

Propiedades magnéticas del depósito detrítico de la cueva del Granito (Valle de Bujaruelo, Zona Surpirenaica), observaciones preliminares

Magnetic properties of the detrital deposit of the Granite Cave (Bujaruelo Valley, Central Pyrenees)

Belén Oliva-Urcia^{1*}, Pablo Calvín², Adriana Rodríguez-Pintó³

¹ Departamento Ciencias de la Tierra, Grupo Geotransfer (IUCA). Universidad de Zaragoza. boliva@unizar.es

² Grupo Paleomag-UBU. Escuela Politécnica Superior, Dpto. de Física. Burgos. calvinballester@gmail.com

³ Geóloga freelance. adrianaropi14@gmail.com

*Corresponding author

ABSTRACT

This work presents the magnetic properties analyzed in the detrital deposit of the Granito Cave, located in the Bujaruelo Valley, Southpyrenean Zone. The cave has a sub-horizontal development in carbonatic rocks of Paleocene-Eocene age. Inside, there are different deposits of chemical origin as stalagmites (the oldest is dated as 153.6 +/- 1.2 ky, MIS6, Bartolomé et al., 2021), flows and flags and a detrital sequence of 60m along the whole cavity. The sediments are mainly composed by clays, silts and sands and are finely laminated. Three main facies are observed, backswamps, slackwater and channel, related to the processes of cut and fill in response to the snow melt or precipitations. Among the sedimentary structures there are horizontal laminations, cross-bedding laminations, climbing ripples, and liquefaction structures, the last ones probably linked to the increase in the hydrostatic charge. The concentration of the ferromagnetic minerals varies along the sedimentary sequence, diminishing towards the top. The main carrier seems to be magnetite (results of the thermomagnetic curves), but the values of the S-ratio indicate the presence of a high coercivity mineral too (goethite and/or hematite). The relationship of the magnetic properties with the geochemical information will help determine the paleoenvironmental implications of those magnetic parameters.

Key-words: rock magnetism, paleoenvironment.

RESUMEN

En este trabajo se presentan las propiedades magnéticas analizadas en el depósito detrítico de la Cueva del Granito localizada en el valle de Bujaruelo, Zona Surpirenaica. La cueva, con un desarrollo pseudo-horizontal se abre en materiales carbonatados de edad Paleoceno-Eoceno. Dentro, aparecen diversos depósitos internos de origen químico como estalagmitas (la más antigua datada 153.6 +/- 1.2 ka, MIS6, Bartolomé et al., 2021), coladas y banderas, destacando los depósitos de la secuencia detrítica de 60 m que aparecen a lo largo de toda la cavidad. Los sedimentos están formados principalmente por arcillas, limos y arenas finamente laminados, y se diferencian tres tipos diferentes de facies, backswamps, slackwater y channel, relacionadas con los procesos de llenado y vaciado de la cavidad en respuesta a la fusión de la nieve o a precipitaciones en el pasado. Entre las estructuras sedimentarias destacan los limos finamente laminados, estratificaciones cruzadas, climbing ripples y estructuras de licuefacción, estas últimas, ligadas probablemente al aumento de carga hidrostática debido al llenado con agua de la cavidad. La concentración de los minerales ferromagnéticos varía a lo largo de la serie, disminuyendo en la parte alta. El mineral predominante parece ser magnetita (curvas termomagnéticas), aunque los valores del S-ratio indican la presencia de mineral de alta coercitividad (goetita y/o hematitas). La relación de las propiedades magnéticas con el tipo de material y la información geoquímica disponible, permitirá determinar las implicaciones paleoambientales de dichos parámetros magnéticos.

Palabras clave: magnetismo de rocas, paleoambiente.

