

Significado de fábricas magnéticas en rocas volcánicas cuaternarias de la Isla Decepción (Shetland del Sur, Antártida)

Magnetic fabric significance of Quaternary volcanic rocks of Deception Island (South Shetland Islands, Antarctica)

Andrés Gil Imaz ⁽¹⁾, Inmaculada Gil Peña ⁽²⁾, Jesús Galindo Zaldivar ⁽³⁾, Jorge Rey Salgado ⁽⁴⁾, Adolfo Maestro González ⁽²⁾, Óscar Pueyo Anchuela ⁽¹⁾, Ruth Soto Marín ⁽²⁾, Belén Oliva Urcia ⁽¹⁾ y Jerónimo López-Martínez ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. C/Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza. agil@unizar.es; opueyo@gmail.com; boliva@unizar.es

⁽²⁾ Instituto Geológico y Minero de España. C/ Ríos Rosas 23, 28003, Madrid. a.maestro@igme.es; i.gil@igme.es; r.soto@igme.es

⁽³⁾ Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada. 18071, Granada. jgalindo@ugr.es

⁽⁴⁾ ESGEMAR, Espacio 4, Polígono San Luis, 29006, Málaga. jjrey@esgemar.com

⁽⁵⁾ Departamento de Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid. Campus de Cantoblanco C/ Fco. Tomás y Valiente 7 28049, Madrid. jeronimo.lopez@uam.es

ABSTRACT

This work deals with the magnetic fabric (AMS technique) of different lithotypes related to quaternary volcanism of Deception Island (South Shetland Islands). The studied rocks include lava flows from basaltic to basaltic-andesitic composition, mafic dykes and several types of pyroclastic deposits. By combining the analysis of parametric aspects of the magnetic ellipsoids and their directional pattern, four types of magnetic fabrics have been recognized. Type I fabrics are related to laminar magma flow in both lava flows and dykes. The second one is related to magma reology in lava flow and tractive streams in pyroclastic deposits. Type III only identified in dikes, characterizes the imbrications of the magma flow against the dyke wall. Type IV reflects an isotropic rock-fabric and has been related to the presence of large anisotropic grains in lavas and particle fall without later modifications in pyroclastic deposits. The obtained results demonstrate the utility of AMS technique for petrogenetic model development linked to rock-fabric acquisition.

Key words: Volcanic rocks, magnetic fabric, Deception Island, Antarctica.

Geogaceta, 49 (2010), 103-106

ISSN: 2173-6545

Fecha de recepción: 15 de julio de 2010

Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2010

Fecha de aceptación: 26 de noviembre de 2010

Introducción y contexto geológico

La Isla Decepción forma parte del archipiélago de las Shetland del Sur. Se sitúa en la cuenca marginal del Estrecho de Bransfield, que separa estas islas de la Península Antártica. Decepción representa la parte emergida de un volcán en escudo y muestra el vulcanismo activo más reciente de la alineación volcánica de la cuenca de Bransfield, con varias erupciones históricas (Smellie, 2001). Su parte central sufrió un hundimiento relacionado con el colapso de la caldera (Baker *et al.*, 1975) o el desarrollo de fallas normales en un contexto de extensión radial (Martí *et al.*, 1996).

La evolución tectónica de la cuenca de Bransfield se enmarca en el contexto geodinámico de las placas de Phoenix, Scotia y Antártica (Fig. 1).

El vulcanismo en la Isla Decepción evolucionó desde pillow-lavas sub-marinas a erupciones subaéreas estrombolianas y freatomagmáticas. Las rocas aflorantes pueden ser divididas en dos grupos principales: 1) depósitos pre-caldera (Grupo Port Foster) compuesto principalmente por

cenizas hidrovulcánicas endurecidas y flujos de lavas basálticas de origen estromboliano y 2) depósitos post-caldera (Grupo Mount Pond). Estos últimos incluyen tanto erupciones freatomagmáticas, coladas dacíticas, conos de tobas, maares y erupciones magmáticas representadas por escorias estrombolianas y lavas (Smellie, 2001). La edad de las formaciones más antiguas, inferido de su polaridad magnética positiva (Valencio *et al.*, 1979), es inferior a 0.78 Ma. Dataciones radiométricas con K-Ar sobre roca total sugieren que la edad de la mayor parte del vulcanismo subaéreo de la isla es inferior a 0.2 Ma (Keller *et al.*, 1991).

