



## ESTUDIO PALEOMAGNÉTICO PRELIMINAR DE LAVAS CRETÁICAS Y PALEÓGENAS DEL DISTRITO DE BOLNISI, CÁUCASO MENOR, GEORGIA

M. F. Bógalo<sup>1\*</sup>, M. Calvo-Rathert<sup>1</sup>, A. Gogichaishvili<sup>2</sup>, G. Vashakidze<sup>3</sup>, O. Z. Dudaury<sup>3</sup>, J. J. Villalaín<sup>1</sup>,  
A. Carrancho<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Burgos, 09006 - Burgos, España.

<sup>2</sup> UNAM, Instituto de Geofísica, Campus Morelia, LIMNA, 58098 Morelia, México.

<sup>3</sup> Alexandre Janelidze Institute of Geology – I. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia.

<sup>4</sup> Departamento de Ciencias Históricas y Geografía, Universidad de Burgos, 09001, Burgos, España.

\*mfbogalo@ubu.es.

### ABSTRACT

A paleomagnetic and rock magnetic study has been carried out on 16 dacitic and rhyolitic lavas of Cretaceous and Paleogene age to find out their suitability for absolute paleointensity determinations. Experiments were aimed to obtain information about the characteristics of the remanence recorded in the lavas, to find out the carriers of remanence and their domain structure, and to analyze their thermal stability.

Paleomagnetic results show that characteristic remanence of most of the lavas lies close to the expected directions, suggesting that it is a primary remanence. Notwithstanding, a significant number of samples are characterised by the presence of a secondary component, which is more or less superimposed to the primary. Thermomagnetic curves allow recognising that in part of the lavas the carriers of remanence show a thermal stability, such as to allow absolute paleointensity determinations. These preliminary results suggest that two of the 16 analysed lavas, seem clearly suitable for paleointensity studies, whereas in seven others, only a part of their samples may be used for paleointensity determinations.

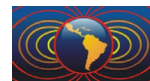
**Keywords:** Paleomagnetism, Rock magnetism, Paleointensity, Caucasus.

### RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio paleomagnético y de magnetismo de las rocas para establecer la validez de 16 lavas dacíticas y riolíticas de edad cretácica y paleógena para la determinación de la paleointensidad absoluta. El propósito fue obtener información acerca de las características de la remanencia registrada en dichas lavas, determinar los minerales portadores de dicha remanencia, así como su estructura de dominios y analizar su estabilidad térmica.

Los resultados paleomagnéticos obtenidos muestran que las direcciones de la remanencia característica de la mayor parte de los afloramientos son cercanas a las direcciones esperadas, sugiriendo que se trata de una remanencia primaria. No obstante, en un número importante de muestras, se aprecia la presencia de una componente secundaria superpuesta en mayor o menor grado a la primaria. Las curvas termomagnéticas han permitido reconocer que en una parte de las lavas los minerales portadores de la remanencia cuentan con una estabilidad térmica adecuada para afrontar determinaciones de la paleointensidad absoluta. De estos resultados preliminares se extrae la conclusión de que dos de las 16 lavas analizadas parecen claramente indicadas para los estudios de paleointensidad, mientras que en otras siete solamente se podrá utilizar una parte de sus muestras.

**Palabras Clave:** Paleomagnetismo, Magnetismo de rocas, Paleointensidad, Cáucaso



## 1. Introducción.

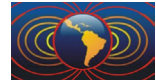
La puesta en práctica de las determinaciones de la paleointensidad absoluta del campo magnético terrestre (CMT) reviste una dificultad mucho mayor que la obtención de datos de direccionales (*e.g.*, Goguitchaishvili *et al.*, 2003) y con frecuencia un amplio porcentaje de las muestras no proporciona resultados fiables. Por añadidura, la dispersión de los resultados es muy superior a la que se observa en las determinaciones direccionales obtenidas en experimentos paleomagnéticos. Por ello, el número de datos de paleointensidad absoluta existentes es muy inferior al de datos paleomagnéticos. Los datos de paleointensidad absoluta de edad superior a 50 ka publicados en la bibliografía, se catalogan con base en datos PINT. De su última versión, PINT 2015.05 (<http://earth.liv.ac.uk/pint/>, Biggin *et al.*, 2009; Biggin *et al.*, 2010), se desprende que tanto la distribución geográfica como la distribución temporal de datos de paleointensidad es aún muy sesgada, y que la mayor parte de las determinaciones disponibles procede de los últimos 10 Ma. Sin embargo, para una descripción fidedigna de las variaciones temporales del CMT es indispensable un conocimiento menos sesgado de sus características, incluyéndose entre éstas sus variaciones en función del tiempo y también aquéllas relacionadas con la localización geográfica de las unidades estudiadas.