Geogaceta, 75 (2024), 19-22

<https://doi.org/10.55407/geogaceta100840>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 7/07/2023

Fecha de revisión: 24/10/2023

Fecha de aceptación: 24/11/2023

Introducción

El análisis de las propiedades magnéticas de sedimentos y rocas se utiliza para investigar la formación, transporte, depósito y alteraciones postdepósito de los minerales magnéticos bajo la influencia de procesos ambientales variados. Esta línea de investigación se ha desarrollado considerablemente a partir de la década de los años 1970, y tiene aplicaciones en cambio climático, contaminación de aire y suelos, y procesos diagenéticos, en-

tre otras (Evans y Heller, 2003; Liu et al., 2012;). El magnetismo ambiental engloba una serie de análisis de propiedades magnéticas que permiten inferir cambios paleoambientales y en ocasiones permiten un análisis relativamente rápido de secuencias sedimentarias que ponen de manifiesto esas variaciones paleoambientales de manera única, debido a la extrema sensibilidad del método. Normalmente, se usan como complemento a otros análisis geoquímicos, biológicos, etc. (Verosub y Roberts, 1995).

El objetivo del trabajo que aquí se presenta es por un lado, comparar medidas de propiedades magnéticas de muestras individuales (discretas), con las medidas de muestras continuas (tomadas en *u-channel*, con ese nombre por el tipo de portamuestras utilizado) y por otro lado, determinar si los cambios que se perciban en esas propiedades tienen relación con cambios paleoambientales. Hay que tener en cuenta que los procesos sedimentarios en los sistemas kársticos pueden tener unos condicionantes

particulares al desarrollarse en sistemas que pueden quedar cerrados. Además, se espera comprobar por medio de la fábrica magnética, si la extracción de las muestras discretas modifica la orientación mineral.

La cueva del Granito y sus depósitos internos

La Cueva del Granito ($42^{\circ} 39' 58''\text{N}$, $0^{\circ} 7' 01''\text{O}$, 1270 m s.n.m.) se localiza en el valle de Bujaruelo (río Ara), en el Pirineo Central (Fig. 1). La temperatura media anual es $8,4^{\circ}\text{C}$ siendo la precipitación media anual de en torno a 900 mm. El actual relieve es el resultado de la combinación de procesos fluviales, glaciares y kársticos durante el Cuaternario sobreimpuestos a la estructura tectónica del Pirineo (Bartolomé *et al.*, 2021 y referencias). La cueva se abre en calizas del Paleoceno-Eoceno, en la unidad basal del Grupo Gallinera (Robador *et al.*, 2010), las cuales están involucradas en el sistema de pliegues y cabalgamientos de cobertera de Larra-Monte Perdido de las Sierras Interiores, de orientación pirenaica ($\text{N}110^{\circ}\text{E}$) desarrollados en el Eoceno medio-superior. La cueva, de desarrollo sub-horizontal, recibe su nombre por los cantos graníticos que contiene en su interior provenientes del batolito de Panticosa- Cauterets (Debon, 1972), localizado a unos 9 km al NW de la entrada de la cueva. La boca se localiza unos 84 m por encima del cauce actual del río Ara. La cueva se formó antes de los 154 ka, tal como evidencia la datación de los espeleotemas más antiguos (Bartolomé *et al.*, 2021). En su interior los principales depósitos son de tipo clástico (gravas, arenas, limos y arcillas) y químicos (estalagmitas, estalactitas, banderas y coladas). La distribución y disposición de los sedimentos clásticos evidencia que la cueva estuvo completamente rellena (Bartolomé *et al.*, 2021).

La secuencia detrítica

La secuencia detrítica fue datada con luminiscencia (IRSL) y arrojó una edad en la base de $71,8 \pm 5,6$ ka, mientras que una datación próxima a techo dio una edad de $26,5 \pm 2,5$ ka (Bartolomé *et al.*, 2021). Estas edades fueron corroboradas con la datación de espeleotemas pre- y post-depósito ($76,0 \pm 0,5$ ka y $11,3 \pm 2,0$ ka respectivamente). El origen del relleno de sedimentos se relaciona con el agua

