



## ESTUDIO PALEOMAGNÉTICO Y DE MAGNETISMO DE ROCAS DE LA SECUENCIA PLIOCENA DE SARO (GEORGIA, CÁUCASO)

Ana Caccavari<sup>1</sup>, Manuel Calvo Rathert<sup>2\*</sup>, Avto Gogichaishvili<sup>1</sup>, Goga Vashakidze<sup>3</sup>, Néstor Vegas<sup>4</sup>, Bertha Aguilar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, Instituto de Geofísica, Sede Michoacán UNAM – Campus Morelia, 58990 Morelia, México

<sup>2</sup>Departamento de Física, EPS, Universidad de Burgos, c/ Francisco de Vitoria, s/n, 09006 Burgos, España

<sup>3</sup>Alexandre Janelidze institute of Geology of I. Javakhishvili Tbilisi State University

<sup>4</sup>Departamento de Geodinámica, Universidad del País Vasco, 48940, Leioa, Bizkaia, España

### Resumen

Este trabajo presenta resultados preliminares sobre los experimentos de magnetismo de rocas y paleomagnetismo realizados en una secuencia de coladas basálticas (Saro) con una edad estimada en 2,0 a 2,2 Ma mediante dataciones radiométricas con el método K-Ar (Lebedev et al, 2008), localizada en la meseta de Dzavakheti, en el sur de Georgia. Se cuenta con un total de 39 coladas con un promedio de 9 muestras por sitio. Se realizaron experimentos de magnetismo de rocas para identificar los minerales portadores de remanencia y su estabilidad paleomagnética: Determinación de los parámetros de la curva de histéresis, adquisición de magnetización remanente isoterma (IRM) y medida de curvas termomagnéticas (magnetización inducida y susceptibilidad en función de la temperatura). Las curvas termomagnéticas permiten distinguir 4 tipos de muestras: a) Tipo H: Curvas reversibles y magnetita como portador de la remanencia; b) Tipo H\*: Como H, pero con un comportamiento menos reversible; c) Tipo L: Curvas irreversibles y temperatura de Curie baja (aproximadamente 280°C) y d) Tipo F: Curvas irreversibles con las dos fases ferrimagnéticas presentes en las curvas tipo H y L en la curva de calentamiento y una única componente en la de enfriamiento. Los parámetros de la curva de histéresis sugieren un comportamiento pseudodominio en la mayor parte de las muestras.

El análisis paleomagnético de la secuencia muestra que todas las coladas estudiadas se caracterizan por una polaridad inversa. Se obtiene una dirección media  $D= 205,6^\circ$ ,  $I= -60,7^\circ$ , ( $A_{95}= 2,0$ ,  $k= 129,6$ ) a partir de la cual se determina un polo paleomagnético con longitud  $\lambda= 123,1^\circ$  y latitud  $\varphi= 71,1^\circ$  ( $A_{95}=2,8^\circ$ ,  $k=72,1$ ). La distancia angular entre el VGP obtenido en este trabajo y el de la curva de deriva polar aparente sintética APWP de Besse y Courtillot (2002) para Europa, para 0 Ma es de  $17,0^\circ$  y para la ventana de 5Ma es de  $16,7^\circ$ .

### Abstract

We present rock-magnetic and paleomagnetic results obtained on samples belonging to a pliocen sequence of 39 successive lava flows from Saro, Georgia. With an age of 2.2 Ma (Lebedev et al., 2002) Analysis of thermomagnetic curves allows to distinguish four types of samples: a) Type H samples with magnetite as the only carrier of remanence, reversible behavior; b) type H\*, like H but with a less reversible behavior; c) type L curves with a low Curie-temperature phase ( $T_C=280^\circ\text{C}$ ) and non reversible behavior. d) type F. Non reversible behavior and two ferromagnetic phases Analysis of hysteresis



parameters suggests that the grain size of most studied samples corresponds to pseudo single-domain particles, which can be also interpreted as a mixture of single-domain and multidomain particles.

Paleomagnetic experiments reveal only a single paleomagnetic component with reverse polarity.. The mean direction of the whole sequence  $D= 205,6^\circ$ ,  $I= -60,7^\circ$ , ( $A_{95}= 2,0$ ,  $k= 129,6$ ) and the calculated paleomagnetic pole yields a longitude  $\lambda= 123,1$  and a latitude  $71,1^\circ$  ( $A_{95}=2,8^\circ$ ,  $k=72,1$ ). The angular distance between the VGP obtained in this work and the Apparent Polar Wander Path (APWP) by Besse and Courtillot (2002) for Europe for 0 Ma is  $17^\circ$  and  $16,7^\circ$  for a 5 Ma window.

