# Incisión fluvial a partir del conjunto multinivel de cuevas de La Galiana (Parque Natural del río Lobos, Soria)

***Fluvial incision from La Galiana multilevel cave system (Río Lobos Natural Park, Soria, Spain)***

**Alfonso Dodero[1], Miguel Bartolomé[2], Carlos Sancho[1], Ana Moreno[2], Belén Oliva-Urcia[3], Alfonso Meléndez[1], Eugenio Sanz[4], Larry Edwards[5] y Hai Cheng[5]**

[1] Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España.
alfdodero@gmail.com, csancho@unizar.es, amelende@unizar.es

[2] Departamento de Procesos Geoambientales y Cambio Global, Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC. Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza, España.
mbart@ipe.csic.es, amoreno@ipe.csic.es

[3] Departamento de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid. Francisco Tomás y Valiente 7, 28049 Madrid, España. belen.oliva@uam.es

[4] Ingeniería y Morfología del Terreno, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Profesor Aranguren 3, 28040 Madrid, España. eugenio.sanz@upm.es

[5] Department of Geology and Geophysics, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455, USA. edwar001@umn.edu, cheng021@umn.edu

***ABSTRACT***

*La Galiana endokarstic system (Cañón del río Lobos, Iberian Ranges, Soria province) is constituted by three staircase horizontal galleries (La Galiana Alta, La Galiana Baja and the Cueva del Lago) located at 1099, 966 and 953 m a.s.l. respectively. These three levels correspond to distinct stages of stabilized water-table linked to local fluvial evolution of their base levels. Geomorphic context and palaeomagnetic data display that flowstones in La Galiana Alta are older than 3.596 Ma. The oldest U-series age obtained in speleothems from La Galiana Baja gallery is ca. 224 ka. Altitude differences between galleries (133 and 13 m, respectively) and obtained ages allow us to calculate maximum fluvial incision rates between 39 and 58 mm/ka.*

***Key-words:*** *Karstic evolution, fluvial downcutting, Pliocene-Quaternary, Iberian Range.*

***RESUMEN***

*El conjunto endokárstico de La Galiana (Cañón del río Lobos, Cordillera Ibérica, provincia de Soria) está formado por tres niveles de galerías horizontales (La Galiana Alta, La Galiana Baja y Cueva del Lago) localizadas a 1099, 966 y 953 m s.n.m. respectivamente. Representan niveles de estabilización de la superficie freática y su nivel de base fluvial. El contexto geomorfológico y los datos paleomagnéticos indican que coladas estalagmíticas de La Galiana Alta son anteriores a los 3,596 Ma. Por otro lado, la edad U/Th más antigua obtenida en espeleotemas de La Galiana Baja es de 224 ka. Las diferencias altimétricas entre galerías (133 y 13 m) y edades obtenidas permiten calcular tasas máximas de encajamiento fluvial entre 39 y 58 mm/ka.*

***Palabras clave:*** *Evolución kárstica, encajamiento fluvial, Plioceno-Cuaternario, Cordillera Ibérica.*

*Geogaceta, 58 (2015), 111-114*
*ISSN (versión impresa): 0213-683X*
*ISSN (Internet): 2173-6545*

*Fecha de recepción: 28 de enero de 2015*
*Fecha de revisión: 29 de abril de 2015*
*Fecha de aceptación: 15 de mayo de 2015*

## Introducción

Los sistemas endokársticos con diferentes niveles topográficos horizontales presentan un alto interés en estudios de evolución del relieve (Stock *et al*., 2005; Wagner *et al*., 2011; Moseley *et al.* 2013; Ortega *et al*., 2013). Cada nivel marcaría la posición de la superficie freática en un momento determinado que, a su vez, coincidiría con la posición altimétrica del drenaje externo que constituiría el nivel de descarga del sistema (Stock *et al*., 2005). Así, la evolución de estos sistemas endokársticos permite cuantificar la evolución del relieve en términos de encajamiento de la red fluvial.