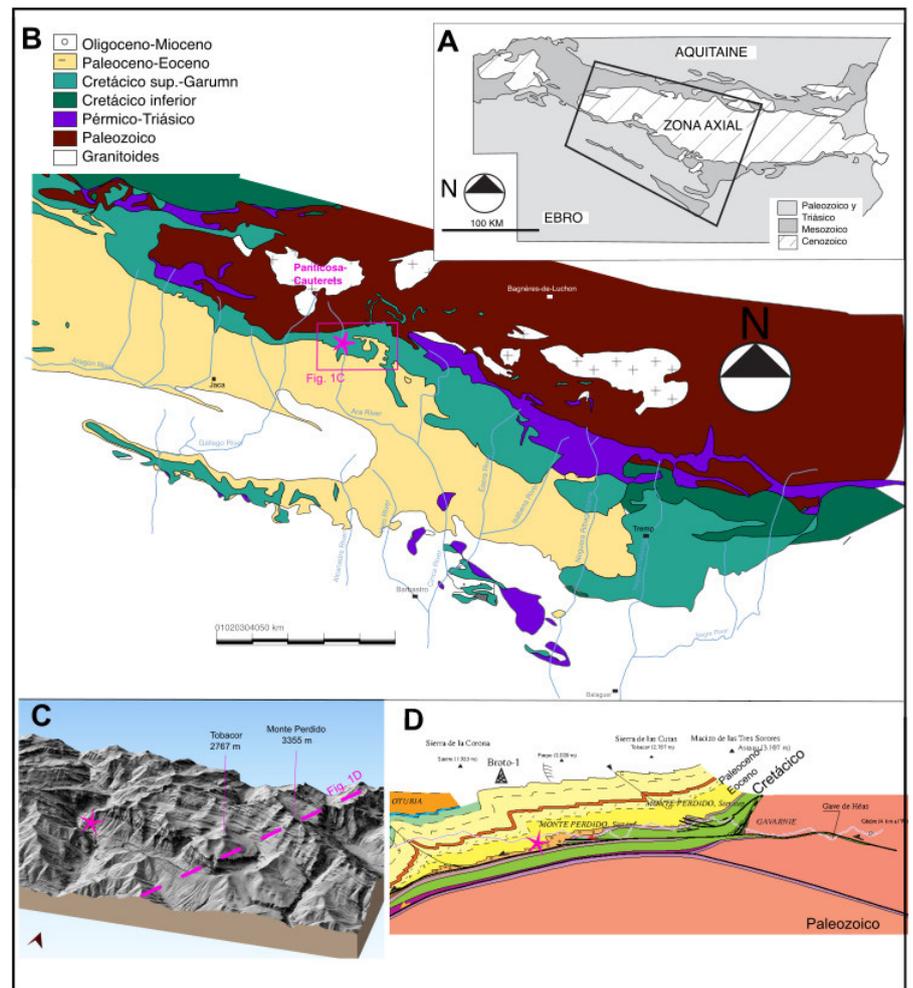


Fig. 1.- A y B. Mapa geológico de los Pirineos, donde se localiza la cueva con una estrella. C. Modelo digital del terreno (QGIS) donde se ha proyectado la localización de la cueva y el corte geológico que aparece en D. Corte geológico esquemático (Oliva Urcia, 2004). Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- A and B Geological map of the Pyrenees and location of the cave with a star. C. DMT (QGIS) with the location of the cave and the geological cross-section of D (Oliva Urcia, 2004). See color figure in the web.

estancada en la cueva al mismo tiempo que la presencia de hielo glacial en el valle del Ara bloqueaba la entrada de la cueva (Bartolomé *et al.*, 2021). Este bloqueo se corresponde con la Máxima Extensión de Hielo local en el Pirineo Central. La mineralogía del relleno indica una procedencia exógena en relación con el *till* glacial que recubría la ladera sobre la cueva y a lo largo del valle del río Ara. Las características estratigráficas y sedimentológicas (7 tipos de facies diferentes), permitieron definir 3 unidades litoestratigráficas. El vaciado del sedimento tuvo lugar antes de los $14,9 \pm 1,5$ ka, edad correspondiente a la morrena lateral localizada por debajo de la entrada de la cueva (Bartolomé *et al.*, 2021).

