

ESTUDIO PALEOMAGNÉTICO Y DE MAGNETISMO DE ROCAS DEL LÍMITE CRETÁCICO-TERCIARIO REALIZADO EN SECUENCIAS VOLCÁNICAS DEL OESTE DE MÉXICO.

Miguel Cervantes Solano^{1*}, Lisa Kapper², Avto Goguitchaichvili², Vicente Carlos Ruiz Martínez³, José Rosas Elguera⁴, Rafael Maciel Peña⁵, Juan Morales², Rubén Cejudo Ruiz².

¹ Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México, Michoacán, México.

² Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, Unidad Michoacán del Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Michoacán, México.

³ Laboratorio de Paleomagnetismo, Facultad de Física, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.

⁴ Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, Sede Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México.

⁵ Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, Sede Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Tacámbaro, Michoacán, México.

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

ABSTRACT

We present a comprehensive rock-magnetic and paleomagnetic survey from Autlan volcanic succession in western Mexico. The available radiometric and magnetostratigraphy results indicate that the lava flows were erupted during chron 30n just prior to K-T transition. The mean inclination is in reasonably good agreement with the expected inclination for 65 and 70 Ma, as derived from reference poles given by Besse and Courtillot (2002) for the North American craton. The declination, however, is significantly different from that expected, which suggests a possible counterclockwise tectonic rotation of about 13°. The observed declination difference observed in the Autlan sequence may be interpreted in terms of a regional block rotation related to plate tectonic interactions and margin deformation, or as local vertical-axis rotation reflecting internal deformation within the Jalisco block. As secular variation parameters are concerned, we obtained $SF = 9.6$ (upper and lower limits: 7.2 – 11.9) in perfect agreement with the recent compilation of selected Cretaceous data reported in Biggin *et al.*, (2008). The mean virtual dipole moment for Autlan lavas is about 65 % of the present geomagnetic axial dipole but in reasonably good agreement with other comparable quality determinations between 5 and 90 Ma. This reinforces the hypothesis of Tauxe *et al.*, (2013) that low geomagnetic field strengths persisted for the entire Jurassic extending into the Upper Cretaceous.

Keywords: Upper Cretaceous, Paleomagnetism, Western Mexico, Rock-Magnetism, Magnetostratigraphy.

RESUMEN

Se presentan resultados de un estudio paleomagnético y de magnetismo de rocas realizado en la secuencia volcánica de Autlán, Jalisco al Oeste de México. Los resultados radiométricos y magnetoestratigráficos indican que los flujos fueron emplazados durante el cron 30n justo antes de la transición K-T. La inclinación promedio concuerda bien con la inclinación esperada para los 65 y 70 Ma según los polos obtenidos por Besse y Courtillot (2002) para el cratón América del Norte. En cambio, la declinación es significativamente diferente de la esperada lo que sugiere una posible rotación antihoraria cercana a los 13°. Esta diferencia observada en la secuencia de Autlán puede interpretarse en términos de una rotación regional del bloque relacionada con las interacciones y la deformación del margen, o bien como una rotación vertical que indica una deformación interna dentro del Bloque Jalisco. En lo que se refiere a los parámetros de variación secular, se obtuvo $SF = 9.6$ (con límites superior e inferior: 7.2 – 11.9) el cual se ajusta perfectamente a



la compilación de datos del Cretácico de Biggin *et al.*, (2008). El momento dipolar virtual de las lavas de Autlán representa solo el 63% del valor del dipolo geomagnético actual, pero concuerda bien con otras determinaciones de calidad similar realizada entre los 5 y 90 Ma. Esto refuerza la hipótesis de Tauxe *et al.*, (2013) sobre que la intensidad del campo geomagnético persistió durante todo el Jurásico y se extendió hasta el Cretácico superior

Palabras clave: Cretácico Superior, Paleomagnetism, Oeste de México, Magnetismo de rocas, Magnetostratigrafía.

