas curvas se determina que el principal portador magnético es la titanomagnetita pobre en Ti. Mediciones de la histéresis magnética La curva representativa es simple, simétrica y refleja intervalos restringidos de coercividades (Tauxe et al., 1996). A juzgar por los parámetros de histéresis, parece que todas las muestras caen en el pseudo-dominio simple de grano (PSD) (Day et al., 1977). Esto también podría indicar una mezcla de multidominio (MD) y una cantidad significativa de dominio simple de granos (SD) (Dunlop y Özdemir, 1997; Dunlop, 2002).

Propiedades de remanencia

La magnetización remanente de ocho muestras de cada flujo de lava fueron medidos con un magnetómetro de giro JR-6 (AGICO Ltd) (sensibilidad nominal ~ 10.9 AM²) en el Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural (LIMNA) en Morelia (México). Y también se realizaron



las desmagnetización por campos alternos (AF) (con un desmagnetizador molspin AF) y desmagnetización térmica por etapas hasta una temperatura de 560°C (con un horno TD ASC-48).

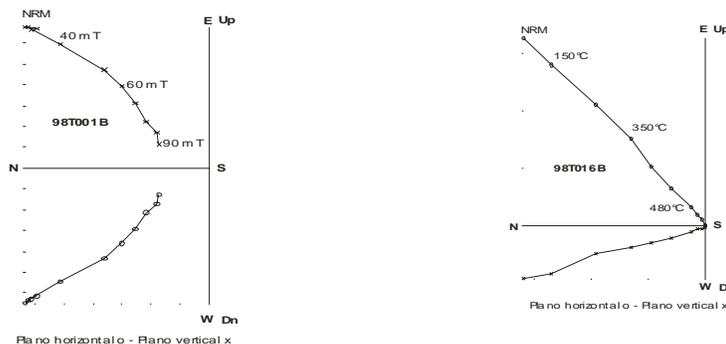


Figura 2 Desmagnetizaciones térmicas y por campos alternos de muestras representativas.

Dos componentes magnéticas fueron sistemáticamente detectadas por la mayoría de las unidades estudiadas (Fig. 2). Las componentes magnéticas características se aislaban después de aplicar 40 mT de campo alterno. Cabe señalar que los tratamientos AF demostraron ser más eficaces que la desmagnetización térmica.

Resultados y análisis

La paleodirección media obtenida $Inc = 32.7^\circ$, $Dec = 352.3^\circ$, $k = 36$, $\alpha_{95} = 4.8^\circ$ que corresponde a la posición del polo $P_{lat} = 83.7^\circ$, $P_{long} = 0.59^\circ$, $K = 56$ y $A_{95} = 3.8^\circ$. Estas direcciones son prácticamente indistinguibles (Fig. 3) tanto del eje de rotación y la paleodirección esperada para el plio-cuaternario, tal como se deriva de los polos de referencia para el Cratón Norteamericano (Besse y Courtillot, 2002). Esto indica que no hay un aporte importante de rotación tectónica desde hace 1 Ma. La principal inclinación se traslapa dentro de la incertidumbre derivadas del GAD (dipolo axial geomagnético) y el GAD, más el 5% de las contribuciones cuadrupolares.

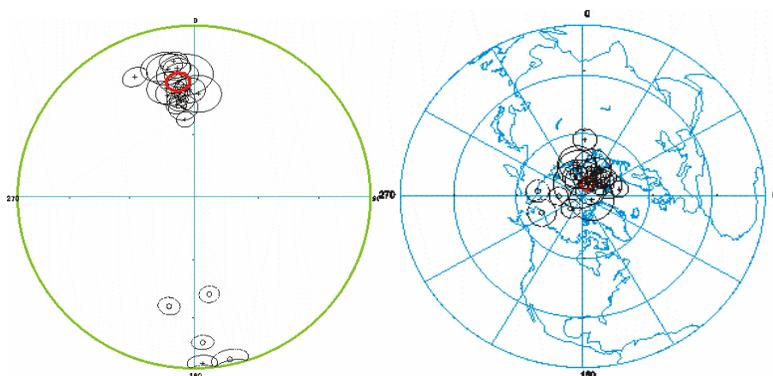


Figura 3 Proyección de igual área de las paleodirecciones características para el CVMG B) posición del polo geomagnético virtual

Obtuvimos $S_F = 13.7$ con $S_U=17$ y $S_L = 11.5$ (límites superior e inferior, respectivamente) que, razonablemente coincide con el modelo G, de McFadden et al. (1988, 1991) y Johnson et al. (2008) para las bases de datos de los últimos 5 Ma (Fig. 4).