## Introducción

El campo magnético terrestre (CMT) está caracterizado por una variación ininterrumpida tanto de su dirección como de su intensidad. Existen diversos tipos de variaciones, según la magnitud, duración y su carácter global o regional. La variación de efectos más pronunciados es el cambio de polaridad del CMT. Los episodios en los cuales la polaridad del campo es predominantemente normal o inversa y tienen una duración larga, del orden de  $10^5$ ,  $10^6$  e incluso  $10^7$  años, se denominan crones. Dentro de ellos existen episodios más cortos de polaridad opuesta, cuya duración es del orden de  $10^4$  a  $10^5$  años y que reciben el nombre de subcrones (Cox, et al., 1964). A una escala menor, con periodicidades del orden de  $10^2$  a  $10^4$  años, el campo magnético terrestre experimenta una variación de su dirección e intensidad de naturaleza más continua que los cambios de polaridad, denominada variación secular. Ésta se manifiesta tanto en la fracción dipolar como en la no dipolar del campo magnético terrestre.

Aunque las rocas sedimentarias ofrecen un registro magnético ininterrumpido de las variaciones del campo geomagnético, las características específicas de la magnetización remanente de las rocas sedimentarias, deposicional (DRM) o post-deposicional (pDRM), puede limitar la obtención de datos confiables del registro de la variación. Por otra parte, el registro de las rocas volcánicas, al estar ligado a erupciones volcánicas, es discontinuo, pero la magnetización termorremanente (TRM) de las rocas volcánicas ofrece un registro instantáneo y muy confiable del campo magnético terrestre (por ejemplo, Prévot et al., 1985). Además, las rocas volcánicas pueden aportar datos de paleointensidad absoluta. Por ello el estudio de los flujos de lava emitidos en intervalos de tiempo cortos resulta del mayor interés.

La formación de las cadenas montañosas del Cáucaso está relacionada con la convergencia, aún activa, de las placas Arábica y Eurasiática (Philip et al., 1989). La región se caracteriza por un contexto geológico complejo, con una asociación tanto de estructuras compresivas N-S (pliegues y cabalgamientos) como de estructuras extensionales E-W (fallas normales y diques), acompañadas por un vulcanismo considerable desde el Jurásico a la actualidad. En la intensa actividad volcánica que se produjo en el sur del Cáucaso desde el Mioceno a consecuencia de la colisión de las placas Arábica y Eurasiática (Koronovskii y Demia, 1999), se pueden distinguir tres fases diferenciadas de actividad: i) Desde el Mioceno superior al Plioceno inferior, ii) desde el Plioceno medio o superior al Pleistoceno y iii) durante el Cuaternario.

Debe mencionarse que, a pesar de su indudable interés, el número de datos paleomagnéticos fiables en el Cáucaso es aún escaso. Sin embargo, durante los últimos años, los grupos de paleomagnetismo de la Universidad Nacional Autónoma de México y de la Universidad de Burgos han llevado a cabo diversos trabajos de investigación paleomagnética en la República de Georgia (por ejemplo, Gogichaishvili et al., 2009, Calvo Rathert et al., 2011). El presente trabajo pretende ser una contribución a la caracterización del campo magnético y sus variaciones a la vez que intenta ampliar la base de datos paleomagnéticos disponible para el Cáucaso. Con este fin, se inició un estudio de paleomagnetismo, magnetismo de las rocas y paleointensidad en la secuencia Pliocena de Saro (sur de Georgia, Cáucaso), formada por 39 coladas basálticas, con una edad estimada en 2,0 a 2,2 Ma mediante dataciones radiométricas con el método K-Ar (Lebedev et al., 2008).

Las coladas se muestrearon con un taladro portátil, y se orientaron con una brújula magnética y con una brújula solar. Se tomó un promedio de 8 muestras por colada, y no fue necesario realizar corrección tectónica.



## Magnetismo de rocas

Se realizaron diversos experimentos de magnetismo de rocas con el objeto de analizar los minerales portadores de magnetización y la estabilidad paleomagnética de los mismos, tales como la determinación de los parámetros de la curva de histéresis, adquisición de magnetización remanente isoterma (IRM) y medida de curvas termomagnéticas (magnetización inducida y susceptibilidad en función de la temperatura).