El conjunto endokárstico de La Galiana, en el Parque Natural del Cañón del río Lobos (provincia de Soria), ha sido objeto de estudios anteriores principalmente de carácter hidrogeológico (ver Sanz *et al*., 2013).

La red subterránea está compuesta por tres niveles de galerías horizontales cuya evolución está determinada por el encajamiento del sistema fluvial Lobos-Ucero. En este trabajo, a partir de la posición altimétrica de las diferentes galerías respecto al cauce actual y de la datación numérica y relativa de depósitos internos, se calculan tasas de incisión fluvial en este sector de la Cordillera Ibérica.

## Área de estudio

El endokarst de La Galiana se sitúa junto al municipio de Ucero (Fig. 1A). Desde el punto de vista geológico (Fig. 1B) el área se localiza en el límite sur de la Cuenca de Cameros occidental (Cordillera Ibérica) cerca del contacto con la Cuenca terciaria de Almazán (Quintero *et al*., 1981). El conjunto de galerías aparece en una serie monoclinal de carbonatos del Cretácico Superior, de unos 200 m de espesor, inclinada hacia el noreste. Este sustrato está afectado por una superficie de erosión correlacionable con el nivel SE2 de Benito-Calvo y Pérez-González (2007), de edad Mioceno

Copyright© 2015 Sociedad Geológica de España / www.geogaceta.com

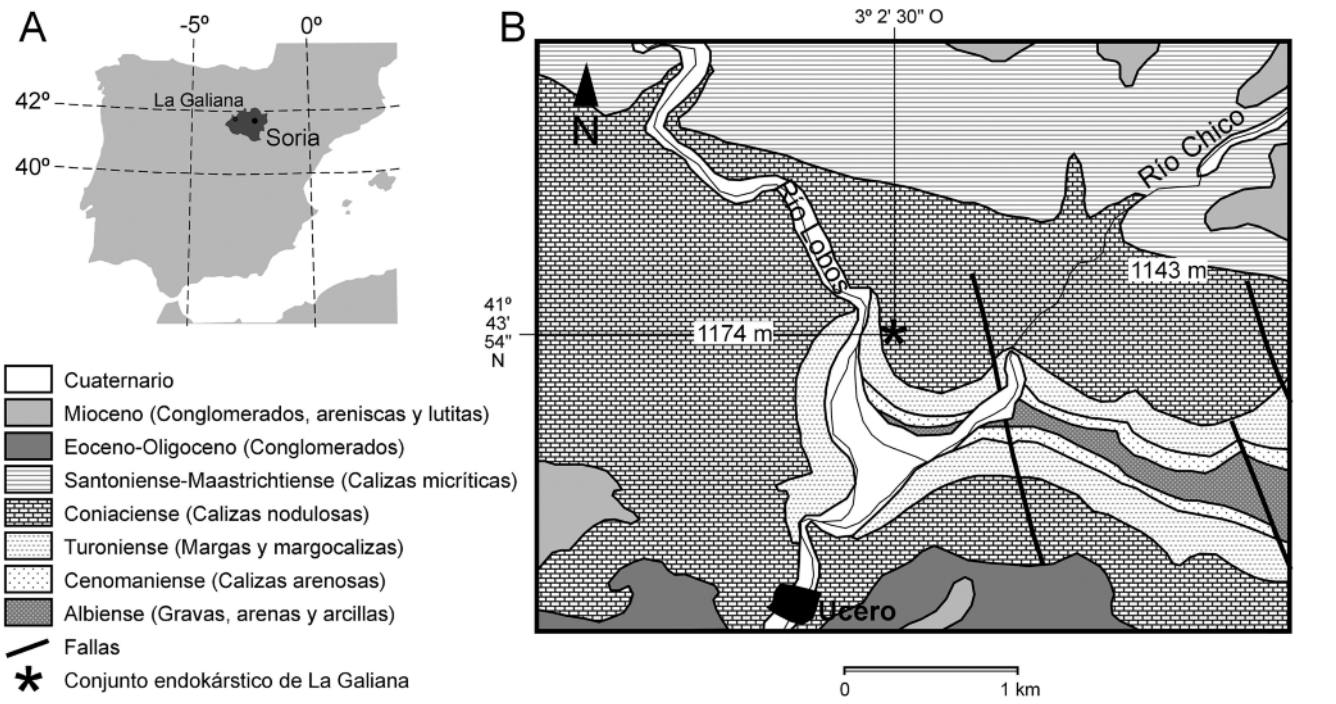


**Fig. 1.- A) Localización del área de estudio y B) marco geológico (Quintero *et al.*, 1981) del conjunto endokárstico de La Galiana.**