Se ha realizado el estudio de la fábrica magnética de los distintos tipos de rocas aflorantes, presentándose aquí los resultados de un total de 21 estaciones (Fig. 2A): 11 en coladas volcánicas (dos de ellas de la etapa pre-caldera), 6 en aglomerados y brechas volcánicas (dos de ellas pre-caldera) y 4 en diques (dos de ellos de la etapa pre-caldera). El objetivo principal de este estudio es caracterizar la fábrica magnética de los distintos

litotipos y establecer su equivalencia con distintos procesos petrogenéticos.

Estudio de la fábrica magnética (ASM)

El estudio de la fábrica magnética, a partir de la anisotropía de la susceptibilidad magnética (ASM), se ha llevado a cabo a partir del análisis de 411 muestras (un mínimo de 15 especímenes por estación). La medida de la ASM se ha realizado a temperatura ambiente en un susceptómetro Kappabridge KLY-3S (Universidad de Zaragoza) bajo un campo magnético débil de 300 A/m y 875 Hz. La identificación de las fases magnéticas presentes se ha realizado a partir de la medida de curvas de variación de la susceptibilidad con la temperatura bajo una atmósfera de argón y en el rango de medición entre 25 y 700° C (horno CS3, Universidad de Zaragoza).

Susceptibilidad magnética

Los valores promedio por estación de la susceptibilidad media (Km) oscilan en-

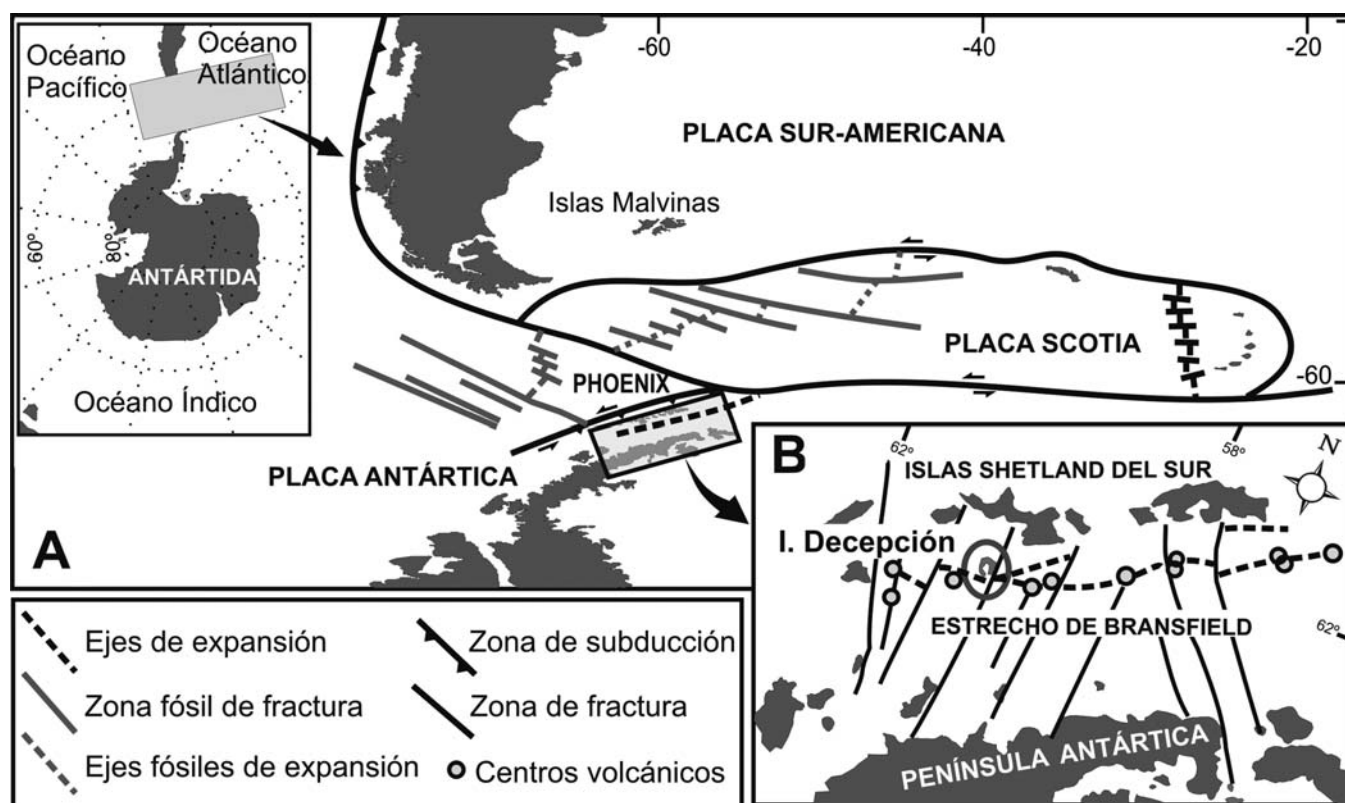


Fig. 1.- A) Marco tectónico regional del Arco de Scotia y de la zona NO de la Península Antártica. El Estrecho de Bransfield aparece recuadrado. B) Localización tectónica y geográfica de la Isla Decepción dentro del eje de expansión del Estrecho de Bransfield (modificado de Graud *et al.*, 1992; Rey *et al.*, 1997).

Fig. 1.- A) Regional tectonic framework of the Scotia Arc and northwestern Antarctic Peninsula regions. The Bransfield Strait area is marked by a box. B) Tectonic and geographical location of Deception Island within the spreading axis of the Bransfield Strait (modified from Graud *et al.*, 1992; Rey *et al.*, 1997).

tre 0,5 y 38×10^{-3} unidades SI. Aunque existe un claro control litológico sobre estos valores (los términos piroclásticos presentan los valores promedio más bajos ($< 4 \times 10^{-3}$ unidades SI) en relación a las coladas con valores entre 5 y 40×10^{-3} unidades SI), no ocurre lo mismo cuando se comparan, dentro de cada litotipo, los términos correspondientes a unidades pre- y post-caldera (Fig. 2B). En el caso de los diques analizados los valores oscilan entre 4 y 15×10^{-3} unidades SI. Una primera interpretación de estos datos sugieren una clara contribución de fases ferromagnéticas, que aumenta exponencialmente desde las rocas piroclásticas a las coladas. Desde el punto de vista de la mineralogía ferromagnética, los resultados del análisis termomagnético de muestras representativas (no incluidos en este trabajo) confirman una omnipresencia de titanomagnetita en todas las muestras, independientemente de las características litológicas.

