



DETERMINACIONES DE PALEOINTENSIDAD EN UNA SECUENCIA VOLCANICA EN EL CAUCASO MENOR, GEORGIA.

Ana Caccavari¹, Avto Goguitchaichvili^{1*}, Manuel Calvo-Rathert², Juan Morales¹, Miguel Cervantes Solano¹, Goga Vashakidze³, He Huaiyu⁴, V. A. Lebedev⁵, Néstor Vegas⁶

¹ Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, Instituto de Geofísica, Sede Michoacán UNAM Morelia, México.

² Departamento de Física, EPS, Universidad de Burgos, Spain.

³ Alexandre Janelidze Institute of Geology, I. Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia.

⁴ Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, PR China.

⁵ Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry Russian Academy of Sciences, Russia, 119017, Moscow, Staromonetny per., 35, IGEM RAS

⁶ Departamento de Geodinámica, Universidad del País Vasco, UPV/EHU, Spain.

* avto@geofisica.unam.mx

RESUMEN

Reportamos cuarenta y seis determinaciones de paleointensidad absoluta, en una secuencia pleistocena de 39 flujos de lava consecutivos ubicados en la Meseta de Djavakheti, en el Cáucaso Menor, en Georgia. Las edades radiométricas y los datos paleomagnéticos existentes, sugieren dos posibilidades. Los 36 flujos de la parte inferior de la secuencia se emitieron en el lapso entre los cronos de polaridad normal Reunión y Olduvai, y la parte superior de la secuencia, formada por tres flujos, después del cron Olduvai. O bien, la secuencia completa se emitió en un lapso muy corto entre el cron Olduvai y 1.73 ± 0.03 Ma (Caccavari *et al.*, 2014).

Los experimentos de paleointensidad se realizaron utilizando el método de doble calentamiento tipo Thellier. La selección de las muestras se realizó basándose principalmente en muestras con magnetización remanente univectorial, estabilidad térmica y el tamaño de dominio de las muestras. Los valores medios de paleointensidad de los flujos, varían entre 16 ± 7.3 a 56.7 ± 15.8 μ T, y sus correspondientes momentos virtuales dipolares tienen un rango entre 2.25 ± 1.03 a $8.44 \pm 2.71 \times 10^{22}$ Am².

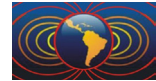
Dos flujos arrojan valores de paleointensidad muy bajos, lo que sugiere un régimen transicional. Estos flujos se encuentran cerca de una posible discontinuidad en la secuencia, lo que sugiere el inicio de la transición Matuyama-Olduvai, aunque este no sea observado en el registro direccional. Esto soporta la teoría de un gran hiato en la actividad volcánica después de la emisión de los 36 flujos de la parte inferior de la secuencia. Parte de los Momentos virtuales dipolares obtenidos en el presente trabajo son similares a los obtenidos para la misma región en otras secuencias de flujos de lava de edades similares.

Palabras clave: Cáucaso Menor, Paleomagnetismo, Cron Matuyama, Intensidad geomagnética absoluta

ABSTRACT

We report forty-six successful absolute geomagnetic paleointensity determinations from a Pleistocene lava sequence composed of 39 successive flows in the Djavakheti Highland (Lesser Caucasus, Georgia). Available radiometric and paleomagnetic data suggest that either the lower 36 flows of the sequence might have been emitted between the normal-polarity Reunion and Olduvai chrons and the upper three flows after the Olduvai chron, or the whole sequence might have been emplaced in a short time between the Olduvai chron and 1.73 ± 0.03 Ma (Caccavari *et al.*, 2014).

Paleointensity studies were performed using a Thellier type double heating method. Samples selection was mainly based on uni-vectorial remanent magnetization, thermal stability and domain size of the samples.



Flow-mean paleointensity values range from 16 ± 7.3 to 56.7 ± 15.8 μT , and corresponding virtual dipole moments range from 2.25 ± 1.03 to $8.44 \pm 2.71 \times 10^{22}$ Am^2 .

Two flows yield rather low absolute intensity suggesting a transitional regime. These flows are located near a possible discontinuity in the sequence, suggesting the onset of the Matuyama-Olduvai polarity transition, which does not appear on the directional record. This supports the interpretation of a long hiatus in volcanic activity after the emission of the 36 lower flows of the sequence. Parts of the Virtual Dipole Moments obtained in the present work are similar to those obtained in the same region in another lava flow sequence of similar age.