***Fig. 1.- A) Location of the study area and B) geological context (Quintero* et al.*, 1981) of the La Galiana endokarstic system.***

medio, equivalente a la Superficie de Erosión Intramiocena de Rodríguez-García (2008).

## Metodología

El plan de trabajo incluyó el reconocimiento de campo del conjunto endokárstico de La Galiana. Junto a la posición topográfica de las entradas de las diferentes galerías, medida con un GPS, se realizó un reconocimiento morfoestratigráfico de sus depósitos internos. Se muestrearon las formaciones consideradas más antiguas de cada galería, de cara a obtener edades mínimas de desarrollo de las mismas.

Por un lado, se determinó la polaridad magnética de una colada estalagmítica en el Laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad de Burgos. La polaridad fue determinada a partir de una desmagnetización por pasos, de tipo térmico (hasta 625 ºC) y por campos alternos (hasta 100 mT) de las muestras. La medida de la remanencia se realizó con un magnetómetro criogénico 2G con bobinas acopladas para desmagnetizar la muestra en 3 ejes por campos alternos de intensidad creciente. La desmagnetización térmica se efectuó en un equipo ASC SCIENTIFIC modelo TD48-DC. Por otro lado, muestras de espeleotemas se prepararon y analizaron en los laboratorios de la Universidad de Minnesota (EEUU) para obtener finalmente su datación a partir de series de desintegración del Uranio mediante un MC-ICP-MS (Thermo-Finnigan™ Neptune).

## Resultados y discusión

*Características y posición altimétrica de las galerías*

El conjunto endokárstico de La Galiana está compuesto por tres cuevas conocidas como La Galiana Alta, La Galiana Baja y Cueva del Lago situadas a niveles topográficos diferentes respecto al talveg del río Lobos (Fig. 2A). Las tres galerías se superponen casi en la vertical (Fig. 2B) existiendo un pequeño desplazamiento hacia el norte desde el nivel superior al inferior controlado, a priori, por el buzamiento de la serie estratigráfica.

La Galiana Alta es una cavidad fósil mientras que La Galiana Baja presenta actividad vadosa en épocas de lluvias intensas. Por otro lado, la Cueva del Lago funciona como punto de descarga actual del acuífero kárstico que alimenta al río Ucero-Lobos. Tanto La Galiana Alta como La Galiana Baja presentan desarrollo básicamente horizontal (Fernández-Tabera, 1985), y corresponden a cavidades de conducto único con patrón angular. La entrada de La Galiana Alta se encuentra a 1099 m s.n.m. y posee un desarrollo longitudinal de 223 m. Se trata de un tubo freático incidido posteriormente en condiciones vadosas (Fig. 3A) parcialmente rellenado de sedimentos fluviales y coladas estalagmíticas (Fig. 3B). Por otro lado, la entrada de La Galiana Baja se ubica a 966 m s.n.m. y presenta una longitud de 1330 m. Es la galería de mayor desarrollo y muestra secciones y morfologías erosivas propias de circulación forzada (Fig. 3C). Alternan sectores con dominio de espelotemas (Fig. 3D) con otros en los que aparecen sedimentos arcillosos fluviales (Fig. 3C). En el tramo más interno son frecuentes los depósitos de caída gravitacional. Finalmente, la Cueva del Lago se desarrolla a 953 m s.n.m., con una longitud de 89 m, y muestra un sector permanentemente inundado.