Metodología

El muestreo se ha realizado de manera continua, tras la limpieza de sucesivas

superficies verticales a lo largo de la secuencia sedimentaria (Unidades litoestratigráficas 2 y 3), y utilizando *u-channels* cortados y adaptados a la longitud de la sección a muestrear. En algunos sectores se han muestreado secciones solapadas en la vertical con el fin de facilitar la correlación así como observar posibles variaciones laterales en sus propiedades magnéticas. Además, se ha realizado de manera paralela un muestreo discontinuo utilizando un extractor de blandos, obteniendo muestras discretas cilíndricas en cajas de plástico (cada 10 cm) y muestras discretas cilíndricas en cajas de vidrio (Figs. 2 y 3); las primeras serán usadas para comparar con los datos magnéticos en continuo de los *u-channels*, mientras que las segundas están destinadas a la realización de experimentos térmicos. Con la ayuda de un distanciómetro laser se calculó la posición (x, y, z) de puntos



Fig. 2.- Sección de afloramiento con laminación donde se han extraído el *u-channel* y las muestras cilíndricas discretas. Se ha marcado la sección cada 10 cm (etiquetas naranjas).

Fig. 3.- Laminated outcrop where *u-channel* has been extracted in addition to discrete cylindrical samples. The orange marks are located every 10 cm.

seleccionados a lo largo de las secciones muestreadas, permitiendo situar con detalle todas las muestras analizadas a lo largo del conjunto de 26 m de relleno sedimentario muestreado.

Los análisis en los *u-channels* se realizarán en el laboratorio de paleomagnetismo de la Universidad de Vigo, e incluyen la medida de la magnetización remanente natural (NRM), la desmagnetización por campos alternos (AF), la aplicación de una magnetización remanente anhisterética (ARM) en un campo AF de 100 mT y un DC de 50 mT. Además, se aplican 3 magnetizaciones remanentes isotérmicas (IRM) a 1 T, 300 mT y 150 mT (IRM@0.3, IRM@0.15). Las dos segundas se han aplicado tras saturar en sentido contrario el *u-channel* con un campo de 1T (IRM@1). El mismo protocolo se realiza en las muestras dis-



Fig. 3.- Toma de medidas de orientación de las muestras discretas.

Fig. 3.- Sampling and orienting discrete samples.

cretas que fueron medidas en la Universidad de Burgos. La fábrica magnética y la susceptibilidad magnética también han sido medidas en parte de las muestras discretas en la Universidad de Zaragoza. Se han seleccionado muestras discretas para analizarlas en la balanza de traslación de campo variable (VFTB por sus siglas en inglés) (Petersen Instruments). Las variaciones de la ARM, IRM, S-ratio (IRM@0.3 / IRM@1), HIRM (IRM@1 – IRM@0.15) y SIRM/ARM se han calculado para deducir concentraciones de minerales de alta (como hematites, goetita) y baja coercitividad (como magnetita, maghemita). La ARM representa la concentración de minerales de coercitividad baja (como magnetita), mientras que la HIRM refleja la concentración de minerales de alta coercitividad (Hunt *et al.* 1995; Oldfield 1991). El S-ratio cuando es cercano al valor 1 indica el predominio de minerales de coercitividad baja.

Resultados y discusión

Los análisis de la anisotropía de la susceptibilidad magnética (fábrica magnética) en las muestras discretas indican que los métodos de extracción no modifican la orientación mineral, ya que los ejes del elipsoide máximo e intermedio (puntos en azul y verde en la Fig. 4) se distribuyen en el plano horizontal, lo esperado en una fábrica sedimentaria.

