

Origen y diagénesis de los espeleotemas de Cueva Masero, Monumento Natural Cuevas de Fuentes de León, Badajoz

Origin and diagenesis of Cueva Masero speleothems, Monumento Natural Cuevas de Fuentes de León, Badajoz

Ana M. Alonso-Zarza¹, Rebeca Martín-García¹, Andrea Martín-Pérez², Paula Olmeda-Zafrilla¹, Francisco J. Fernández-Amo³

¹Dpto. Mineralogía y Petrología. Facultad de CC. Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. Instituto de Geociencias. CSIC. 28040.Spain
alonsoza@ucm.es, rmarting@ucm.es, paulolme@gmail.com

² Institute of Palaeontology, ZRC SAZU Novi trg, 2. SI-1000 Ljubljana, Eslovenia. andreamp@zrc-sazu.si

³TECMINSA, S.L. C/ Estatuto de Autonomía s/n, 06150, Santa Marta, Badajoz. francis@tecminer.com

ABSTRACT

The caves of the Natural Monument Cuevas de Fuentes de León developed within mixed detrital-carbonate formations of Cambrian age, containing some dolostones. One of the larger caves of the Monument, Cueva Masero, contains a wide variety of speleothems composed mainly by calcite but also aragonite and some hydromagnesite forming the moonmilk. The speleothem textures are: 1) primary, such as the aragonite fibres, calcite rafts and moonmilk; 2) diagenetic, calcite mosaics and megacrystals, or 3) both: columns and micrite. Dissolution of dolostones from the host rock provides Mg in the infiltration waters, which controls the presence of aragonite and hydromagnesite in the cave. Changes in water composition controlled by climatic changes and the primary aragonite composition of some speleothems drove a variety of diagenetic processes such as aragonite-calcite transformation, micritization, cementation and recrystallization. Our study has shown the interest of this Natural Monument due to the variety of speleothems and the complexity of the processes involved in its diagenesis.

Key-words: Fuentes de León, cuevas, speleothems, diagenesis, aragonite.

RESUMEN

Las cuevas que forman el Monumento Natural Cuevas de Fuentes de León se desarrollaron en una sucesión cámbrica detrítico-carbonática, que incluye algunas dolomías. Cueva Masero es una de las de mayor tamaño y contiene una amplia variedad de espeleotemas compuestos de calcita, aragonito y en menor proporción hidromagnesita formando el moonmilk. Las texturas de los espeleotemas son: 1) primarias, como las fibras de aragonito, las placas de calcita y el moonmilk; 2) diagenéticas, como los mosaicos y los megacristales de calcita o 3) de los dos tipos como la micrita y las columnas. La formación de aragonito e hidromagnesita en la cueva está condicionada por la presencia de Mg en las aguas de infiltración, por disolución de las dolomías. Los cambios en la composición del agua controlados climáticamente y la composición aragonítica inicial de algunos espeleotemas han dado lugar a procesos diagenéticos como transformación aragonito-calcita, micritización, cementación y recristalización. Nuestro estudio revela el interés de este Monumento Natural debido a la variedad y complejidad de sus espeleotemas.

Palabras clave: Fuentes de León, cuevas, espeleotemas, diagénesis, aragonito.

Geogaceta, 64 (2018), 119-122
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 14 de febrero de 2018
Revisión: 21 de abril de 2018
Aceptación: 25 de abril de 2018

Introducción

Las Cuevas de Fuentes de León, situadas al sur de la provincia de Badajoz (Fig. 1), fueron declaradas Monumento Natural (MN) en 2001. El MN incluye las cuevas del Agua, Masero, los Postes, del Caballo y la Lamparilla. Estas cuevas constituyen un conjunto kárstico único en la franja meridional extremeña de gran interés desde el punto de vista geológico, ambiental y faunístico, pero además contienen numerosos restos Neolíticos de

hominidos y arqueológicos de la época romana (Rebollada Casado *et al.*, 2010; Fernández-Amo *et al.*, 2014; Collado Giraldo *et al.*, 2015). A pesar de la importancia del MN, son pocos los trabajos de investigación centrados en el estudio de sus espeleotemas (Campos *et al.*, 2015). Por ello, el objetivo de este trabajo es la caracterización mineralógica, macro y microscópica de los espeleotemas de Cueva Masero para interpretar los mecanismos de formación y transformación de sus espeleotemas.



Fig. 1.- Situación geográfica de Fuentes de León dentro de la Península y del Macizo Ibérico.

Fig. 1.- Location of Fuentes de León within the Iberian Peninsula and the Iberian Massif.