*Datos cronológicos*

En la base de La Galiana Alta aparecen depósitos fluviales alóctonos recubiertos por una potente colada estalagmítica, que han sido objeto de un análisis paleomagnético. Los sedimentos detríticos no ofrecieron datos concluyentes, mientras que la colada presenta claramente polaridad inversa (Fig. 4). La colada es posterior a la formación del conducto y éste se desarrolla después de configurarse la superficie de erosión del Astaraciense (Benito-Calvo y

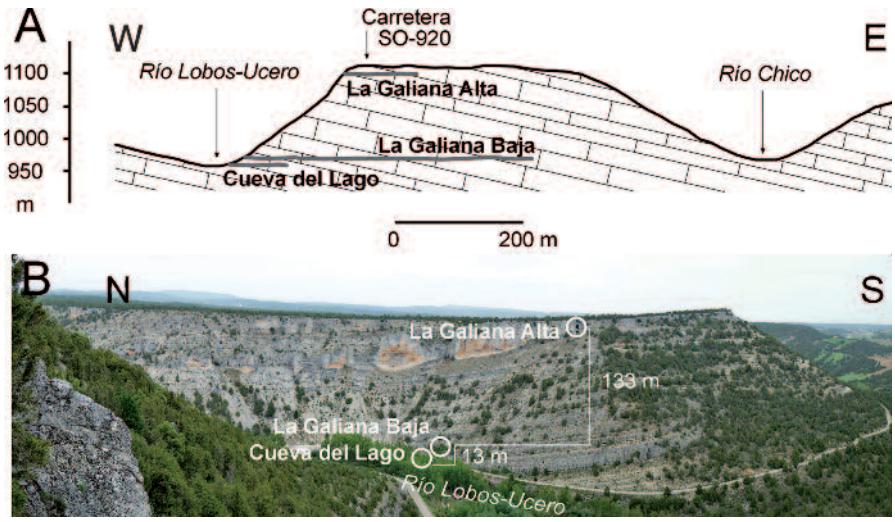


**Fig. 2.- A) Perfil con situación de los niveles de galerías y B) posición topográfica de las entradas de cuevas que componen el conjunto endokárstico de La Galiana**

***Fig. 2.- A) Profile showing the position of the galleries and B) topographic location of cave entrances composing La Galiana endokarstic system.***

Pérez-González, 2007). Además, la formación de la cavidad requiere de un grado de incisión significativo. Regionalmente, Benito-Calvo y Pérez-González (2007) sitúan el inicio de la exhumación de la superficie anterior, y por tanto de la incisión del drenaje, al final del Turoliense. Por otro lado, la misma colada ha suministrado una edad U/Th que supera el límite del método (> 600 ka) (Tabla I).

La Galiana Baja presenta sectores con una gran variedad de desarrollos espeleotémicos. La edad U/Th más antigua disponible corresponde a una colada estalagmítica datada en 224 ± 15 ka (MIS 7), mientras que la fase estalagmítica principal tiene una edad de 78 ± 0,3 ka (MIS 5) (Tabla I).

No existe una relación cronológica directa entre alturas similares de las superficies paleofreáticas y los niveles de terrazas cuaternarias del sistema fluvial Ucero-Duero. En efecto, la formación de La Galiana Baja (+13 m) es anterior a 224 ka, mientras que terrazas de diferentes ríos en la cuenca de Almazán (incluido el río Ucero) situadas a una altura relativa similar tienen edad Pleistoceno superior (Rodríquez-García, 2008). Así, estimamos que la formación de La Galiana Alta (+146) sería anterior al desarrollo de terrazas cuaternarias con alturas relativas similares. En definitiva, considerando el contexto evolutivo regional, relacionamos el depósito de la colada estalagmítica de La Galiana Alta con el Cron Gilbert (6,033-3,596 Ma) (Ogg, 2012) dentro del Plioceno.

*Tasas de encajamiento fluvial*

Considerando las alturas de las entradas de La Galiana Alta y La Galiana Baja y de la Cueva del Lago, la diferencia altimétrica entre las dos primeras es de 133 m, mientras que entre las dos segundas es de 13 m.

