



RESULTADOS PALEOMAGNÉTICOS Y DE PALEOINTENSIDAD DE UNA SECUENCIA DE COLADAS PLIOCENAS DE SÃO VICENTE (CABO VERDE)

Manuel Calvo Rathert^{1*}, Ángel Carrancho² y Ana Caccavari³

¹ Departamento de Física, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Burgos, Av. de Cantabria, s/n, 09006 Burgos, España

¹ Departamento de Historia, Geografía y Comunicación, Universidad de Burgos, C/ Villadiego s/n, 09001 Burgos, España

³ Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, Instituto de Geofísica, Sede Michoacán UNAM - Campus Morelia, 58990 Morelia, México

*e-mail: mcalvo@ubu.es

ABSTRACT

We report new palaeomagnetic, paleointensity and rock-magnetic results obtained in a sequence of 11 nephelinitic lavas from the island of São Vicente (Cape Verde). Rock magnetism experiments yielded a single thermomagnetic curve type, showing good reversibility and displaying low Ti-titanomagnetite Curie temperatures. Hysteresis parameters show pseudo-single domain structure. Palaeomagnetic analyses indicate that a single paleomagnetic component can be distinguished in 10 of 11 flows, while only in one site a second larger viscous component is recognized. A normal polarity characteristic component could be isolated in all flows. Paleointensity experiments are still ongoing.

Keywords: Paleomagnetism, paleointensity, rock-magnetism, lava flow sequence, Cape Verde.

RESUMEN

Se presentan nuevos resultados paleomagnéticos, de paleointensidad y de experimentos de magnetismo de las rocas obtenidos en una secuencia de 11 coladas nefelínicas de la isla de São Vicente (Cabo Verde). Los experimentos de magnetismo de las rocas han permitido distinguir un único tipo de curvas termomagnéticas, de carácter reversible y con una temperatura de Curie correspondiente a titanomagnetita pobre en titanio. El análisis de los parámetros de la curva de histéresis muestra un predominio de granos con estructura pseudo-monodominio. Los análisis paleomagnéticos indican que en 10 de 11 coladas solo se aprecia una única componente paleomagnética, mientras que en una se observa una segunda componente viscosa de mayor importancia. Se pudo aislar una componente característica de polaridad normal en todas las coladas. Los experimentos de paleointensidad aún se hallan en curso.

Palabras clave: Paleomagnetismo, paleointensidad, magnetismo de las rocas, secuencia de coladas, Cabo Verde.

1. Introducción

El estudio de las variaciones de la dirección e intensidad del campo magnético terrestre proporciona información valiosa para el desarrollo de los modelos que describen sus características y origen. Los resultados paleomagnéticos y de paleointensidad son los únicos que pueden aportar datos sobre las variaciones experimentadas por el campo con el tiempo, con excepción de los – en términos geológicos – breves y recientes registros magnéticos directos. Las rocas volcánicas permiten un registro fiel e instantáneo del campo. La adquisición de una magnetización remanente térmica ocurre durante el enfriamiento de la muestra en presencia de un campo externo y en el caso de una colada volcánica este proceso por regla general no tendrá una duración muy larga. Por estos motivos, las rocas volcánicas pueden aportar información fidedigna de un instante determinado de la variación de la dirección e intensidad del campo. Sin embargo, aunque las



rocas volcánicas permiten un registro fiel e instantáneo del campo magnético terrestre, el registro obtenido será de carácter discontinuo, al estar ligado a la ocurrencia de erupciones volcánicas. Este problema se puede atenuar mediante el estudio de secuencias de coladas volcánicas.

En los últimos años se ha publicado un número creciente de trabajos en los cuales se han documentado las variaciones del campo geomagnético registradas en secuencias de coladas volcánicas (variación secular, excursiones y cambios de polaridad), determinando tanto sus direcciones paleomagnéticas como sus paleointensidades absolutas (p. ej., Prévot *et al.*, 1985; Mankinen *et al.*, 1985). Los resultados direccionales y de paleointensidad que se obtienen de este tipo de estudios permiten la caracterización de las variaciones del campo magnético terrestre y el análisis de su comportamiento durante excursiones geomagnéticas y transiciones de polaridad si éstas se detectan en las secuencias estudiadas.