Parámetros magnéticos

A excepción de las coladas donde existe un predominio de formas oblatas

de los elipsoides magnéticos, para las muestras postcaldera, destaca la amplia variabilidad de formas en el conjunto de las muestras analizadas. La comparación de los datos de los tres litotipos considerados muestra importantes diferencias en el grado de ordenamiento de la mineralogía magnética (grado de anisotropía P'). Como muestran los diagramas de anisotropía sintéticos (Fig. 2B), la fábrica magnética de los términos piroclásticos se caracteriza por el grado de anisotropía más bajo en contraposición con las coladas. La combinación de forma y grado de anisotropía habla del tipo de fábrica magnética que, a su vez, está condicionada por el proceso petrogenético concreto de cada litotipo.

Orientación de la fábrica magnética

Se ha realizado el análisis estadístico de los datos direccionales mediante el cálculo del *bootstrap* de las distintas estaciones siguiendo metodología de Constable y Tauxe (1990). Para determinar el grado de correspondencia entre la fábrica magnética y la petrofábrica, se ha representado la orientación media de la

superficie de emplazamiento (en el caso de términos lávicos y rocas piroclásticas) o de la pared, en el caso de los diques. La comparación de fábrica magnética y petrofábrica puede ser empleada, además, para determinar el carácter «normal» o «anómalo» de la fábrica magnética (Cañón-Tapia, 2004). En este trabajo, consideramos fábrica «normal» cuando los ejes K3 son perpendiculares a la superficie de emplazamiento o del dique, en el caso de fábricas magnéticas oblatas o cuando los ejes K2 y K3 definen una guirnalda perpendicular a la superficie y la lineación magnética (agrupamiento de ejes K1) está contenida en ella, definiendo la dirección de flujo.

A excepción de los diques BA3, BA8, FU5 y la colada FU7, la mayoría muestran un elevado grado de coaxialidad con la petrofábrica (Fig. 2A). En el caso de coladas (exceptuando FU7, de probable carácter inverso) y rocas piroclásticas, los ejes K3 son perpendiculares a la superficie de emplazamiento y los ejes K1 y K2 más o menos concentrados en función del carácter oblatos o prolato de la fábrica. En los diques se observa el patrón esperable en fábricas prolatas *s.l.*, con la lineación