Con el fin de llevar a cabo determinaciones de paleointensidad absoluta correspondientes a una edad en la cual aún no se cuenta con muchos resultados, se inició un estudio de 16 afloramientos de lavas en el área de Bolnisi, en el Cáucaso inferior (Georgia). Las muestras se tomaron con una taladradora portátil a gasolina y en cada afloramiento se muestrearon entre 9 y 12 testigos, utilizándose para su orientación una brújula magnética y una solar.

Los métodos de determinación de la paleointensidad que cuentan con un fundamento físico más riguroso y proporcionan los resultados más fiables son los basados en el método original de Thellier (Thellier, 1937; Thellier y Thellier, 1959), en los cuales la intensidad del campo magnético imanador original  $B_a$  se obtiene en el laboratorio a partir de experimentos de reimanación (remagnetización) térmica en un campo aplicado  $B_{lab}$ . Sin embargo, para que las paleointensidades obtenidas reflejen el campo magnético existente en el momento de imantación de las muestras estudiadas, deben cumplir ciertos requerimientos: (i) La remanencia primaria de la roca debe ser una termorremanencia (TRM); (ii) Durante el calentamiento al que se somete a las muestras durante los experimentos de paleointensidad no deben producirse cambios químicos, mineralógicos o físicos en las muestras, ya que éstos conducen a estimaciones erróneas de la paleointensidad (*e.g.*, Calvo *et al.*, 2002) y (iii) Las muestras empleadas para la determinación de la paleointensidad deben obedecer las llamadas *leyes de Thellier* de reciprocidad, independencia y aditividad de termo-remanencias parciales (pTRM) adquiridas en intervalos de temperatura que no se superpongan (Thellier y Thellier, 1959). Éstas sólo se cumplen estrictamente en el caso de granos monodominio y aproximadamente en los granos pseudo-monodominio pequeños (*e.g.*, Levi, 1977; Bol'shakov and Shcherbakova, 1979). Por ello, una tarea importante previa a cualquier estudio de paleointensidad, es la preselección adecuada de las muestras a estudiar. Los estudios paleomagnéticos y de magnetismo de las rocas constituyen la principal fuente de información para detectar muestras potencialmente apropiadas para determinaciones de la paleointensidad absoluta; ya que pueden aportar información acerca de las características de la remanencia de las muestras de las lavas estudiadas, de los minerales portadores de esta remanencia, así como de su estructura de dominios y su estabilidad térmica. El resultado de estas determinaciones es esencial para la programación de los experimentos de determinación de la paleointensidad y, para la interpretación de los resultados que se obtengan. En el presente trabajo se informa de los resultados paleomagnéticos y de magnetismo de las rocas obtenidos en 16 lavas muestreadas en Bolnisi, realizados con el fin de deducir el potencial de las mismas para determinaciones de la paleointensidad absoluta.