Por otro lado, con los datos disponibles, La Galiana Alta se formaría antes de 3,596 Ma (techo del Cron Gilbert) y La Galiana Baja, antes de 224 ka. Como consecuencia, el tiempo transcurrido entre el desarrollo de las dos galerías es, como mínimo, del orden de 3.372 ka. Por otro lado, el rebajamiento desde La Galiana Baja hasta la Cueva del Lago, localizada al mismo nivel que el río Ucero, se produce como mínimo en un lapso de tiempo de 224 ka. Como consecuencia, las tasas de encajamiento fluvial calculadas corresponden a valores máximos.

Considerando los datos espaciales y temporales establecidos, la tasa de incisión fluvial máxima entre La Galiana Alta y La Galiana Baja es de unos 39 mm/ka, y entre La Galiana Baja y el cauce actual del río Ucero es de 58 mm/ka. Estas tasas calculadas se aproximan a las indicadas en otros sistemas endokársticos multinivel (Fei *et al.*, 2004; Stock *et al.,* 2005).

## Conclusiones

El estudio del conjunto endokárstico de La Galiana, en el Cañón del río Lobos (Soria), aporta datos de interés relativos a la evolución del relieve regional.

Se diferencian tres niveles superpuestos de galerías horizontales (La Galiana Alta a +146 m, La Galiana Baja a +13 m y la Cueva del Lago, que coincide con el cauce actual del río Lobos-Ucero), que indican tres etapas de estabilización del nivel freático relacionadas con la posición del nivel de base fluvial correspondiente.

Una colada estalagmítica basal en La Galiana Alta presenta polaridad inversa y se asigna al cron Gilbert, indicando una edad anterior a los 3,596 Ma. Por otro lado, la edad U/Th más antigua de una formación espeleotémica en La Galiana Baja es de 224 ± 15 ka.

Las diferencias altimétricas entre los niveles superpuestos y las edades obtenidas permiten calcular tasas máximas de encajamiento fluvial entre 39 y 58 mm/ka.

## Agradecimientos

Es una contribución de los Grupos de Investigación PaleoQ y Geomorfología y Cambio Global. Los autores agradecen la autorización del Servicio Territorial de Medio Ambiente de Soria y la colaboración de Rubén Gállego (Soriaventura). El manuscrito ha sido mejorado con los comentarios del Prof. Joaquín Rodríguez Vidal y de un revisor anónimo.

| Galería/muestra | $^{238}$U ppb | $^{232}$Th ppt | $^{230}$Th / $^{232}$Th | $\delta^{234}$U medido | $^{230}$Th / $^{238}$U | Edad $^{230}$Th años sin corregir | Edad $^{230}$Th años corregida |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| La Galiana Alta/7 | 80,2 ± 0,1 | 4908 ± 98 | 273 ± 6 | 11,5 ± 2,5 | 1,013 ± 0,003 | >600000 | >600000 |
| La Galiana Alta/6 | 81,9 ± 0,1 | 4000 ± 80 | 343 ± 7 | 12,3 ± 3,0 | 1,016 ± 0,003 | >600000 | >600000 |
| La Galiana Baja/N1 | 177,5 ± 2,2 | 3368 ± 73 | 1204 ± 27 | 279,5 ± 12,2 | 1,179 ± 0,023 | 224479 ±14975 | 78063 ± 268 |
| La Galiana Baja/Vin-0 | 192,2 ± 0,3 | 1327 ± 27 | 1637 ± 33 | 308,3 ± 1,7 | 0,685 ± 0,001 | 224116 ± 14928 | 77918 ± 286 |