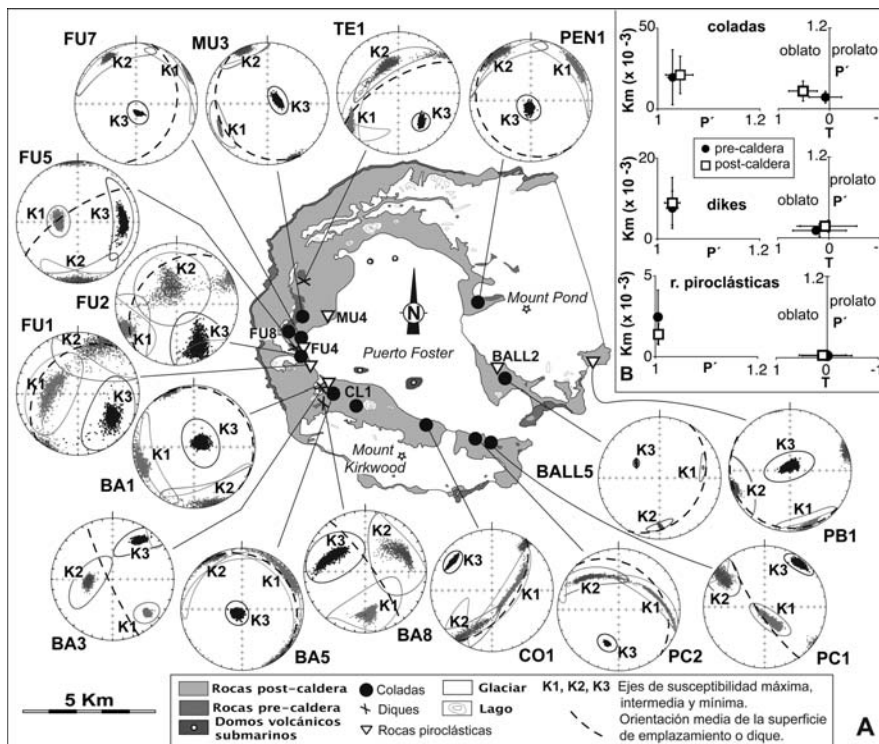


Fig. 2.- A) Datos direccionales del análisis de la ASM. Para cada estación se representa el bootstrap para los ejes de susceptibilidad máxima (K1), intermedia (K2) y mínima (K3) (según Constable y Tauxe, 1990).. B) Diagramas de anisotropía sintéticos y de Km frente a P' para cada uno de los litotipos considerados. Las barras de error para cada litotipo representan la desviación estándar de la media aritmética. Las estaciones del Tipo IV no han sido incluidas.

Fig. 2.- A) Directional data from the AMS analysis. For each site bootstrap (after Constable and Tauxe, 1990) for maximum (K1), intermediate (K2) and minimum (K3) susceptibility axes are plotted. B) Synthetic anisotropy and Km vs P' plots for the considered lithotypes. Error bars for each lithotype represent the standard deviations of the arithmetic mean. Sites corresponding to Type IV have not been included.

magnética contenida o próxima a la pared del dique y foliación magnética imbricada con respecto a éste.

Patrones magnéticos

Considerando los datos direccionales y los parámetros magnéticos de forma (T) y grado de anisotropía (P') de los elipsoides magnéticos se diferencian 4 patrones magnéticos con características diferentes (Fig. 3). Algunas estaciones (BALL5, MU3, PC2, CO1, BA5, TE1 y PEN1) están dominadas por elipsoides oblatos s.l. ($1 > T > 0$) con la foliación magnética paralela o muy próxima a la superficie de emplazamiento o a la pared del dique y un valor medio del parámetro P' de 1.039. Este patrón define el Tipo I y está representado por coladas y un dique. Un segundo grupo de estaciones (PC1, FU2, FU7, BA1, FU1 y PB1) se caracterizan por elipsoides triaxiales ($0,5 > T > -0,5$) y un valor medio del parámetro P' de 1.012. Exceptuando la estación FU7, de probable carácter inverso, vuelve a predominar el elevado grado de coaxialidad entre fábrica magnética y petrofábrica. Este patrón define el Tipo II e incluye coladas y términos piroclásticos. El patrón correspondiente al Tipo III es exclusivo de diques de composición dacandesítica (estaciones FU5, BA3 y BA8). En las tres predominan elipsoides prolato ($-1 < T < 0$), y un valor medio de 1.019 del parámetro P'. Los ejes K2 y K3 definen una guirnalda sub-perpendicular a la pared de los diques y la lineación magnética, con dé-

bil inmersión o subvertical, es próxima a la pared del dique. Un último grupo de estaciones (CL1, FU8, BALL2, FU4 y MU4) definen el Tipo IV, caracterizado por una ausencia de orientación preferente de los ejes de los elipsoides magnéticos pero un amplio rango de valores de P' (entre 1.004 y 1.060). Se incluyen tanto coladas escoriáceas (CL1 y FU8) como rocas

piroclásticas heterométricas con importantes cantidades de piroclastos de gran tamaño.