Los datos de paleointensidad absoluta de edad superior a 50 ka publicados en la bibliografía se catalogan en la base de datos PINT (Biggin *et al.*, 2010). Sin embargo, la distribución geográfica y temporal de los datos se caracteriza por una gran asimetría. Por ejemplo, aún existen muy pocos datos procedentes de África. Sin embargo, para una descripción fidedigna de las variaciones temporales del CMT es indispensable un conocimiento menos sesgado de sus características, incluyéndose entre éstas no solamente sus variaciones en función del tiempo, sino también aquéllas relacionadas con la localización geográfica estudiada. Con el fin de ampliar la base de datos africana de paleointensidad y de obtener nuevos datos sobre las variaciones del campo magnético terrestre, en el presente trabajo se tomaron muestras de 11 coladas pertenecientes a una secuencia de lavas de edad pliocena de la isla de Santo Antão en Cabo Verde.

2. Contexto geológico y muestreo

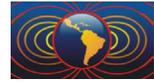
El archipiélago de Cabo Verde está situado en el Océano Atlántico a unos 300 a 600 km al oeste de Senegal. Está constituido por 10 islas y varios islotes. Se alza sobre la dorsal submarina de Cabo Verde, de 500 km de diámetro, de la cual constituye la parte emergida. La dorsal estaría relacionada con un punto caliente (Pim *et al.*, 2008) centrado actualmente al norte y nordeste del archipiélago. La mayor parte de las lavas que se hallan en todas las islas corresponden a ankarmitas, nefelinitas y basanitas (Gerlach *et al.*, 1988).

La primera evidencia de actividad volcánica en la isla de São Vicente se remonta a 9 millones de años, cuando comenzó a desarrollarse un edificio submarino basáltico. Durante el Plioceno se formó un único edificio volcánico en varias etapas de crecimiento (Ancochea *et al.*, 2010). Un gran deslizamiento destruyó el sector NE del edificio, generando una depresión posteriormente rellenada por coladas nefeliníticas (Ancochea *et al.*, 2010). Para el presente trabajo se tomaron muestras de 11 coladas pertenecientes a este vulcanismo en la secuencia de Praia Grande. La actividad volcánica cesó hace aproximadamente 3 a 2 Ma, aunque en el sector oriental de la isla se aprecia una actividad escasa y localizada de 0.3 Ma de edad.

3. Método experimental

Se llevaron a cabo los siguientes experimentos de magnetismo de las rocas para identificar los minerales portadores de la magnetización remanente en cada una de las coladas y obtener información acerca de su estabilidad térmica y su tamaño de grano: Medida de curvas termomagnéticas (magnetización en función de la temperatura), determinación de los parámetros de la curva de histéresis y adquisición de magnetización remanente isoterma (IRM). Estos experimentos preliminares se realizaron con una balanza de traslación MMVTB en muestras representativas de las diferentes coladas de la secuencia. Todos los experimentos se llevaron a cabo con muestras pulverizadas y en aire.

Las mediciones paleomagnéticas se llevaron a cabo con un magnetómetro criogénico, para la desmagnetización



térmica se empleó un horno Schonstedt TSD-1 y la desmagnetización por campos alternos se llevó a cabo con un sistema desmagnetizador incorporado al magnetómetro criogénico. Las direcciones de la magnetización remanente se determinaron mediante análisis de componentes principales (Kirschvink, 1980).

Para los experimentos de paleointensidad se ha empleado el método de Coe (1967). El experimento se desarrolló en 12 etapas de temperatura entre temperatura ambiente y 575° C. Después de cada calentamiento, las muestras se dejaban enfriar naturalmente durante varias horas hasta llegar a temperatura ambiente. A partir de 300°C se realizaron controles de pTRM (*pTRM-checks*) en cada etapa de calentamiento. Todos los calentamientos se llevaron a cabo en atmósfera de argón.

4. Resultados

Los experimentos de magnetismo de las rocas se llevaron a cabo en muestras seleccionadas de todas las coladas. El análisis de las curvas termomagnéticas permitió distinguir fundamentalmente un único tipo de curvas, de carácter reversible y con una única fase ferromagnética, titanomagnetita pobre en titanio (Fig. 1). Las medidas de la IRM apuntan en todos los casos a minerales de baja coercitividad como principales portadores de la remanencia. El análisis de los parámetros de la curva de histéresis muestra un predominio de granos con estructura pseudo-monodominio (Fig. 2), que también puede ser interpretado en términos de mezcla de granos monodominio y multidominio (Dunlop, 2002)