1. Introducción

El campo magnético de la Tierra permaneció con polaridad normal durante gran parte del Cretácico, este periodo se conoce como el Súper Cron Normal Cretácico (CNS) y puede considerarse como un periodo clave para comprender la evolución del campo geomagnético. Realizar investigaciones paleomagnéticas sistemáticas de alta calidad técnica en rocas volcánicas del Cretácico del Oeste de México permitirá encontrar hallazgos fundamentales sobre la existencia del Campo Dipolar Bajo del Mesozoico (MDL por sus siglas en inglés) caracterizado por una baja intensidad absoluta (Prevot *et al.*, 1990; Tanaka *et al.*, 1995). Goguitchaichvili *et al.*, (2003 and 2004) estudiaron quince flujos de lava datados radiométricamente provenientes del área de la Sierra Cacoma (Bloque Jalisco, Oeste de México). La paleoridección promedio obtenida indica una rotación antihoraria del Bloque Jalisco cercana a 25°. También reportaron determinaciones de paleointensidad absoluta significativamente más baja que la intensidad del campo actual. Estos resultados geodinámicos y geomagnéticos se obtuvieron a partir de una cantidad limitada de muestras y por ello no fue posible establecer mayores afirmaciones. En el presente estudio recolectamos muestras de doce flujos de lava adicionales en la misma área con la finalidad de obtener un conjunto de datos paleomagnéticos más robusto para el Cretácico Superior.

2. Contexto geológico y detalles de muestreo

El área de estudio pertenece al terreno geológico del Oeste de México (Fig. 1), comprende rocas sedimentarias, volcano-sedimentarias y volcánicas (Campa and Coney, 1983). Las rocas intrusivas son parte del batolito de Puerto Vallarta con edades entre los 100 y 75 Ma (Gastil *et al.*, 1978; Schaaf *et al.*, 1995), el cual pertenece a un cinturón plutónico paralelo a la trinchera Media actual de América. Una sucesión gruesa de rocas volcánicas más jóvenes se encuentra por encima de estas secuencias (Gastil *et al.*, 1978; Wallace *et al.*, 1992; Rosas-Elguera *et al.*, 1997). Las unidades estudiadas son principalmente basaltos andesíticos. En total se obtuvieron 119 muestras orientadas pertenecientes a 12 unidades volcánicas. La edad radiométrica de las rocas de la parte media de la secuencia es de 67.4 ± 1.2 Ma (Goguitchaichvili *et al.*, 2003).

3. Metodología.

Con la finalidad de aislar la magnetización característica de las muestras, se realizó desmagnetización progresiva de la magnetización natural remanente (NRM) mediante la aplicación de campos alternos (AF) y desmagnetización térmica (TH). La desmagnetización por campos alternos se efectuó empleando de 5 a 9 pasos con un valor pico de 90mT y se midieron empleando un magnetómetro AGICO JR6a. La desmagnetización térmica se llevó a cabo utilizando un desmagnetizador térmico ASC TD48-SC llegando a los 565° C. La dirección de la magnetización remanente característica (ChRM) fue calculada incluyendo al menos 5 pasos de desmagnetización. Las direcciones promedio y los parámetros asociados se calcularon siguiendo la estadística de Fisher.

Para caracterizar a los portadores de la remanencia magnética y su estado de dominio se realizaron experimentos de magnetismo en rocas. Con ayuda de una balanza de traslación de Campo Variable