**Tabla I.- Datos analíticos de las series de U/Th y edades obtenidas.**

***Table I.- U/Th disequilibrium series data and obtained ages.***

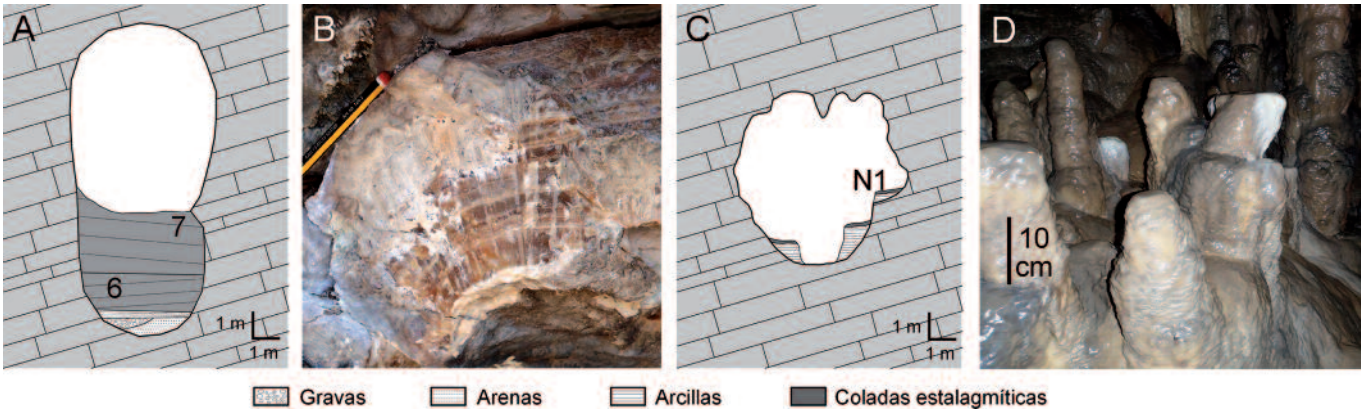


**Fig. 3.- A) Sección de La Galiana Alta en la entrada, depósitos y localización de muestras U/Th. B) Detalle de la muestra 7 de la colada estalagmítica. C) Sección de La Galiana Baja en el sector central, depósito y muestra U/Th. D) Estalagmitas (muestra Vin-0) de La Galiana Baja.**

***Fig. 3.- A) Section of La Galiana Alta at the entrance, deposits and location of U/Th samples. B) Detail of flowstone sample 7. C) Section of La Galiana Baja at the central sector, deposits and U/Th sample. D) Stalagmites (sample Vin-0) in La Galiana Baja.***