Para obtener el registro paleomagnético detallado para los últimos 5 Ma. Se conjuntaron todos los datos de este estudio, así combinamos los datos del Volcán Tancitaro (Maciel Peña, et al., 2009), Región Valle de Santiago y Morelia (Maciel Peña, et al., 2011), Volcán Jorullo y Región Tacámbaro. La interesante característica del registro viene de los flujos de lava JO10 y JO02 con fecha 3.23 Ma y 2.74 Ma los cuales presentan polaridad reversa dentro del Cron magnético de Gauss el cual es polaridad normal. La posible existencia de una magnetización de polaridad reversa en la época normal de Gauss podría deberse a la anomalía identificada como Mammoth.

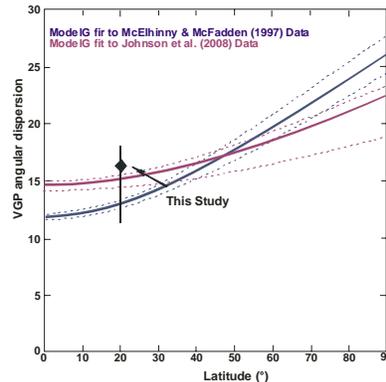


Figura 4 Variación Paleosecular de lavas (PSVL, por sus siglas en inglés) para los últimos 5 Ma. (Adoptado de McFadden et al. 1988 y 1991, y Johnson et al. 2008).

La polaridad normal fue también detectada para los sitios Tac 7 (1.7 Ma), Tac 8 (1.64 Ma), Val8 (1.2 Ma), este último se podría especular que este flujo de lava erupcionado durante el evento geomagnético global de Reunion.

Conclusión

Las direcciones promedio se determinaron con precisión para 25 flujos independiente de lava de los 26 recogidos. Todos los α_{95} tienen menos de 10° . 20 lavas mostraron polaridad normal, 5 polaridad reversa. Las curvas termomagnéticas muestran que la remanencia es portada en la mayoría de los casos por Ti-titanomagnetitas pobres, resultante de oxi-exsolución de titanomagnetitas originales durante el enfriamiento del flujo inicial, que indica que la magnetización primaria es una TRM (magnetización termoremanente por sus siglas en inglés). La paleodirección media obtenida $Inc = 32.7^\circ$, $Dec = 352.3^\circ$, $k = 36$, $\alpha_{95} = 4.8^\circ$ que corresponde a la posición del polo $P_{lat} = 83.7^\circ$, $P_{long} = 0.59^\circ$, $K = 56$ y $A_{95} = 3.8^\circ$. Obtuvimos $S_F = 13.7$ con $S_U = 17$ y $S_L = 11.5$ que, razonablemente coincide con el modelo G, de McFadden et al. (1988, 1991) y Johnson et al. (2008) para las bases de datos de los últimos 5 Ma.

Una característica importante del registro geomagnético obtenido del CVMG es que el sitio Vall (Yahuarato) fechado cerca de 0.56 Ma, produjo paleodirección reversa. Evidencia adicional que soporta estas paleodirecciones anómalas, es la obtenida en las lavas del Ceboruco estudiadas por Petronille et al. (2005). Singer et al. (2002), así se encuentran paleodirecciones que coinciden con el evento Big Lost (edad de 580.2 ± 7.8 Ka). El evento Big Lost fue primeramente descrito por Champion et al. (1981 y 1988) en flujos de lava de Idaho. Hay algunas evidencias marinas del evento Big Lost como lo presentado en Lund et al. (1998) y Langereis et al. (1997).



Referencias

Besse, J. and Courtillot, V., 2002. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Ma. *J. Geophys. Res.*, 107, n° B11, 1029/2000JB000050.

Bohnel, H and R. Molina-Garza, 2002. Secular variation in Mexico during the last 40,000 years, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 133, 99-109.

Champion D.E., G.B. Dalrymple and M.A. Kunz, 1981. Radiometric and paleomagnetic evidence for the Emperor reversed polarity event at 0.46 m.y. in basalt lava flows from the eastern Snake River Plain, Idaho. *Geophys. Res. Lett.*, 8, 1055-1058.

Conte-Fasano G., Urrutia-Fucugauchi J., Goguitchaichvili A. and Morales-Contreras J., 2006. Low-latitude paleosecular variation and the time-averaged field during the late Pliocene and Quaternary—Paleomagnetic study of the Michoacan-Guanajuato volcanic field, *Central Mexico Earth Planets Space*, 58, 1359–1371.

Cox, A. 1969. Confidence limits for the precision parameter k . *Geophys. J. R. astr. Soc.* V. 18, 545-549.

Goguitchaichvili, A. and M. Prévot, 2000. Magnetism of oriented single crystals of hemo-ilmenite showing self-reversal of thermoremanent magnetization, *J. Geophys. Res.*, 105, 2761-2781.

Gonzalez, S., G. Sherwood, H Bohnel and E. Schnepf, 1997. Paleosecular variation in central Mexico over the last 30 000 years: The record from lavas. *Geophysical Journal International*, 130, p. 201-219.