Key Words: Lesser Caucasus, Paleomagnetism, Matuyama Geomagnetic Chron, Absolute Geomagnetic Intensity.

Introducción

El campo magnético de la Tierra generado en el núcleo externo no es estático y exhibe variaciones tanto temporales como espaciales. El estudio de estas variaciones puede aportar un mejor conocimiento del interior de la Tierra. Una de las variaciones más significativas son las inversiones de polaridad. La magnetización termorremanente (TRM) de las rocas volcánicas, provee un registro confiable e instantáneo del campo magnético terrestre (v.g. Prévot *et al.*, 1985). Además de tener la ventaja, de que las rocas volcánicas pueden aportar datos de paleointensidad absoluta. Secuencias emitidas en un periodo de tiempo relativamente corto pueden proveer una imagen real del comportamiento del campo magnético de la Tierra. El análisis detallado del comportamiento de las direcciones y paleointensidades durante la transición, pueden ayudar a establecer la presencia de cambio de larga duración, que pueden interpretarse como una influencia del manto en la geodinamo (Hoffman *et al.*, 2008), así como observar también otras características del campo transicional.

Datos paleomagnéticos y especialmente de paleointensidad durante las transiciones son escasos, y en este caso, también los datos paleomagnéticos y de paleointensidad de la región del Cáucaso, lo son. La zona del Cáucaso, al pertenecer al cinturón Alpino, representa una de las zonas de convergencia entre placas más grandes del planeta, derivando en una intensa actividad tectónica y volcánica, pese al interés que esto representa, la cantidad de estudios paleomagnéticos y de paleointensidad en la zona son escasos.

El presente trabajo busca ser una contribución en el estudio de las variaciones del campo magnético, mediante el estudio de una secuencia de lava volcánica en una zona poco estudiada. Este resumen extendido está basado de manuscrito completo enviado a *Physics of the Earth and Planetary Interiors* (Gogutchichvili *et al.* 2015).

Contexto geológico y muestreo

La zona de estudio está en la meseta de Dzhavakheti, región volcánica en la parte central del Cáucaso Menor en Georgia. Forma parte del cinturón orogénico Alpino-Himalaya, que resulta del movimiento de las placas Euroasiática y Arábiga (Adamia *et al.*, 2008). La región del Cáucaso se caracteriza por la complejidad de su actividad tectónica, mostrando fallas tanto compresivas N-S como extensional E-W (Rebaï *et al.*, 1993). También por su importante y continua actividad volcánica desde el Jurásico hasta el presente (e.g., Rebaï *et al.*, 1993).

El presente estudio se llevó a cabo en la meseta Djavakheti una de las grandes regiones neovolcánicas del Cáucaso Menor (Fig. 1). La meseta cuenta con diversos flujos de lava, uno de ellos es el Kura formado por coladas basálticas, y donde se ubica la secuencia de Saro. Lebedev *et al.* (2008) analizó y tomó 6 muestras de diferentes horizontes por el método de K-Ar obteniendo edades que varían entre 2.23 and 2.03 Ma. Caccavari *et al.* (2014) reportó una nueva datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ - 1.73 ± 0.03 Ma para el mismo flujo. (SR1). Analizando los resultados paleomagnéticos y las dataciones existentes, se plantean dos posibilidades: los 36