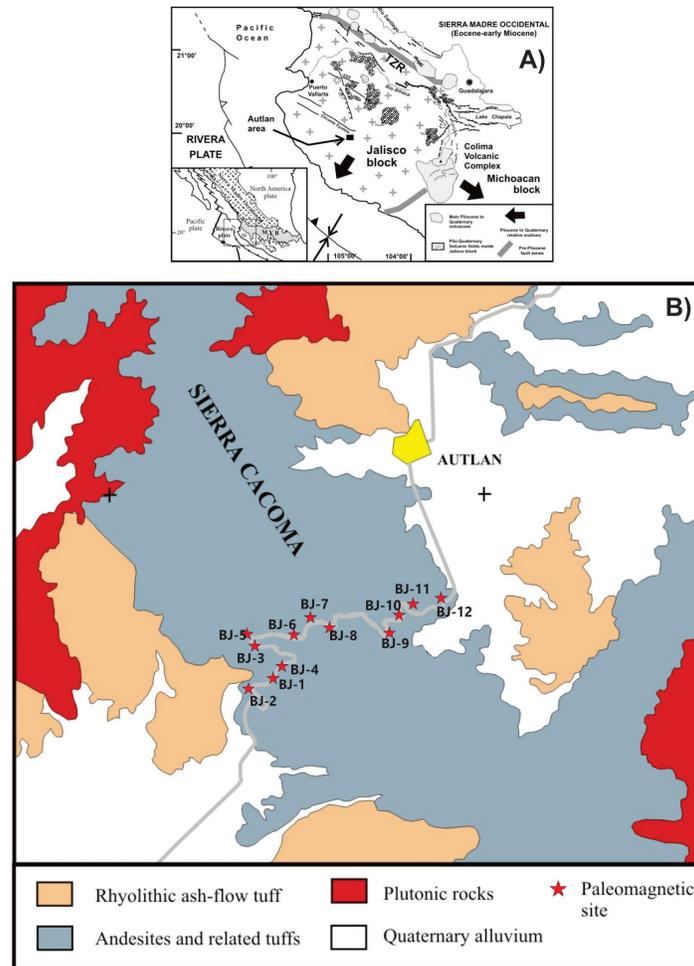


Figura 1. A) Marco tectónico del Bloque Jalisco. La deformación extensional a lo largo de la frontera continental se relaciona con una convergencia normal (Palca Rivera) y una oblicua (Placa Cocos) relativa a los bloques continentales. Destaca que los campos volcánicos en el interior del bloque de Jalisco no están afectados por fallas; B) Mapa geológico simplificado del área de Autlán señalando los sitios paleomagnéticos.

(MM_VFTB) se midió la magnetización remanente isotermal progresiva (IRM), curvas de histéresis, coercitividad y curvas termomagnéticas. Estos análisis se realizaron una muestra por flujo e interpretados con el software RockMagAnalyzer 1.0 (Leonhardt 2006). La magnetización de saturación (M_s), remanencia de magnetización de saturación (MRS) y la coercitividad (BC) combinados con la remanencia de coercitividad (BCR) permitieron estimar el estado de dominio en el diagrama de Day (Day *et al.*, 2002). Las temperaturas de Curie se obtuvieron siguiendo el método doble tangente de Grommé *et al.* (1969).

La estabilidad de la NRM en las muestras tratadas por AF está definida por una componente estable sencilla la cual es casi completamente desmagnetizada a los 50 mT (Fig. 2) indicando que el principal portador de NRM es un mineral con baja coercitividad, a excepción de la muestra 03A098A que conserva el 20% del valor inicial de NRM con campos de 90mT debido a la contribución de un mineral de alta coercitividad, probablemente hematita. La saturación IRM de las rocas estudiadas apunta a que la magnetización es dominada por minerales de baja coercitividad. Sin embargo, algunas muestras no llegan a la saturación, indicando también la presencia de una fracción considerable de minerales con alta coercitividad. Estos factores y las curvas termomagnéticas señalan la coexistencia de titanomagnetita y titanohematita como los principales portadores magnéticos.

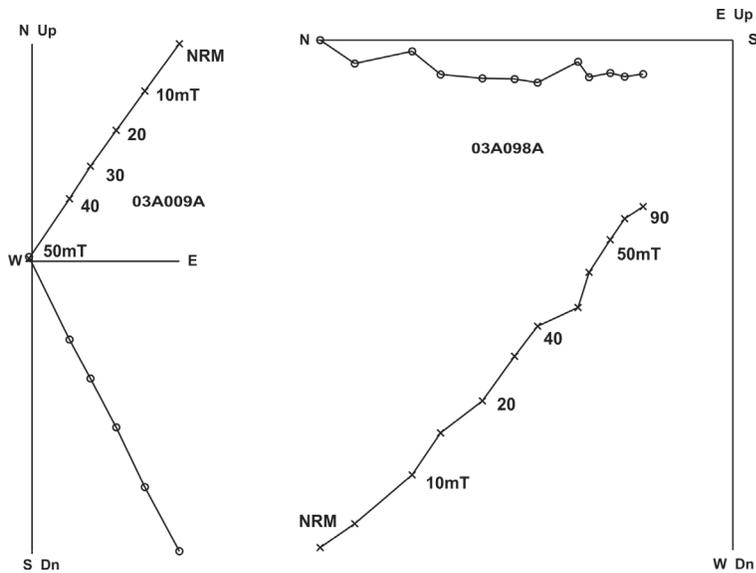
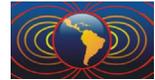


Figura 2. Diagramas ortogonales de la desmagnetización mediante campos alternos (coordenadas estratigráficas). Los números se refieren a los valores máximos del campo en mT. o - proyecciones en el plano horizontal, x - proyecciones en el plano vertical.