## 2. Contexto geológico

El área de estudio se encuentra localizada en el sudeste de Georgia (Fig. 1), entre las localidades de Ratevani



y Korchulo, cerca de la ciudad de Bolnisi. Dicha área forma parte de la subzona Madneuli-Poladauri que a su vez pertenece al macizo Artvin-Bolnisi (Dudauri *et al.*, 1990). La zona se caracteriza por la existencia de formaciones volcánico-sedimentarias de hasta 4 km de espesor de edad cretácica y del Eoceno medio. Los cuerpos volcánicos estudiados muestran forma de cúpula y se encuentran alineados en dirección noreste. Entre ellos se pueden distinguir claramente dos grupos: riocacitas del Cretácico Tardío con edades K-Ar de  $74 \pm 3$  Ma, y  $77 \pm 3$  Ma (Dudauri *et al.*, 1990) y dacitas del Paleoceno superior – Eoceno inferior (edades K-Ar de  $57 \pm 6$  Ma,  $56 \pm 6$  Ma,  $56 \pm 8$  Ma, Dudauri *et al.*, 1990). Se ha datado además, por medio del método K-Ar, una muestra tomada directamente en una de las lavas objeto del presente estudio (BO1), obteniéndose una edad de  $57 \pm 1$  Ma.

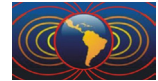


**Figura 1.** Mapa del área de muestreo. Se indica con una estrella amarilla la posición de los afloramientos. Adaptado de *Google Earth*.

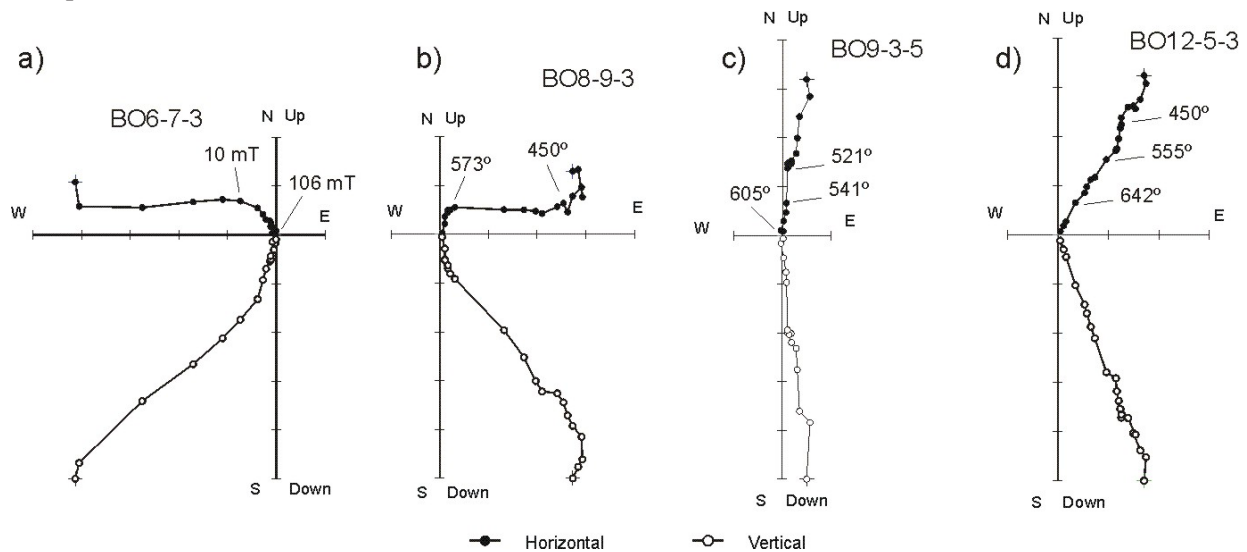
### 3. Estudios paleomagnéticos.

Los experimentos paleomagnéticos se llevaron a cabo en el laboratorio de paleomagnetismo de la Universidad de Burgos. Con objeto de determinar las direcciones paleomagnéticas, se desmagnetizaron las muestras tanto por campos alternos (AF) como térmicamente (TH) para los 16 sitios estudiados. En cada afloramiento se seleccionaron tres o cuatro muestras piloto representativas de cada afloramiento y tras el análisis de los resultados, se procedió a la desimanación sistemática del resto de las muestras. La desimanación por AF se realizó en 18 pasos hasta un campo máximo de 106 mT, utilizando el sistema 2G600 acoplado al magnetómetro criogénico 2G. La desimanación térmica de las muestras se realizó en 18 pasos desde temperatura ambiente hasta una temperatura máxima de  $676^{\circ}$  C, mediante un horno desmagnetizador TD48-DC (ASC). La remanencia magnética se midió con un magnetómetro criogénico 2G.