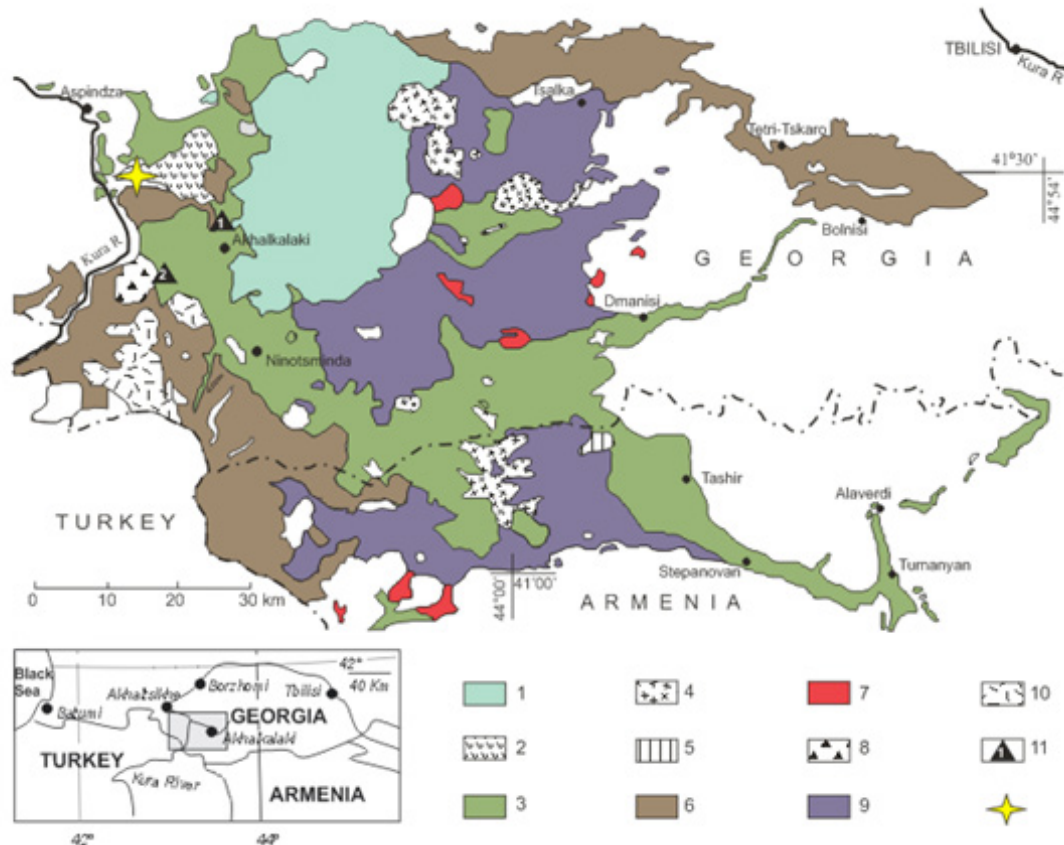
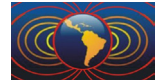


Figura 1. Mapa geológico esquemático (retomado de Goguitchaichvili *et al.* 2015 y modificado de Lebedev *et al.*, 2008 y Calvo-Rathert *et al.*, 2013) del vulcanismo Pliocénico-Cuaternario en la meseta de Djavakheti. Se muestra la secuencia de Saro, muestreada en el presente estudio. 1: Volcanes cuaternarios del ridge Samsari (800–0 ka); 2: Lavas básicas (1.75–1.55 Ma); 3: Lavas básicas (2.15–1.95 Ma). 4: Lavas dacíticas del ridge de Djavakheti (2.25 Ma); 5: Hyalodacita (2.5 Ma); 6: Lavas básicas (2.65–2.45 Ma); 7: Riolitas y dacitas de los volcanes Chikiani, Agvorik y Busistsikhe (2.85–2.6 Ma); 8: Dacitas (3.15–3.11 Ma) del flujo de lava Kumurdo; 9: Lavas básicas (3.22–3.04 Ma); 10: Lavas básicas (3.75–3.55 Ma); 11: Secuencia de lava muestreada (Saro)

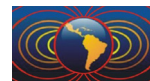
flujos de la parte inferior de la secuencia deben haberse emitido durante entre los cronos de polaridad normal Reunión y Olduvai, y la parte superior de la secuencia, formada por tres flujos, después del cron Olduvai, o, por otro lado, existe la posibilidad de que la secuencia completa haya sido emitida en un periodo muy corto de tiempo entre el cron Olduvai y 1.73 ± 0.03 Ma (Caccavari *et al.*, 2014).

Selección de muestras para los experimentos de paleointensidad de Thellier

La selección de las muestras se basó en los experimentos de paleomagnetismo y magnetismo de rocas. Las muestras seleccionadas muestran curvas considerablemente reversibles, con una sola fase ferromagnética y una temperatura de Curie cercana a las 580°C. Dominios pseudo sencillos, resultado de una mezcla de dominio sencillo y multidominio, (Day *et al.*, 1977, Dunlop, 2002) y bajas coercitividades.

Todas las muestras utilizadas para los experimentos de paleointensidad tienen una sola componente paleomagnética, tanto por desmagnetización térmica como por campos alternos (Caccavari *et al.*, 2014).

Se observa en algunas muestras, una pequeña huella viscosa que puede ser removida fácilmente (alrededor de 10 mT ó 100–250 °C). La dirección inversa paleomagnética determinada en todos los flujos, indica que se logró aislar la ChRM de la componente viscosa normal del campo actual.