En las curvas registradas de magnetización en función de la temperatura, medidas con una balanza de translación, se pudieron distinguir 4 tipos de curvas (fig.1): (i) Tipo H: Presentan una sola fase ferromagnética, y temperatura de Curie alta, (aproximadamente de 600 grados) que puede corresponder a Magnetita y un comportamiento prácticamente reversible, (ii) Tipo H\*: Al igual que en las de tipo H, se observa una sola fase ferromagnética, y una temperatura de Curie alta, que igualmente, corresponde a Magnetita. Presentan un comportamiento menos reversible, que es lo que las distingue de las curvas de tipo H. (iii) Tipo L: Se observa una fase única ferromagnética y una temperatura de Curie baja (280°C aproximadamente) en la curva de calentamiento, que puede corresponder a titanomagnetita con un alto contenido de Titanio. Se trata de curvas irreversibles. (iv) Tipo F: Estas muestras se caracterizan por la presencia de dos fases ferromagnéticas en la curva de calentamiento, que corresponden a las que se observan en las curvas H, H\* y L Una con temperatura de Curie de aproximadamente 250°C y otra de 590°C aproximadamente. La curva de enfriamiento presenta una única componente y se observa un comportamiento irreversible

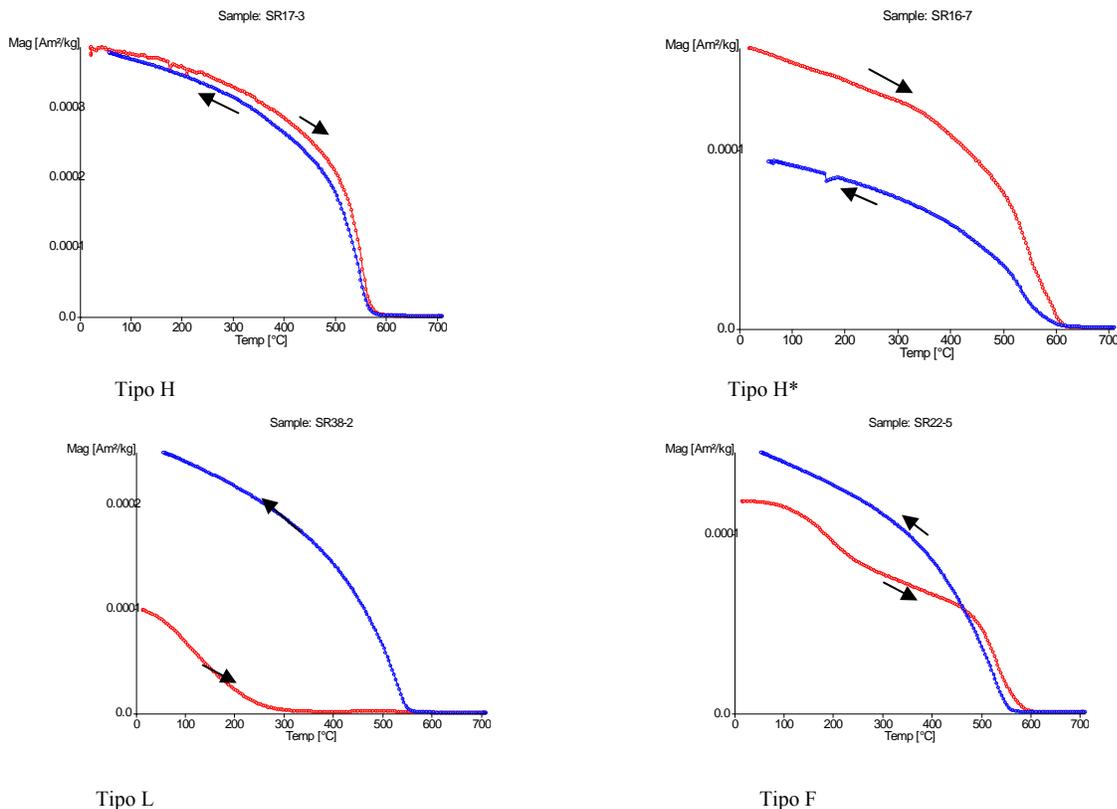
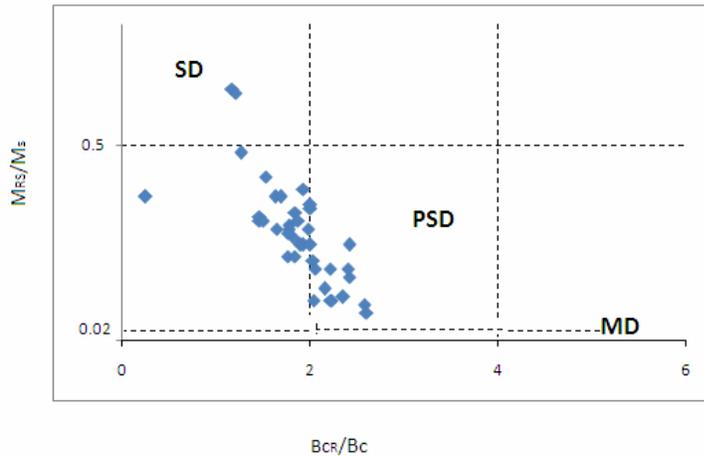