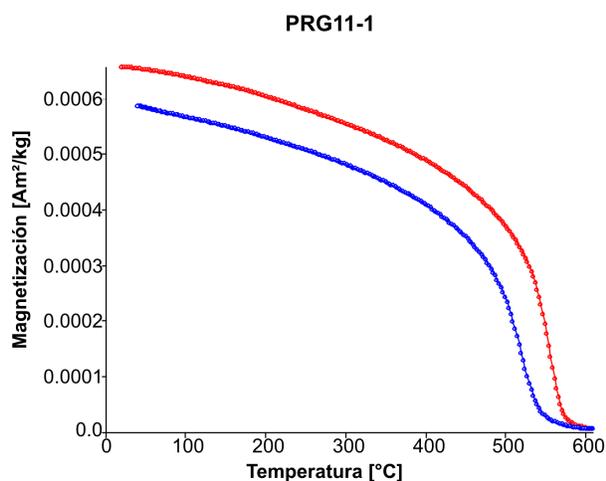


Figura 1. Curva termomagnética (magnetización en función de la temperatura) de la muestra PRG11-1. En rojo, curva de calentamiento. En azul, curva de enfriamiento.

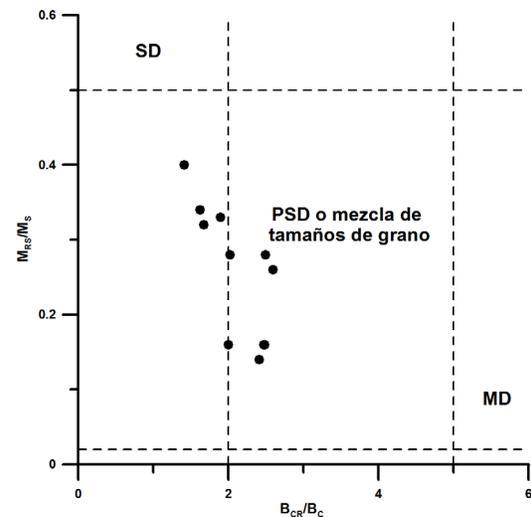


Figura 2. Diagrama de Day- (Day *et al.*, 1977) de muestras representativas de las 11 coladas estudiadas. M_{RS}/M_S : Remanencia de saturación magnetización entre magnetización de saturación. B_{CR}/B_C : Coercitividad de remanencia entre coercitividad.

Los análisis paleomagnéticos mediante desmagnetización térmica y por campos alternos permitieron reconocer que en 10 de las 11 coladas estudiadas solo se aprecia una componente paleomagnética (Fig. 3), acompañada frecuentemente de una débil componente viscosa. En una única colada se observa, además, una segunda componente viscosa de mayor importancia. Se pudo aislar una componente característica en todas las coladas, siendo ésta en todos los casos de polaridad normal (Fig. 4).

La interpretación de las medidas de paleointensidad aún se halla en curso. En un primer análisis se aceptarán todas las determinaciones que satisfagan los requisitos relacionados a continuación: (i) El número de puntos alineados en el diagrama normalizado NRM-TRM (diagrama de Arai) deberá ser igual o mayor

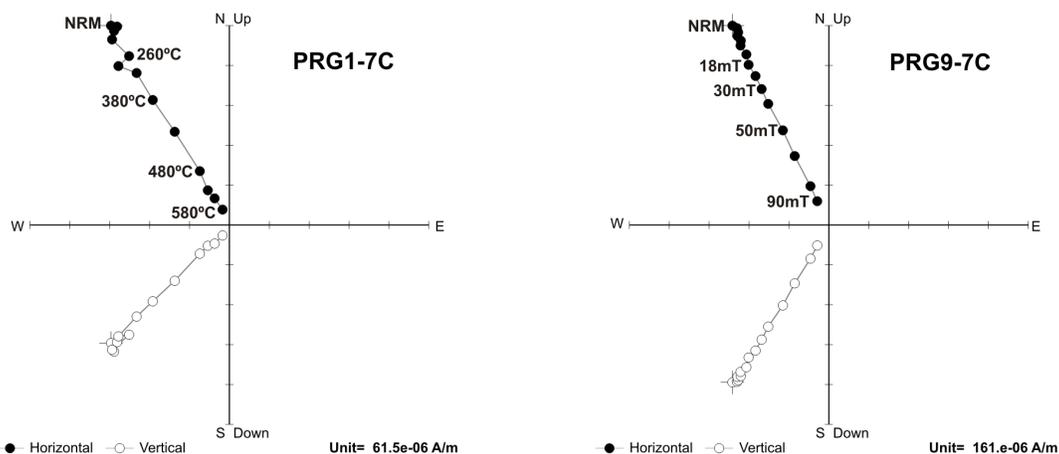
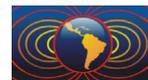


Figura 3. Diagramas de Zijderveld. Izquierda: Desmagnetización térmica de la muestra PRG1-7C. Derecha: Desmagnetización por campos alternos de la muestra PRG9-7C.