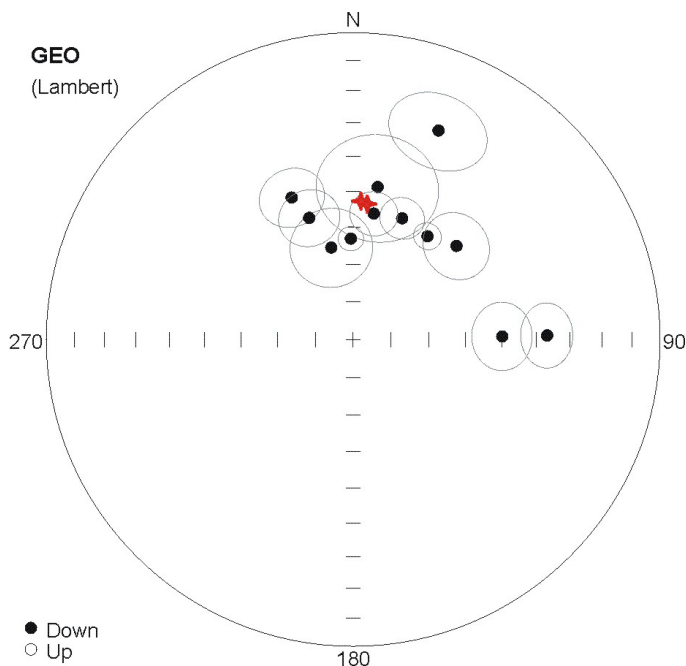




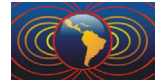
Los resultados de la NRM de todos los afloramientos muestran direcciones con polaridad aparentemente normal y con declinaciones comprendidas entre 0 y 90°. El sitio BO11 es el que tiene una dirección que más se desvía de la del resto de los afloramientos estudiados. Los altos valores de  $\alpha_{95}$  observados en varias de las lavas estudiadas podrían apuntar hacia la presencia de componentes secundarias o viscosas. En la Figura 2 se muestran los diagramas de Zijderveld para cuatro de los afloramientos estudiados. En algunos casos, como en los sitios BO6 y BO8, se observan claramente dos componentes paleomagnéticas (Figs. 2a y 2b) que se pueden separar bien, en tanto que en otros afloramientos como BO1, BO2, BO10 y BO11, dichas componentes se encuentran superpuestas. Se están actualmente realizando estudios más detallados para tratar de aislar sus direcciones. En el resto de los afloramientos se ha observado una única componente paleomagnética. En las Figuras 2c y 2d se muestran los ejemplos correspondientes a los afloramientos B09 y BO12; en este caso se observa una desimánación progresiva de la NRM hasta temperaturas de 605° y 676° C, respectivamente.



**Figura 2.** Diagramas de Zijderveld para cuatro muestras representativas. La desimánación se llevó a cabo por campos alternos (a) o térmicamente (b, c y d).



**Figura 3.** Proyección de igual área en la que se representan las direcciones medias de las componentes características para todos los afloramientos estudiados con excepción de BO1, BO2, BO10 y BO11. Se indica mediante estrellas rojas la dirección paleomagnética esperada para los 60 y 80 Ma (Besse y Courtillot, 2002), calculadas a partir de ventanas de 10 Ma.