Fig.1 Curvas termomagnéticas (magnetización en función de la temperatura)



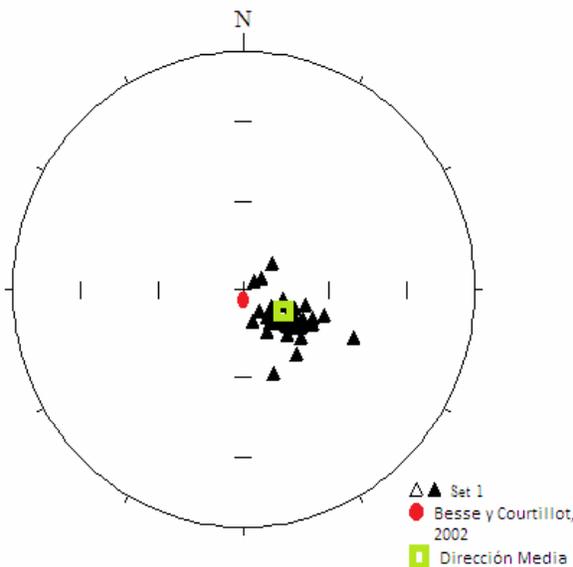
De las curvas de histéresis y de backfield, se obtienen la Remanencia de saturación ( $M_r$ ), la magnetización inducida ( $M_s$ ), la coercitividad de la remanencia ( $B_{cr}$ ) y la coercitividad ( $B_c$ ). Como resultado del cociente de la remanencia de saturación y la magnetización de saturación ( $M_{rs}/M_s$ ) en función del cociente de la coercitividad de la remanencia y la coercitividad ( $B_{cr}/B_c$ ) de los 39 flujos de lava, se obtiene el siguiente diagrama de Day (Day et al., 1977)



**Figura 2.** Representación del cociente de la remanencia de saturación y la magnetización de saturación ( $M_{rs}/M_s$ ) en función del cociente de la coercitividad de la remanencia y la coercitividad ( $B_{cr}/B_c$ ).

Se puede observar que la mayoría de las coladas, caen en el campo del Pseudodominio, lo cual puede corresponder a una mezcla de tamaños de grano: (SD) Monodominio y (MD) Multidominio (Dunlop, 2002)

### Paleomagnetismo



Se midió la NRM de 280 muestras de 39 sitios. Se desmagnetizaron 40 muestras piloto por campos alternos y 39 por desmagnetización térmica. Con base en estos resultados, se eligió la técnica más adecuada, desmagnetizándose 209 por AF y 71 por térmicamente. El mayor porcentaje de los sitios (22/39) presenta una sola componente bien definida, mientras que el resto (17/39) tiene una componente viscosa normal en los primeros pasos, de 0-10mT (con direcciones de alrededor de  $D=347$ ,  $I=38$ ). En el caso de las desmagnetizaciones térmicas, las muestras se desmagnetizan completamente a aproximadamente  $480\text{ }^\circ\text{C}$ .

Las 39 coladas presentan polaridad inversa con una dirección media  $D=205.6^\circ$ ,  $I=-60.7^\circ$ ,  $\alpha(95\%)=2.0^\circ$  y  $k=129.6$  y un polo paleomagnético longitud  $\lambda=123.1^\circ$ , y latitud  $\varphi=71.1^\circ$ ,  $\alpha(95\%)=2.8$  y  $k=72.07$ .