Guyodo, Y. and Valet, J.P. 1999. Global changes in intensity of the Earth's magnetic field during the past 800 kyr, *Nature*, Macmillan Magazines Ltd, Vol 399, 249-252.

Hasenaka T. y I. S. E. Carmichael, 1985, A compilation of location, size and geomorphological parameters of volcanoes of the Michoacan-Guanajuato volcanic field, central Mexico: *Geofísica Internacional*, v. 24, p. 577-607.

Hasenaka, T., 1994. Size, distribution, and magma output rate for shield volcanoes of the Michoacán-Guanajuato volcanic field, Central Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 63, 13–31.

Johnson, C. L., C. G. Constable, L. Tauxe, R.W. Barendregt, L.L. Brown, R.S. Coe, P. Layer, V. Mejia, N.D. Opdyke, B.S. Singer, H. Staudigel, and D. Stone, 2008. Recent investigations of the 0-5 ma geomagnetic field recorded in lava flows. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9:Q04032, doi:10.1029/2007GC001696.

Kirschvink, J. L. 1980., The least-square line and plane and analysis of palaeomagnetic data. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 62, 699-718.

Langereis, C. G., Dekkers, M. J., de Lange, G. J., Paterne, M. and van Santvoort, P. J. M. 1997. Magnetostratigraphy and astronomical calibration of the last 1.1 Ma from an eastern Mediterranean piston core and dating of short events in the Brunhes, *Geophys. J. Int.*, 129, 75-94.

Lawrence, K.P., Constable, C.G., Johnson, C.L., 2006. Paleosecular variation and the average geomagnetic field at $\pm 20^\circ$ latitude. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, doi:10.1029/2004GC000871.

Lawrence, K.P., Tauxe, L., Staudigel, H., Constable, C.G., Koppers, A., McIntosh, W., Johnson, C.L., 2009. Paleomagnetic field properties near the southern hemisphere tangent cylinder. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 10, Q01005, doi:10.1029/2008GC002072.

Lund, S. P., Acton, G., Clement, B., Hastedt, M., Okada, M. and Williams, T. 1998. Geomagnetic field excursions occurred often during the last million years, *EOS Trans., AGU*, 78(14), Spring Meet. Suppl., S178-S179.

Maciel Peña R., Goguitchaichvili A., Garduño Monrroy V.H., Ruiz Martínez V.C., Aguilar Reyes B., Morales J., Alva-Valdivia L., Caballero Miranda C. and Urrutia-Fucugauchi J, 2009. Paleomagnetic and rock-



magnetic survey of Brunhes lava flows from Tancitaro volcano, Mexico. *Geofísica Internacional* 48 (4), 375-384.

Maciel Peña R., Goguitchaichvili A., Henry B., Sanchez-Bettucci L., Morales J., Aguilar Reyes B., Soler-Arechalde A.M., Calvo-Rathert M., 2011. Pliopleistocene Paleomagnetic Record from the Michoacan-Guanajuato, Monogenetic Volcanic Field (Western Mexico). *Stud. Geophys. Geod.*, 55 (2011) 311-328 Inst. Geophys. AS CR, Praga.

McElhinny, M. W. & McFadden, P.L., 1997. Palaeosecular variation over the past 5 Ma based on a new generalized database. *Geophys. J. Int.*, 131, 240–252.

Michalk, D.M., Biggin, A.J., Knudsen, M.F., Bohnel, H.N., Nowaczyk, N.R., Ownby, S., Lopez-Martinez, M., 2010. Application of the multiespecimen paleointensity method to Pleistocene lava flows from the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 179, 139-156.

Pétronille M., A. Goguitchaichvili, B. Henry, L. Alva-Valdivia, J. Rosas-Elguera, M. Rodríguez Ceja and M. Calvo-Rathert, 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 Geophys. Res.* , 110, b08101, doi:10.1029/2004jb003321.

Ruiz-Martinez, V. C., M. L. Osete, R. Vegas, J. I. Nunez- Aguilar, J. Urrutia-Fucugauchi, and D. H. Tarling 2000. Palaeomagnetism of Late Miocene to Quaternary volcanics from the eastern segment of the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Tectonophysics*, 318, 217–233.

Singer B. S., M. K., Relle, K. A. Hoffman, A. Battle, C. Laj, H. Guillou, and J. Carracedo, 2002. Ar/Ar ages from transitionally magnetized lavas on La Palma, Canary Island, and the geomagnetic instability timescale, *J. Geophys. Res.*, vol. 107 (B11), 10.1029/2001JB001613.

Tauxe, L., C. Luskin, P. Selkin, P. Gans, and A. Calvert, 2004., Paleomagnetic results from the Snake River Plain: Contribution to the time-averaged field global database. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 5, Q08H13, doi:10.1029/2003GC000661.

Urrutia-Fucugauchi, J., 1997. Comments on A new method to determine paleosecular variation, *Phys. Earth. Planet. Inter.*, 102, 295-300.