Los resultados muestran variaciones de las propiedades magnéticas a lo largo de la secuencia sedimentaria. El efecto de borde en las medidas se ha revelado llamativo. En torno a 10 – 15 cm en las medidas de los extremos del *u-channel* están afectadas por el suavizado auto-

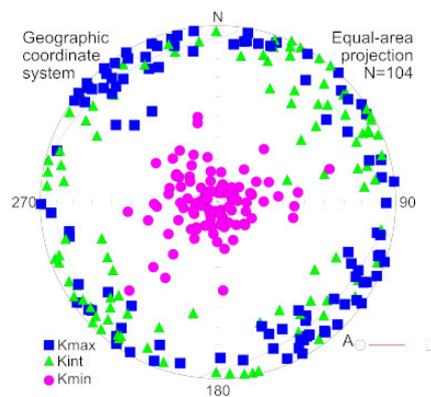


Fig. 4.- Proyección estereográfica de los tres ejes del elipsoide magnético. Ver figura en color en la web.

Fig. 4.- Stereographic projection of the three. See figure color in the web.

mático de las medidas. Las variaciones rítmicas de las propiedades magnéticas se mantienen dentro de un rango (NRM: 2.5 e-6, 2 e-5 emu, ARM: 2 e-5 -4 e-5 emu y 200-700 e-6 SI para la susceptibilidad magnética), aunque parecen disminuir hacia el techo del perfil muestreado (susceptibilidad magnética en muestras discretas, ARM en *u-channels*). El mineral magnético predominante parece ser un ferromagnético “blando” (Fig. 5) aunque el valor de S-ratio varía entre 0.3 y 0.6, que queda lejos del valor 1 que se observa en sedimentos donde hay predominio de magnetita (maghemita).

Conclusiones

Los resultados de las propiedades magnéticas indican variaciones periódicas a lo largo de la serie detrítica fina con laminaciones. Las variaciones son similares entre las medidas en continuo (*u-channel*) y las muestras discretas. Hay minerales de coercitividad baja (magnetita) y alta (goetita y/o hematites). Los métodos de extracción no modifican la fábrica sedimentaria. La comparación con los datos sedimentológicos y geoquímicos de Bartolomé *et al.* (2021) permitirán relacionar esas variaciones con los cambios paleoambientales.

Contribución de los autores

Todos los coautores han participado en el trabajo de campo y muestreo. A. Rodríguez-Pintó, P. Calvin y B. Oliva Urcia han realizado el trabajo de laboratorio. M. Bartolomé (no aparece en listado de autores por firmar otro trabajo presentado en este volumen) y B. Oliva Urcia han ideado y elaborado este manuscrito, que ha sido revisado y aprobado por el resto de coautores.

Agradecimientos

Las medidas se han realizado en colaboración con los laboratorios de paleomagnetismo de las Universidades de Vigo - C.A.C.T.I. y de Burgos, y con personas que integran el Grupo de investigación Geotransfer-IUCA de la Universidad de Zaragoza, y el Grupo de Paleoambientes cuaternarios IPE-CSIC. Gracias a la financiación del Grupo de Investigación de la Universidad de Zaragoza Geotransfer-IUCA. El apoyo de María Leunda ha sido indispensable en el trabajo de campo.