**Figura 3.** Polos paleomagnéticos virtuales de las 39 coladas de lava. El valor medio de todas las direcciones se representa mediante un cuadrado y con un punto el polo paleomagnético obtenido a partir de la ventana temporal correspondiente a 0 Ma de la curva de deriva polar aparente sintética de Besse y Courtillot (2002)



Se comparó el paleopolo obtenido en este trabajo con la curva de deriva polar aparente sintética, APWP (Aparent Polar Wander Path) para Europa, obtenida por Besse y Courtillot (2002) y calculada, para ventanas de 10 Ma cada 5 Ma.. Debido a que la secuencia tiene una edad aproximada de 1.8 Ma, se comparó con el valor obtenido para 0 Ma (latitud  $\varphi = 86.7^\circ$  y longitud  $\lambda = 178.7^\circ$ ,  $A_{95} = 3.0$ ,  $k = 96.1$ ) observándose una distancia angular de  $17.2^\circ$ . También se realizó una comparación con el valor obtenido para la ventana de 5Ma ( $\lambda = 86.3^\circ$  y  $\varphi = 172^\circ$ ,  $A_{95} = 2.6$ ,  $k = 105.1$ ), obteniéndose una distancia angular de  $16.69^\circ$ . Se puede observar que la diferencia que existe entre el polo obtenido en este trabajo y el correspondiente a la curva de deriva polar aparente presentan una diferencia grande y significativa que puede estar asociada a rotaciones ocurridas en la secuencia estudiada.

## Conclusiones

Se observa que los minerales portadores de remanencia son titanomagnetitas con diferentes contenidos de Titanio. Las muestras presentan una mezcla de tamaños de grano Monodominio y Multidominio. Las coladas presentan una dirección media  $D_n = 205.6^\circ$ ,  $I = -60.7^\circ$ , ( $\alpha$  (95%) =  $2.0^\circ$ ,  $k = 129.60$ ), que corresponde a una dirección inversa, que se mantiene en todas las coladas, y un polo paleomagnético  $\lambda = 123.1^\circ$ ,  $\varphi = 71.1^\circ$ , ( $\alpha$  (95%) =  $2.8^\circ$ ,  $k = 72.07$ ). La distancia angular entre el VGP obtenido en este trabajo y el calculado en el APWP por Besse y Courtillot (2002) para Europa, para 0Ma es de  $17.2^\circ$  y para una 5Ma es de  $16.7^\circ$ . Observando que la diferencia entre estos resultados es grande, pudiendo estar asociado a rotaciones.

## Agradecimientos

*Este trabajo se financió con un proyecto de la Junta de Castilla y León (BU004A09) y con el apoyo de Conacyt, beca 257639*

## Referencias

- Besse, J. and V. Courtillot (2002). Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr. *J. Geophys. Res.*, 107, B11, 2300
- 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*
- Cox, A., Doell, R.R. y Dalrymple, G.B. (1964). Reversals of the Earth's magnetic field, *Science*, 144, 1537-1543.
- Day, R., Fuller, M. & Schmidt, V.A. (1977). Hysteresis properties of titanomagnetites: Grain-size and compositional dependence. *Phys. Earth Planet. Int.*, 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. *J. Geophys. Res.*, Vol. 107, No. B3, doi: 10.1029/2001JB000486.
- Gogichaishvili, A., Miguel Angel Cervantes, Manuel Calvo Rathert, Pierre Camps, Jemal Sologashvili and Givi Maissuradze (2009), *Earth, Planets and Space*. Gilbert-Gauss Geomagnetic Reversal Recorded in Pliocene Volcanic Sequences from Lesser Caucasus: Revisited Vol 61, 71-82.
- Koronovskii, N.V. y Demia, L.I. (1999). Collision stage of the evolution of the Caucasian sector of the Alpine foldbelt: Geodynamics and magmatism. *Geotectonics*, 33, 102-118.



Lebedev V.A, Bubnov S.N., Dudaori O.Z., and 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. Vol. 16. No.2 pp 204-224, Pleiades Publishing.

Philip, H., Cisternas, A., Gvishiani, A. and Gorshkov, A., 1989. The Caucasus: an actual example of the initial stages of continental collision. *Tectonophysics.*, 161, 1-21.

Prévot, M., Mankinen, E.A., Coe, R. y Grommé, C.S (1985). The Steens Mountain (Oregon) geomagnetic polarity transition, 2. Field intensity variation and discussion of reversal models, *J. Geophys. Res.*, 90, 10417-10448.