Experimentos de paleointensidad

Las determinaciones de paleointensidad se llevaron a cabo usando un método tipo Thellier de doble calentamiento (Thellier y Thellier, 1959) como fue modificado por Coe (1967), en el laboratorio de la Universidad de Burgos, en España. Se utilizaron especímenes pequeños (0.9 cm de diámetro y de 1 a 2.5 cm de largo) submuestreados de los especímenes estándar ya orientados. El calentamiento y enfriamiento se llevó a cabo el horno ASC TD-48 de paleointensidad, en atmósfera de argón para evitar oxidación. Las determinaciones de la paleointensidad se llevaron a cabo en 15 pasos de temperatura, entre la temperatura ambiente y 570°C. La intensidad el campo de laboratorio aplicado fue de 40 μT y se pudo mantener con una precisión mejor a 0.1 μT . Durante el experimento, se llevaron a cabo varios controles de calentamiento: Siete pTRM-checks (v.g. Thellier y Thellier, 1959) y tres PTRM tail-checks (Yu y Dunlop, 2003). (Fig.2)

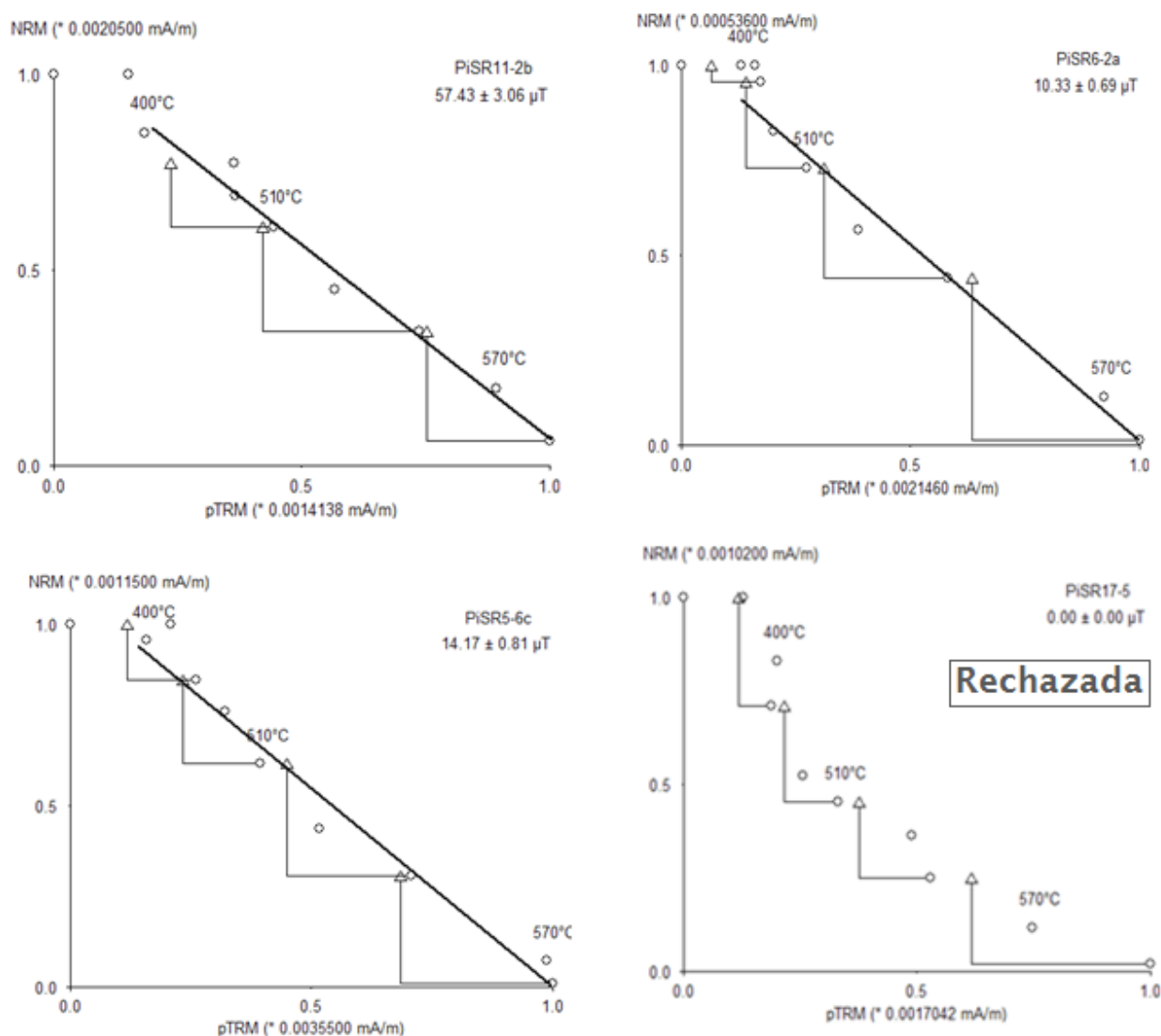
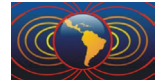