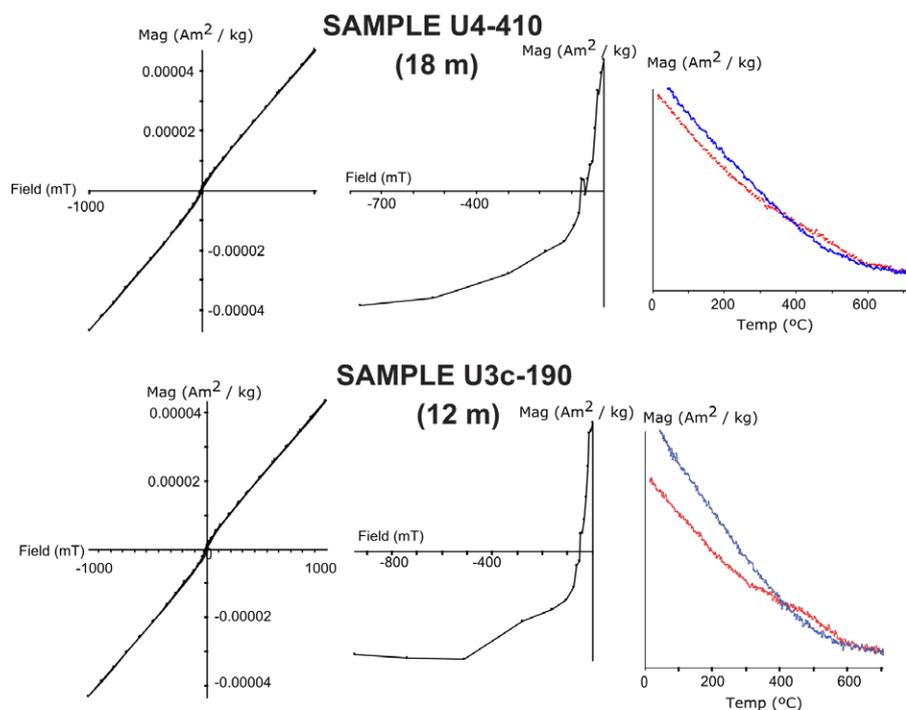


Fig. 5.- Selección de muestras analizadas en la balanza de traslación de campo variable (VFTB). La columna de la izquierda muestra los ciclos de histéresis, la columna central muestra la coercitividad de la remanencia, y la columna de la derecha las variaciones de la magnetización inducida con la temperatura. Se especifica el número de muestra y la altura a la que se encuentra dentro del perfil. Estos análisis indican la presencia de magnetita y minerales paramagnéticos (filosilicatos).

Fig. 5.- Selected samples analyzed in the Variable field balance (VFTB). The left column shows the hysteresis loops, the central column the coercivity of the remanence, and the right column the variation of the induced magnetization with temperature. Number of sample is specified. These analyses indicate the presence of magnetite and paramagnetic minerals (phyllosilicates).

Miguel Bartolomé no figura como autor de este artículo por presentar otro. La normativa no lo permite. Sin su dedicación y esfuerzo, este trabajo no hubiera sido posible.

Referencias

Bartolomé M, Sancho C, Benito G, Medialdea A, Calle M, Moreno A, Leunda M, Luetscher M, Muñoz A, Bastida J,

Cheng H (2021). *Catena*, 206.

<https://doi.org/gmzskx>

Debon, F. (1972). *Carte géologique au 1/50,000 et Notice Explicative*. Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans, France.

Evans, M., y Heller, F. (2003). *Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics*. Elsevier.

Hunt, C. P., Banerjee, S. K., Han, J., Solheid, P. A., Oches, E., Sun, W., y Liu, T. (1995).

Geophysical Journal International, 123(1), 232-244. <https://doi.org/gmzskx>

Liu, Q., Roberts, A. P., Larrasoana, J. C., Banerjee, S. K., Guyodo, Y., Tauxe, L., y Oldfield, F. (2012). *Reviews of Geophysics*, 50(4).

<https://doi.org/gpb2r4>

Oldfield, F. (1991). Environmental magnetism—a personal perspective. *Quaternary Science Reviews*, 10(1), 73-85.

<https://doi.org/chqvgz>

Oliva Urcia, 2004. *Geometría y cinemática rotacional en las Sierras Interiores y Zona Axial (sector de Bielsa) a partir del análisis estructural y paleomagnético*. Tesis doctoral, Univ. Zaragoza 290pp.

Robador AL, Samsó JM, Pujalte V, Oliva B, Gil I, Soto R, Payros A, Rosales I, Tosquella Angrill J. (2010). *Cartografía Geológica a Escala 1: 25.000 del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y su Aplicación a la Gestión e Interpretación del Medio Natural del Parque Nacional*. Proyectos de Investigación en Parques Nacionales: 2006-2009. 2010:7-28

Verosub, K. L., and A. P. Roberts (1995). *J. Geophys. Res.*, 100, 2175– 2192.

<https://doi.org/fdvn2g>