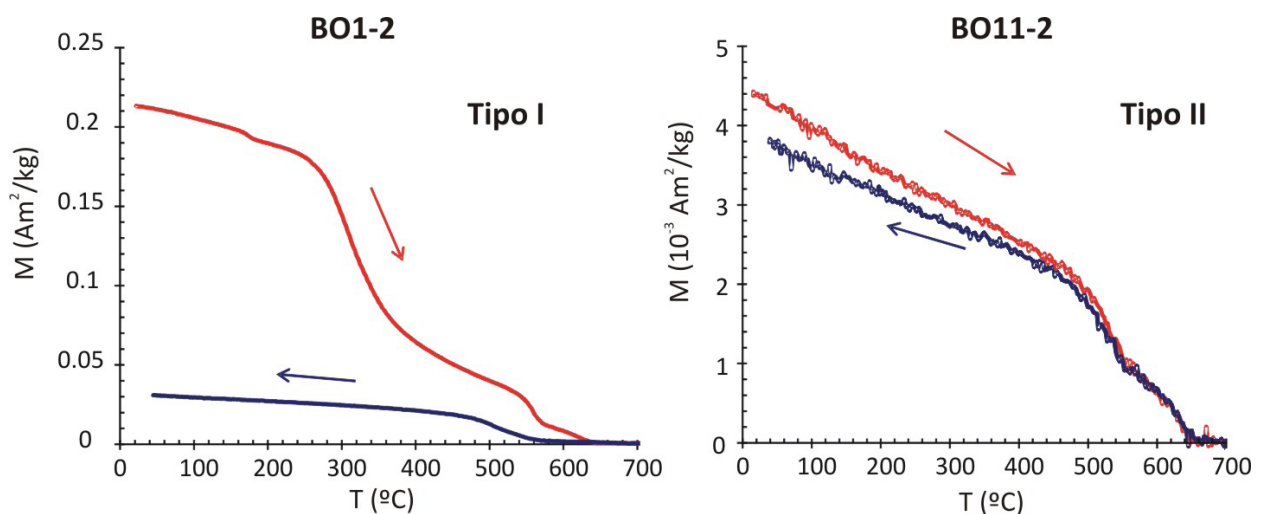


A partir del análisis de los diagramas de Zijdeveld se calcularon las direcciones medias de la componente característica de cada sitio y se representan en una proyección de igual área (Fig. 3). En este diagrama no se representan las direcciones medias de los afloramientos BO1, BO2, BO10 y BO11, puesto que, como se ha indicado, aún están siendo objeto de análisis e interpretación. En esta figura se representan también las direcciones esperadas para 60 y 80 Ma, calculadas a partir de ventanas temporales de 10 Ma (Besse y Courtillot, 2002). Se observa que con excepción de dos sitios (BO15 y BO16), el resto de las direcciones medias se agrupan cercanas a las mismas.

#### 4. Experimentos de magnetismo de rocas

Los análisis de magnetismo de las rocas se llevaron a cabo en muestras seleccionadas de cada afloramiento para determinar los minerales portadores de la remanencia en las lavas estudiadas, reconocer su estructura de dominios y analizar su estabilidad térmica. Para ello se usó la balanza de traslación (MMVFTB) del laboratorio de paleomagnetismo de la Universidad de Burgos. En cada una de las muestras se realizó la siguiente secuencia de experimentos: (1) curvas de adquisición de magnetización remanente isoterma (IRM) hasta campos de 1 T; (2) curvas de histéresis; (3) *backfield*; (4) curvas termomagnéticas M–T. Los experimentos termomagnéticos se realizaron en aire hasta una temperatura de 700° C y posteriormente las muestras se enfriaron hasta temperatura ambiente en un campo aplicado de 38 mT con velocidades de calentamiento y enfriamiento de 30° C/min.

El análisis de las curvas termomagnéticas (Fig. 4), así como el resto de los experimentos de magnetismo de rocas realizados, nos han permitido determinar que la fase magnética principal en todos los casos es la (Ti)magnetita. Aunque se observa también la presencia de una fase de alta coercitividad, que en algunos afloramientos contribuye de manera significativa a la magnetización. El análisis de las curvas M–T nos ha llevado además a establecer dos tipos de comportamiento diferente. Las curvas de tipo I (Fig. 4) poseen una fase principal con temperaturas Curie de 560° a 580° C, asociada a titano-magnetita con bajo contenido en Ti y otra fase con temperatura Curie de alrededor de 400° C y, en mayor o menor medida, (Ti)hematita con temperatura Curie de aproximadamente 650° C. Estas curvas son irreversibles, ya que la fase de baja temperatura no se aprecia en la curva de enfriamiento y además se reduce la magnetización de forma significativa después de calentar las muestras. En las curvas de tipo II se aprecia la presencia de magnetita y en ellas la contribución de hematita es muy significativa. Se trata de curvas altamente reversibles. Este tipo



**Figura 4.** Ejemplos de curvas termomagnéticas (M – T) de los dos tipos característicos de curvas: Tipo I y Tipo II. Se diferencian fundamentalmente en la presencia o no de una fase de baja temperatura, así como en la reversibilidad de las curvas.



de comportamiento indica que se trata de sitios que podrían ser adecuados para la posterior realización de estudios de paleointensidad.