Significado petroestructural de los patrones de fábricas magnéticas

Los patrones magnéticos identificados responden a diferentes procesos

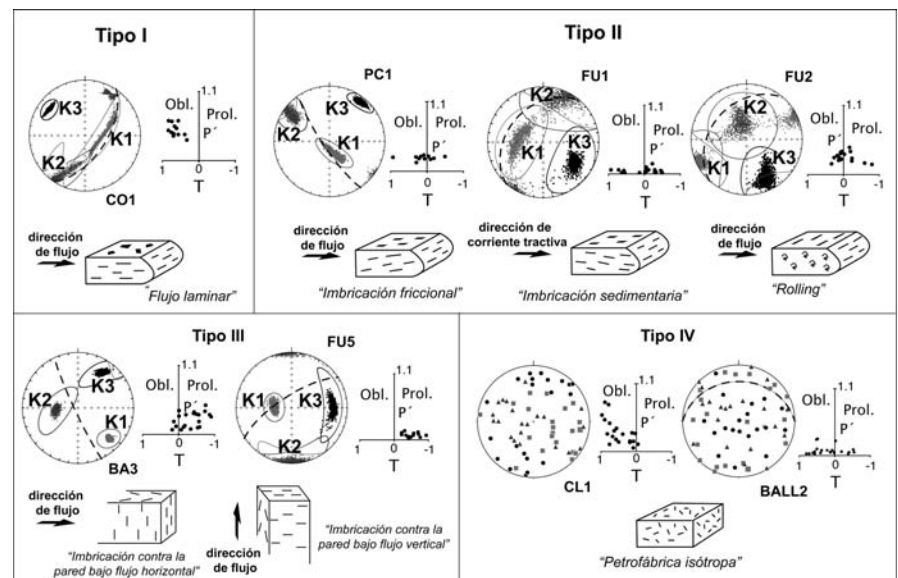


Fig. 3.- Los cuatro patrones magnéticos representativos encontrados en este trabajo. Excepto en el Tipo IV, se ha representado el bootstrap paramétrico de los datos direccionales del análisis de la anisotropía de la susceptibilidad magnética (ASM), los diagramas P'-T (diagramas de anisotropía) y un esquema del proceso petrogenético inferido. Explicaciones en el texto.

Fig. 3.- The four representative magnetic patterns found in this study. Excluding the Type IV the parametric Bootstrap of the directional AMS data, the P'-T diagram (anisotropy plot) and the inferred petrogenetic process are reported. See text for details.

involucrados en el desarrollo de la petrofábrica (Fig. 3). El Tipo I corresponde fundamentalmente a coladas y diques de carácter básico (basaltos y andesitas basálticas) pertenecientes a términos post-caldera. La fábrica magnética es, por tanto, compatible con flujo laminar responsable de un marcado carácter planar de la petrofábrica y un cierto grado de anisotropía, reflejado en el mayor valor medio del parámetro P' . El Tipo II incluye litotipos lávicos y piroclásticos de las etapas pre- y post-caldera con una fábrica de tipo plano-linear. En las coladas esta triaxialidad de la fábrica puede atribuirse a un carácter más viscoso de la lava (Cañón-Tapia, 2004). Sus patrones direccionales pueden interpretarse en términos de cinemática del flujo ígneo: i) lineación magnética paralela a la dirección de flujo y moderada imbricación por el efecto tanto de la fricción con el sustrato, en el caso de las coladas (estación PC1), como de procesos sedimentarios análogos a los responsables del desarrollo de laminaciones cruzadas bajo la influencia de corrientes tractivas, en el caso de depósitos piroclásticos (estación FU1) o ii) lineación magnética subperpendicular a la dirección del flujo y K2 paralelo a la dirección del flujo (estación FU2), patrón habitualmente relacionado al efecto de rodamiento («rolling») de partículas magnéticas de gran tamaño (Cañón-Tapia, 2004). El tercer tipo de fábrica magnética se asocia a diques. El patrón direccional (lineación magnética bien definida y la foliación, oblicua a la pared del dique) indica una fábrica condicionada por el efecto friccional de las paredes sobre el magma durante su emplazamiento (Cañón-Tapia, 2004). Finalmente el último patrón magnético diferenciado se asocia a un modelo de petrofábrica isótropo (ausencia de una orientación preferente de los ejes de los elipsoides magnéticos) propio tanto de términos lávicos escoriáceos (estación CL1) como de rocas piroclásticas muy heterométricas (estación BALL2). En el primer caso la ausencia de una fábrica anisótropa contrasta con los elevados valores del parámetro P' . El origen de esta fábrica hay que buscarlo en aspectos composicionales y texturales como lo son la presencia de