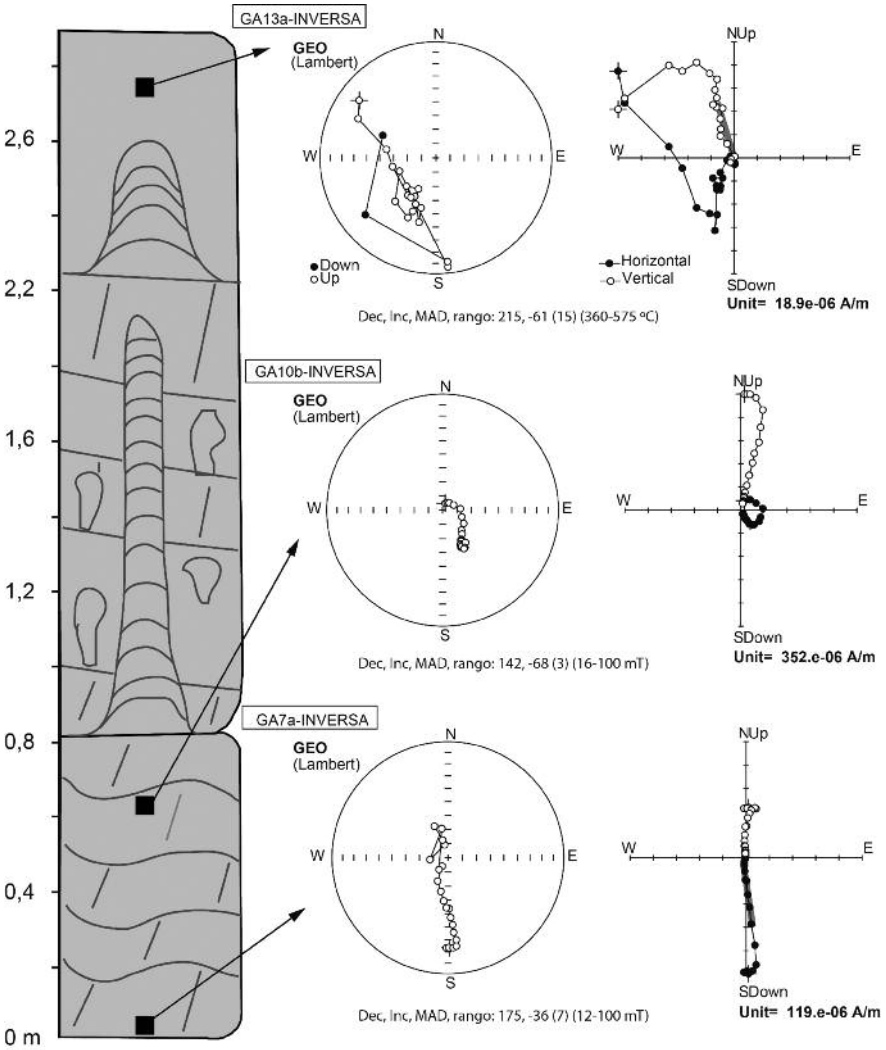


**Fig. 4.- Perfil esquemático de la colada, que engloba estalagmitas, localizada en La Galiana Alta y datos de polaridad magnética. Representación de la desmagnetización por pasos de muestras seleccionadas. Estereograma de la remanencia en cada paso (negro, proyección hemisferio inferior, blanco, hemisferio superior), diagrama ortogonal (en negro la declinación magnética; en blanco la inclinación magnética).**

***Fig. 4.- Schematic profile of the flowstone, including stalagmites) from the La Galiana Alta and magnetic polarity data. Stepwise demagnetization diagrams of selected samples. Stereographic representation of the remanence (black, lower hemisphere, white, upper hemisphere projection), orthogonal diagram (black, magnetic declination; white, magnetic inclination).***

## Referencias

Benito-Calvo, A. y Pérez-González, A. (2007). *Geomorphology* 88, 226-241.

Cheng, H., Edwards, L.R., Shen, C.C., Polyak, V.J., Asmerom, Y., Woodhead, J., Hellstrom, J., Wang, Y., Kong, X., Spötl, C., Wang, X. y Calvin Alexander Jr., E. (2013). *Earth Planetary Science Letters* 371-372, 82-91.

Fei, W., Hongchun, L., Rixiang, Q. y Feizhou, Q. (2004). *Quaternary Research* 62, 194-200.

Fernández Tabera, M.A. (1985). *Catálogo de Cavidades de Soria*. Federación Castellana Centro de Espeleología, Madrid, 106 p.

Moseley, G., Richards, D., Smith, C., Smart, P., Hoffmann, D. y Farrant, R (2013). *Cave and Karst Science* 40, 13-16.

Ogg, J.C. (2012). En: *The Geologic Time Scale 2012* (F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M. Schmitz y G. Ogg, Eds.). Elsevier, 85-113.

Ortega, A.I., Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Martín-Merino, M.A., Pérez-Martínez, R., Parés, J.M., Aramburu, A., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, J.M. y Carbonell, E. (2013). *Geomorphology* 196, 122-137.

Quintero, I., Mansilla, H. y Martínez, C. (1981). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 348 (San Leonardo de Yagüe) y memoria*. IGME, Madrid, 40 p.

Rodríguez-García, J.A. (2008). *Geomorfología de un sector de la cuenca de Almazán (Soria): procesos de erosión de suelos y planteamiento de escenarios ante el cambio climático*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 390 p.

Sanz, E., Menéndez, I. y Segovia, R. (2013). *Natural Science* 5 (2A), 296-312.

Stock, G.M., Granger, D., Sasowsky, I.D., Anderson, R.S. y Finkel, R.C., (2005). *Earth and Planetary Science Letters* 236, 388-403.

Wagner,T., Fritz, H., Stüwe, K., Nestroy, O., Rodnight, H., Hellstrom, J. y Benischke, R. (2011). *Geomorphology* 134, 62-78.