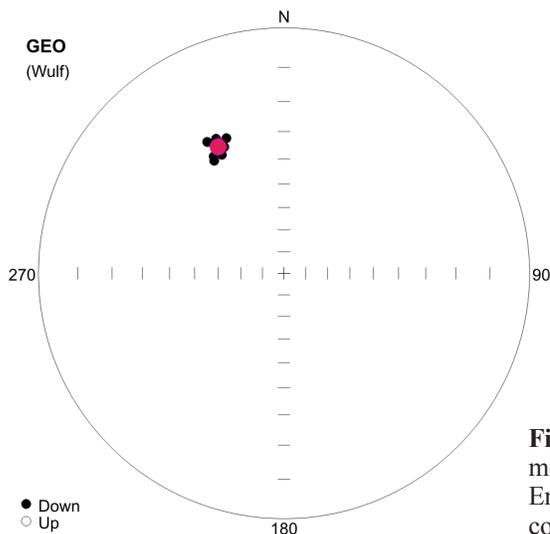
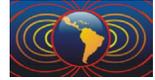


Figura 4. Proyección estereográfica de las direcciones medias de las 11 coladas de la secuencia de Praia Grande. En rojo, dirección media de todas las coladas y cono de confianza $\alpha 95$.

que 4; (ii) Los parámetros de fracción f y de calidad q (Coe *et al.*, 1978) deberán ser mayores que 0.35 y 2, respectivamente; (iii) El parámetro DRAT, propuesto por Selkin and Tauxe (2000) para cuantificar los controles de pTRM deberá ser $\leq 7^\circ$; (iv) No se deberán tener en cuenta las determinaciones de paleointensidad obtenidas de diagramas NRM-TRM claramente cóncavos; (iv) Las direcciones de la NRM en cada etapa deberán trazar una línea recta hacia el origen en el intervalo de temperaturas elegido para la determinación de la paleointensidad, con $MAD < 7^\circ$.

Referencias

Ancochea, E., Huertas, M.J., Hernán, F., Brändle, J.L., 2010. Volcanic evolution of São Vicente, Cape Verde Islands: The Praia Grande landslide. *J. of Volcanol. Geotherm. Res.* 198, 143-157.
 Biggin, A. J., A. McCormack, and A. Roberts, 2010. Paleointensity database updated and upgraded, *Eos Trans. AGU* 91(2), 15, doi:10.1029/2010EO020003.
 Coe, R., 1967. Paleointensities of the Earth’s magnetic field determined from Tertiary and Quaternary rocks, *J. Geophys. Res.* 72, 3247-3262.



- Coe, R., Grommé, S. and Mankinen, E.A., 1978. Geomagnetic paleointensities from radiocarbon-dated lava flows on Hawaii and the question of the Pacific nondipol low. *J. Geophys. Res.* 83, 1740-1756.
- Day, R., Fuller, M. and 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.* 107, B3, doi: 10.1029/2001JB000486.
- Gerlach, D.C., Cliff, R.A., Davies, G.R., Norry, M., Hodgson, N., 1988. Magma sources of the Cape Verdes archipelago: Isotopic and trace element constraints. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52, 2979–2992
- Kirschvink, J.L., 1980. The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data, *Geophys. J. R. Astron. Soc.* 62, 699-718.
- Mankinen, E.A., M. Prévot, C.S. Grommé, R.S. Coe, 1985. The Steens Mountain (Oregon) geomagnetic polarity transition: 1. Directional history, duration of episodes, and rock magnetism, *J. Geophys. Res.* 90, 10, 393–10,416, doi:10.1029/JB090iB12p10393.
- Pim., J., Peirce, C., Watts, A.B., Grevenmeyer, I., Krabbenhoft, A., 2008. Crustal structure and origin of the Cape Verde rise. *Earth Planet. Sci. Lett.* 272, 422-428
- Prévot, M., E. A. Mankinen, R. S. Coe, C. S. Grommé, 1985. The Steens Mountain (Oregon) geomagnetic polarity transition: 2. Field intensity variations and discussion of reversal models, *J. Geophys. Res.* 90, 10, 417–10,448, doi:10.1029/JB090iB12p10417.
- Selkin, P., Tauxe, L., 2000. Long-term variations in palaeointensity. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 358, 1065-1088.