Figura 2. Determinaciones de paleointensidad. Diagramas NRM-pTRM de determinaciones satisfactorias (Muestras SR112b, SR5-6c, SR6-2a) y un ejemplo de una muestra rechazada (retomado de Goguitchaichvili *et al.* 2015).



Discusión y resultados.

Para que una determinación de paleointensidad fuera considerada confiable debía cumplir con un conjunto de parámetros respecto a la calidad del experimento, la ocurrencia de alteraciones y la presencia de magnetización remanente asociada a MD (ver Goguitchaichvili *et al.*, 2015)

Los valores medios de paleointensidad de los flujos, varían entre 16 ± 7.3 a $56.7 \pm 15.8 \mu\text{T}$, y sus correspondientes momentos virtuales dipolares tienen un rango entre 2.25 ± 1.03 a $8.44 \pm 2.71 \times 10^{22} \text{ Am}^2$. (Fig.3)

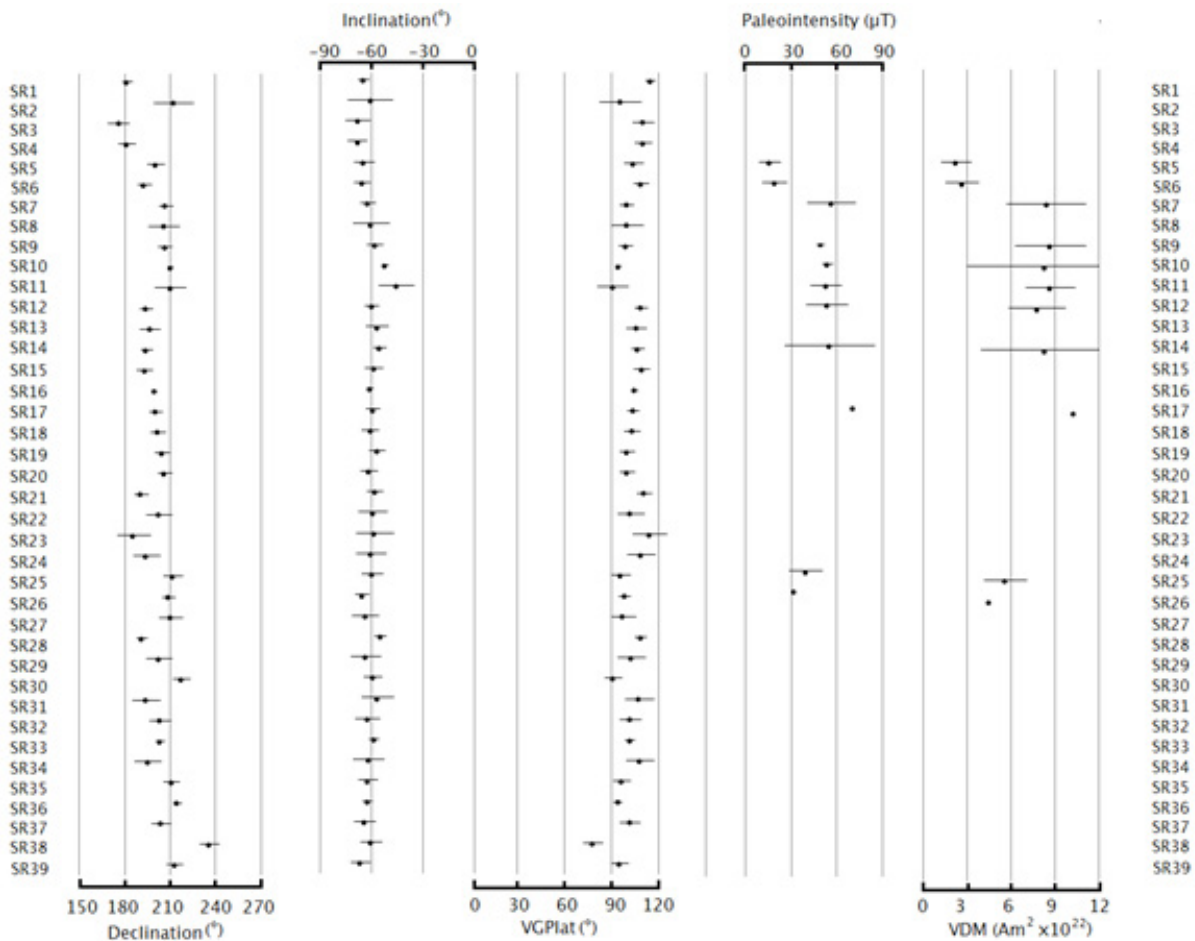
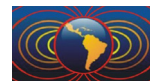