partículas de gran tamaño muy anisótropas. En estos casos un elevado grado de anisotropía del volumen de roca considerado puede estar controlado por la presencia de un reducido número de partículas de gran tamaño. En el caso de los términos piroclásticos, el origen de la fábrica se relaciona con procesos de caída directa de las partículas sin intervención de corrientes tractivas.

Conclusiones

Mediante el estudio de la fábrica magnética de rocas volcánicas recientes de la Isla Decepción (Islas Shetland del Sur) se han podido caracterizar los procesos petrogenéticos involucrados en el desarrollo de su petrofábrica. Se han analizado tres litotipos: coladas basálticas y andesíticas, diques y rocas piroclásticas. En cada caso están representadas unidades anteriores y posteriores al principal colapso sufrido por el edificio volcánico. La fábrica magnética de los términos lávicos está controlada tanto por el tipo de flujo (laminar vs. turbulento) como por las características reológicas (viscosidad) del magma, con o sin desarrollo de una lineación de partículas. Ésta puede estar condicionada por la propia cinemática del flujo (lineación magnética paralela a la dirección del flujo) o por la geometría de las partículas de gran tamaño (lineación perpendicular a la dirección del flujo materializada por rodamiento de partículas elongadas). Los diques muestran dos modelos de fábrica. En algún caso (magmas fluidos), una fábrica planar asociada a flujo laminar; y en otros, fábrica linear controlada por el efecto friccional de las paredes sobre el magma durante su movimiento. Los materiales piroclásticos, registran procesos sedimentarios similares, en algunos casos, a los responsables del desarrollo de laminaciones cruzadas en corrientes tractivas. La ausencia de una fábrica anisótropa se ha interpretado como consecuencia de la presencia de partículas anisótropas de gran tamaño y orientadas aleatoriamente a escala de muestra o relacionadas con el propio proceso de emplazamiento (caída de partículas). Los resultados de este trabajo demuestran las grandes posibilidades de la técnica de la

Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM) a la hora de proponer modelos petrogenéticos responsables de la configuración de la petrofábrica de litotipos volcánicos muy diversos desde el punto de vista composicional y genético.

Agradecimientos

Este trabajo se inscribe dentro de la Acción Complementaria CGL2007-28812-E/ANT (Estudios Paleo-magnéticos en la Isla Decepción y Testificaciones en Puerto Foster, Antártida) del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica del Ministerio de Educación y Ciencia. Los autores agradecen la revisión de Jorge Giner y el trabajo desinteresado de los editores de Geogaceta.

Referencias

- Baker, P.E., McReath, I., Harvey, M.R., Roobol, M.J. y Davies, T.G. (1975). *British Antarctic Survey, Scientific Reports*, 78, 81 p.
- Cañón-Tapia, E. (2004). En: *Magnetic Fabric: Methods and Applications* (F. Martín-Hernández, C. M. Lüneburg, C. Aubourg, C. y M. Jackson, Eds). Geological Society of London, Special Publications, 238, 205-225.
- Constable, C.G y Tauxe, L., (1990). *Journal of Geophysical Research*, 95, 8383-8395.
- Graud, M., Guterch, A. y Sroda, P. (1992). *Antarctic Science*, 4, 469-476.
- Keller, R.A., Fisk, M.R., White, W.M. y Birkenmajer, K. (1991). *Earth and Planetary Science Letters*, 111, 287-303.
- Rey, J., Somoza, L., Martínez-Frias, J., Benito, R. y Martín-Alfageme, S. (1997). En: *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits* (K. Nicholson, J.R. Hein, B. Bühn. y S. Dasgupta, Eds). Geological Society, Special Publication, 119, 239-251.
- Smellie, J.L. (2001). *Antarctic Science*, 13, 188-209.
- Valencio, D.A., Mendía, J.E. y Vilas, J.F. (1979). *Earth and Planetary Science Letters*, 45, 61-68.