4. Principales resultados y discusión.

Casi todos los valores de α_{95} de las paleodirecciones encontradas son menores a 10° , excepto en la unidad BJ4 que tiene un α_{95} de 11.6° . No fue posible aislar las direcciones CHRM en el sitio BJ06 debido al comportamiento durante las desmagnetizaciones. La paleodirección fue calculada incorporando los resultados previos reportados por Goguitchaichvili *et al.* (2003). En conjunto la paleodirección promedio es: Inc = 44.7° , Dec = 333.6° , α_{95} = 4.9° (Fig. 3). Esta inclinación concuerda razonablemente bien con

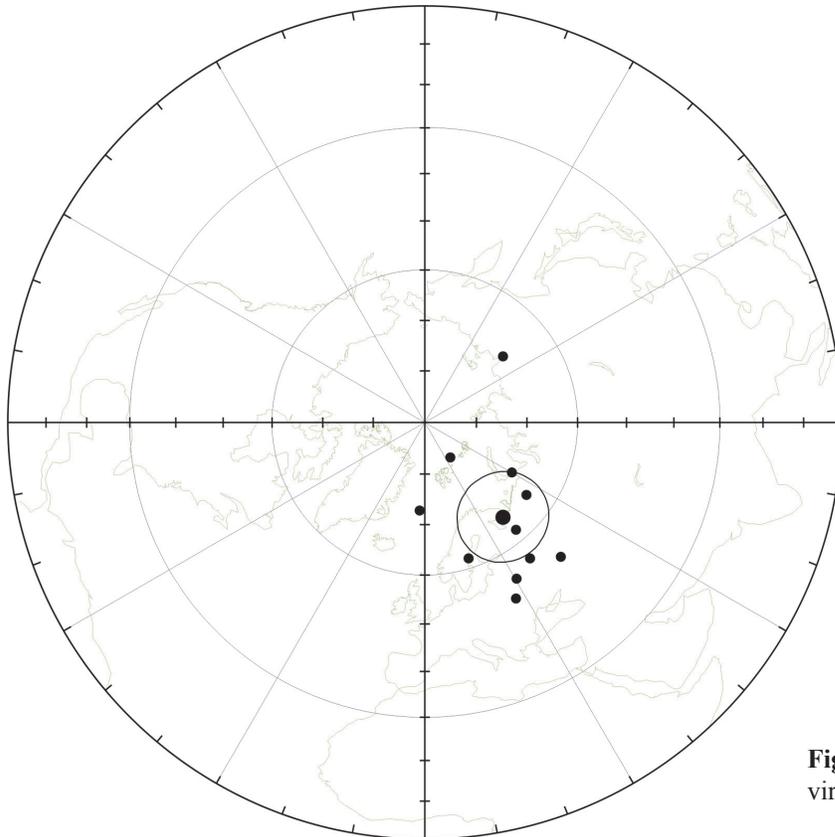


Figura 3. Polos geomagnéticos virtuales individuales para cada flujo.



la inclinación esperada para los 65-70 Ma según Besse y Courtillot (2002) para el Cratón de América del Norte. La declinación, sin embargo, es significativamente diferente sugiriendo una posible rotación tectónica antihoraria cercana a los 13° . Esta diferencia en la declinación puede interpretarse en términos de una rotación regional del bloque relacionada con las interacciones tectónicas y el margen de deformación, o bien como una rotación vertical que refleja deformación interna dentro del bloque Jalisco. Los flujos inferiores de la secuencia tienen una magnetización con polaridad inversa, probablemente se formaron durante el cron 3lr de la escala de polaridades geomagnéticas. El resto de los flujos corresponden al cron 30n. Estas correlaciones geomagnéticas sugieren que la secuencia volcánica fue emplazada durante un intervalo cercano a los 2Ma.