Figura 3. Variación de elementos magnéticos (Declinación, Inclinación, VGP latitud, Paleointensidad y Momento Virtual Dipolar) vs. Profundidad (retomado de Goguitchaichvili *et al.* 2015).

Los flujos SR5 y SR6 arrojaron valores de paleointensidad bajos (16 y 19 mT , respectivamente). Esto podría apuntar hacia un régimen de transición. Aunque en las direcciones registradas en la secuencia no se observa una transición, se piensa que está (la transición Matuyama-Olduvai) podría haberse presentado en el hiato de actividad volcánica entre los flujos SR3 y SR4, y como ocurre en otras transiciones, registrarse primero el cambio en la intensidad que en las direcciones. (*i.e.* Valet *et al.*, 1999)

Se compararon los resultados obtenidos con resultados de otras unidades de la misma edad, obtenidos de la base de datos de paleointensidad absoluta global (PINT) (Biggin *et al.*, 2009). Los datos seleccionados provienen de diferentes latitudes (Juárez y Tauxe, 2000; Tauxe, 2006; Lawrence *et al.*, 2009) como Hawái (Coe *et al.*, 1984; Leonhardt *et al.*, 2009), Alaska (Stone and Layer, 2006), en la Antártida (Tauxe *et al.*, 2004), sin embargo debido a la dispersión que se observa en los resultados, no fue posible establecer una



clara relación. Sin embargo, se puede observar que parte de los valores del momento dipolar virtual obtenido en este trabajo son muy similares a los reportados por Calvo-Rathert *et al.*, (2011) para la misma región y aproximadamente la misma edad (1.9 Ma).

Agradecimientos.

Esta trabajo fue financiado por el proyecto CGL2012-32149 (Ministerio de Economía y Competitividad,) y los proyectos CGL2011-23755 y CGL2010-14869 (Ministerio de Ciencia e Innovación), España. AC agradece a la beca 257639, otorgada por CONACYT, México