## 5. Conclusiones

Se ha iniciado un estudio paleomagnético y de magnetismo de rocas para establecer la validez de 16 lavas dacíticas y riolíticas de edad cretácica y paleógena para la determinación de la paleointensidad absoluta. Mediante estos estudios se pretende obtener información acerca de las características de la remanencia de las lavas estudiadas, de los minerales portadores de dicha remanencia, de su estructura de dominios y de su estabilidad térmica.

Los resultados paleomagnéticos obtenidos muestran que la mayor parte de las direcciones de la remanencia característica de la mayoría de los afloramientos es cercana a la dirección esperada para 60 y 80 Ma, sugiriendo que se trata de una remanencia primaria. Sin embargo, en un número importante de muestras se aprecia la presencia de una componente secundaria superpuesta en mayor o menor grado a la primaria, de forma que ese tipo de muestras no es adecuado para las determinaciones de paleointensidad. Las curvas termomagnéticas han permitido reconocer que, en una parte de las lavas, los minerales portadores de la remanencia cuentan con una estabilidad térmica adecuada para afrontar determinaciones de la paleointensidad absoluta con ellas. De estos resultados preliminares se puede extraer la conclusión de que dos de las 16 lavas analizadas parecen claramente indicadas para realizar en ellas estudios de paleointensidad, mientras que en otras siete solamente se podrá utilizar una parte de sus muestras.

## Agradecimientos

Este trabajo se financió con el proyecto CGL2012-32149 (*Ministerio de Economía y Competitividad, España*) y el *Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)*.

## Referencias

- Besse, J., Courtillot, V., 2002. Apparent and true polar wander and geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr. *Journal of Geophysics Research*, 107 (B11), 2300.
- Biggin A. J., Strik, GHMA, Langereis, C. G. 2009. The intensity of the geomagnetic field in the late-Archaeon: new measurements and an analysis of the updated IAGA palaeointensity database. *Earth Planets Space*, 61, 9-22
- Biggin A J, McCormack, A, Roberts, A., 2010. Paleointensity database updated and upgraded. *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, 91 (2), 15.
- Bol'shakov, A. S., Shcherbakova, V. V., 1979. A thermomagnetic criterion for determining the domain structure of ferrimagnetics. *Izv. Akad. Nauk. SSSR*, 15, 111-117
- Calvo, M., Prévot, M., Perrin, M., Riisager, J., 2002. Investigating the reasons for the failure of palaeointensity experiments: a study on historical lava flows from Mt. Etna (Italy). *Geophys. J. Int.*, 149, 44-63.
- Dudaury, O. Z., Vashakidze, G. T., Gogoladze, D. P., 1990. K-Ar ages of some subvolcanic bodies and ore deposits of Kvemo Kartli (South-Eastern Georgia). *Bull. of the Academy of Sciences of Georgia*, 140, 3.
- Goguitchaichvili, A., Morales, J., Cañon-Tapia, E., Negrete, R., 2003. Geomagnetic field strength during Late Miocene: First Absolute Paleointensity Results from Baja California. *J. Geophys. Res.*, 108, 1029/2002JB002081.
- Levi, S., 1975. Comparison of two methods of performing the Thellier experiment (or, how the Thellier experiment should not be done). *J. Geomagn. Geoelectr.*, 27, 245-255.
- Thellier, E., 1937. Aimantation des terres cuites; application à la recherche de l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 204, 184-186.
- Thellier, E., Thellier, O., 1959. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Ann. Geophys.*, 15, 285-376.