Utilizando la metodología propuesta por Biggin *et al.*, (2008) se calculó la variación paleosecular con la fórmula $SF^2 = ST^2 - SW^2/n$, donde ST es la dispersión angular total (Cox, 1969), SW representa la dispersión dentro del sitio y n es el promedio del número de muestras por unidad. En este trabajo se obtuvo $SF = 9.6$ (límite superior e inferior: $7.2 - 11.9$) lo cual concuerda con la reciente compilación de datos del Cretácico reportados por Biggin *et al.*, (2008; Fig. 4). Debido a la existencia predominante de gramos magnéticos multidominio, los experimentos de paleointensidad absoluta desarrollados en este estudio fallaron totalmante. Por lo anterior se considera el valor obtenido por Gogutchiaishvili *et al.*, (2004) como el valor del VDM de la región estudiada, $4.9 \pm 0.6 \times 10^{22} \text{ Am}^2$ que representa solo el 63% del valor del dipolo axial dipolar actual pero concuerda bien con otros determinaciones obtenidas para los 5 y 90 Ma reforzando la hipótesis de Tauxe *et al.*, (2013) sobre que la intensidad del campo geomagnético persistió durante el Jurásico y se extendió hasta el Cretácico Tardío.

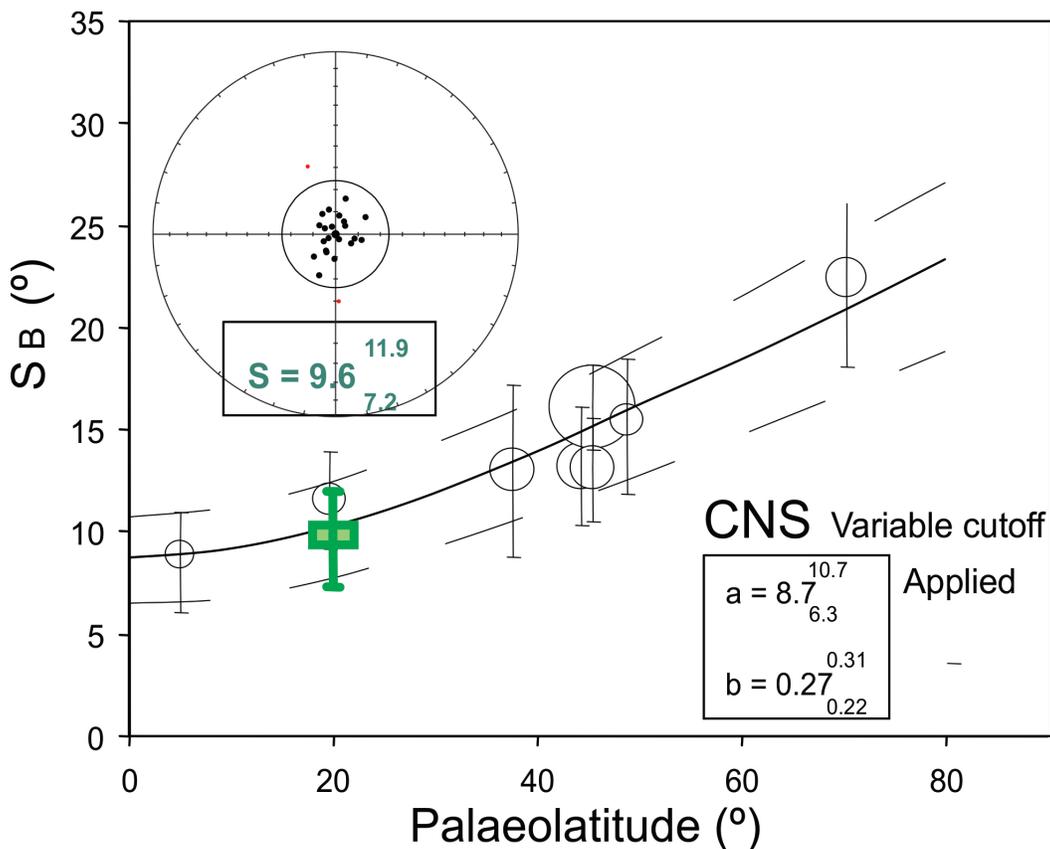
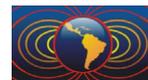


Figura 4. Dispersión de polo geomagnético virtual en función de la latitud geográfica (ver texto para más detalles).



Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el proyecto UNAM-PAPIIT IA104215.

Referencias

- Besse, J., Courtillot, V., 2002. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr. *J. Geophys. Res.*, 107, n° B11, 1029/2000JB000050.
- Biggin, A. J., van Hinsbergen, D. J., Langerais, C.G, Straathof, G.B., Deenen, M.H.L., 2008. Geomagnetic secular variation in the Cretaceous Normal Superchron and in the Jurassic. *Physics Earth Planet. Int.*, 169 (1-4), 3-19, doi:10.1016/j.pepi.2008.07.004.
- Campa-U, M.F., Coney, P., 1983. Tectonostratigraphic terranes and mineral resource distribution in Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20, 1040-1051.
- Coe, R., 1967. Paleointensity of the Earth's magnetic field determined from Tertiary and Quaternary rocks. *J. Geophys. Res.*, 83, 1740-1756.
- Cox, A., 1969. Research note: Confidence limits for the precision parameter, K, *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 17, 545-549.
- Day, R., Fuller, M. D., Schmidt, V. A., 1977. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain size and composition dependence. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 13, 260-267.
- Dunlop, D. J., 2002. Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc), Theoretical curves and tests using titanomagnetite data. *J. Geophys. Res.*, 107 (B3).
- Gastil, G., Krummenacher, D., and Jensky, W.A., 1978. Reconnaissance geology of west-central Nayarit, Mexico. *Geol. Soc. Am. Map and Chart Ser.*, MC-24, scale 1:200,000.
- Goguitchaichvili, A., Alva-Valdivia, L.M., Rosas-Elguera, J., Urrutia-Fucugauchi, J., Solé, J., 2004. Absolute geomagnetic paleointensity after the Cretaceous Normal Superchron and just prior to the Cretaceous-Tertiary transition. *J. Geophys. Res.*, 109, B01105, doi:10.1029/2003JB002477.
- Goguitchaichvili, A., Alva-Valdivia, L., Urrutia-Fucugauchi, J., Rosas-Elguera, J., 2003. Combined Paleomagnetic and Petromagnetic Study of Upper Cretaceous Volcanic Sequence in Western Mexico: Implications for Tectonics and Magnetostratigraphy of the Jalisco Block. *Int. Geol. Rev.* 45, 886-897
- Grommé, C. S., Wright, T. L., Peck, D. L., 1969. Magnetic properties and oxidation of iron-titanium oxide minerals in Alae and Makaopuhi lava lakes, Hawaii. *J. Geophys. Res.*, 74, 5277-5294.
- Leonhardt, R., 2006. Analyzing rock magnetic measurements: The rockmaganalyzer 1.0 software. *Comput. Geosci.*, 32, 1420-1431
- Prevot, M., Derder, M. E. M., McWilliams, M., Thompson, J., 1990. Intensity of the Earth's magnetic field: Evidence for a Mesozoic Dipole Low. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 97, 129-139.
- Rosas-Elguera, J., Ferrari, L., Martinez, M., Urrutia-Fucugauchi, J., 1997. Stratigraphy and tectonics of the Guadalajara region and triple-junction area, western Mexico. *Int. Geol. Rev.*, 39, 125-140.
- Schaaf, P., Morán-Zenteno, D., Hernandez-Bernal, M., Solis-Pichardo, G., Tolson, G., Kohler, H., 1995. Paleogene continental margin truncation in southwestern Mexico: geochronological evidence. *Tectonics*, 14, 1339-1350.
- Tanaka, H., Kono, M., Uchimura, H., 1995. Some global features of paleointensity in geological time. *Geophys. J. Int.*, 120, 97-102.
- Tauxe, L., Gee, J. S., Steiner, M. B., Staudigel, H., 2013. Paleointensity results from the Jurassic: New constraints from submarine basaltic glasses of ODP Site 801C, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 14, 4718-4733, doi:10.1002/ggge.20282.
- Thellier, E., Thellier O., 1959. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Ann. Géophysique*, 15, 285-376.
- Wallace, P., Carmichael, I.S.E., Richter, K., Becker, T., 1992. Volcanism and tectonism in western Mexico: A contrast of style and substance. *Geology*, 20, 625-628.