Referencias

- Adamia, S., Mumladze, T., Sadradze, N., Tsereteli, E., Tsereteli, N., Varazanashvili, A., 2008. Late Cenozoic Tectonics and Geodynamics of Georgia (SW Caucasus). *Georgian Intenational Journal of Sciences, Technology and Medicine*, 1, 77-107.
- Biggin, A., Strik G. H., Langereis C. G., 2009. The intensity of the geomagnetic field in the late- Archaean: new measurements and an analysis of the updated IAGA palaeointensity database. *Earth Planets Space*, 61, 9–22.
- Caccavari A., Calvo-Rathert M., Gogichaishvili A., , Vashakidze G.,Huaiyu H., Vegas N., 2014. Paleomagnetism and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ age of a Pliocene Lava Flow Sequence in the Lesser Caucasus: Record of a Clockwise Rotation and Analysis of Paleosecular Variation, *Geophys. J. Int.*, 197 (3), 1354-1370. doi: 10.1093/gji/ggu097
- Gogichaishvili A., Caccavari A., Calvo-Rathert M., Morales J., Huaiyu H., Vashakidze G., Vegas N., 2015 Absolute paleointensity study of a pliocene lava flow sequence in the Lesser Caucasus just before Matuyama-Olduvay transition. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* (Enviado)
- Calvo-Rathert, M.,Goguitchaichvili, A., Bógalo, M. F., Vegas-Tubía, N., Carrancho, A., Sologashvili, J., 2011. A paleomagnetic and paleointensity study on Pleistocene and Pliocene basaltic flows from the Djavakheti Highland (Southern Georgia, Caucasus). *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 187, 212–224.
- Calvo-Rathert, M., Bógalo, M. F., Goguitchaichvili, A., Sologashvili, J., Vashakidze, G., 2013. New paleomagnetic and paleointensity data from Pliocene lava flows from the Lesser Caucasus. *Journal of Asian Earth Sciences*, 73, 347–361.
- Coe, R. S., 1967. Paleointensities of the Earth's magnetic field determined from Tertiary and Quaternary rocks. *Journal of Geophysical Research*, 72, 3247-3262.
- Coe, R. S., Gromme, S., Mankinen, E.A., 1984. Geomagnetic paleointensities from excursion sequences in lavas on Oahu, Hawaii. *Journal of Geophysical Research*, 89, 1059- 1069
- Day, R., Fuller, M., Schmidt, V. A., 1977. Hysteresis properties of titanomagnetites: Grain-size and compositional dependence. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 13, 260-267
- Dunlop, D., 2002. Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc) 1. Theoretical curves and tests using titanomagnetite data. *Journal of Geophysical Research*, 107, B3, doi: 10.1029/2001JB000486.
- Hoffman, K., Singer, B., Camps, P., Hansen, L., Johnson, K., Clipperton, S. y Carvallo, C. 2008. Stability of mantle control over dynamo flux since the mid-Cenozoic. *Phys. Earth Planet. Int.* 169, 20–27.
- Juarez, M.T., Tauxe, L., 2000. The intensity of the time-averaged geomagnetic field: the last 5 Myr. *Earth and Planetary Science Letters*, 175, 169-180
- Lebedev V. A, Bubnov S. N., Dudaauri O. Z., Vashakidze G. T., 2008. Geochronology of Pliocene Volcanism in the Dzhavakheti Highland (the Lesser Caucasus). Part 1: Western Part of the Dzhavakheti Highland. Stratigraphy and Geological Correlation, 2008. *Pleiades Publishing*, 16, 2 204-224.
- Leonhardt, R., McWilliams, M., Heider, F., Soffel, H. C., 2009. The Gilsa excursion and the Matuyama/ Brunhes transition recorded in $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ dated lavas from Lanai and Maui, Hawaiian Islands *Geophysical Journal International*, 179, 43-58.



- Prévot, M., Mankinen, E.A., Groinroe C.S. y Coe, R.S. 1985. How the geomagnetic field vector reverses polarity. *Nature*, 316, 230-234,.
- Rebã, S., Philip, H., Dorbath, L., Borissoff, B., Haessler, H., Cisternas, A., 1993. Active tectonics in the Lesser Caucasus: Coexistence of compressive and extensional structures. *Tectonics*, 5, 1089-1114.
- Stone, D. B., Layer P., 2006. Paleosecular variation and GAD studies of 0-2Ma flow sequences from the Aleutian Islands, Alaska. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, doi/10.1029/2005GC001007.
- Tauxe L., Gans P., Mankinen E. A., 2004. Paleomagnetism and Ar/Ar ages from volcanics extruded during the Matuyama and BrunhesChronos near McMurdo Sound, Antarctica Geochemistry. *Geophysics, Geosystems*, doi:10.1029/2003GC000656.
- Tauxe, L., 2006. Long-term trends in paleointensity: The contribution of DSDP/ODP submarine basaltic glass collections. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 156, 223-241.
- Thellier, E., 1941. Sur la verification d'une methode permettant de determiner l'intensite du champ magnetique terrestre dans le passe. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Paris* 212, 281-283.
- Thellier, E., Thellier, O., 1959. Sur l'intensité du champmagnétique terrestre dans le passéhistorique et géologique. *Annales Geophysiques*, 15, 285–376.
- Valet, J. P., Brassart, J., Quidelleur, X., Soler, V., Guillot, P. Y., Hongre, L., 1999. Paleointensity variations across the last geomagnetic reversal at La Palma, Canary Islands, Spain. *Journal of Geophysical Research*, 104 (B4), 7577-7596.
- Yu Y., Dunlop, D., 2003. On partial thermoremanent magnetization tail checks in Thellier paleointensity determination. *Journal of Geophysical Research*, 108, doi:10.1029/2003JB002420.