Contexto Geológico

El área de estudio se sitúa en la zona de Ossa Morena. La estructura consiste en un gran anticlinorio con dirección NO-SE, en cuyo núcleo se sitúan materiales correspondientes al Precámbrico y en el flanco O (zona de estudio) afloran materiales correspondientes al Cámbrico Inferior y Medio (Fig. 2). La serie cámbrica, contiene una unidad carbonática (Palacios, 2005) que aflora en la zona SO de la provincia de Badajoz y su edad se atribuye al Cámbrico Inferior. Está constituida por calcarenitas, micritas y biomicritas (Palacios *et al.*, 2013) y está intercalada entre unidades heterolíticas (lutitas, conglomerados y areniscas con niveles volcánicos intercalados), atribuibles al Cámbrico Inferior y Medio. La dirección principal de plegamiento es N140-160°E, al igual que una de las direcciones de fracturación. Otra familia de fracturas perpendiculares corta y desplaza a las fracturas anteriores. Todas ellas se consideran variscas (Rebollada y Fernández-Amo, 2005).

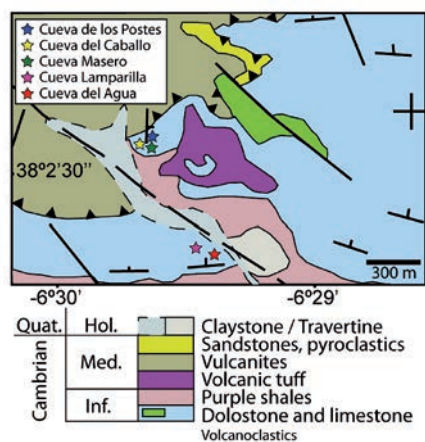


Fig. 2.- Situación geológica del Monumento Natural Cuevas de Fuentes de León. Modificado de Matas y Martín Parra (2017). Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Geological setting of Monumento Natural Cuevas de Fuentes de León. Modified from Matas and Martín Parras (2017). See color figure in the web.

Rasgos generales de la Cueva Masero

Esta cueva tiene un recorrido de unos de 90 m distribuidos en seis salas principales y otras más pequeñas (Fig. 3) y se desarrolla siguiendo las direcciones de fracturación variscas. Su temperatura media es de 17°C.

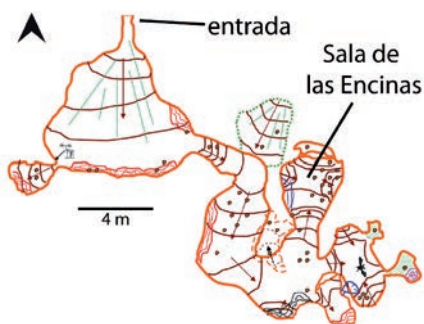


Fig. 3.- Esquema en planta de Cueva Masero. Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- Plan view sketch of Cueva Masero. See color figure in the web.

Los materiales sobre los que se forman los espeleotemas son muy variados e incluyen:

1) Carbonatos correspondientes al Cámbrico Inferior (Fig. 4). Son calizas y dolomías con una amplia variedad textural, desde micriticas a calizas cristalinas, pasando por dolomías dedolomitizadas. Muchas de las dolomías son ricas en hierro.

2) Depósitos de alteración de tonos marrones y rojizos que forman desde masas muy endurecidas a zonas muy deleznales.

3) Algunas depresiones de las cavidades contienen depósitos lutíticos rojos formados por filosilicatos, cuarzo y fragmentos de pizarra. Son también ricos en óxidos e hidróxidos de Fe.

4) De forma muy ocasional (en el pasillo de Cueva Masero) sobre la roca de caja aparecen depósitos de tono marrón claro, con estructuras alveolares y texturas grumulares. Estos depósitos, de composición calcítica han sido interpretados como calcretas e indican que se trata de una zona relativamente superficial a la que tienen acceso las raíces de las plantas.

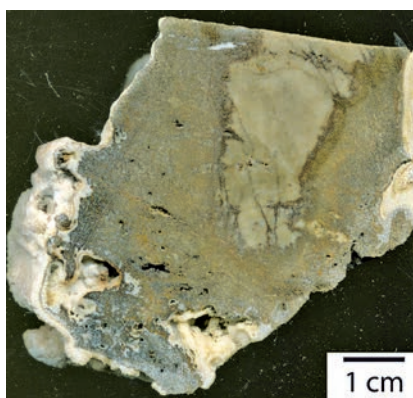


Fig. 4.- Carbonatos cámbricos alterados de la roca de caja en contacto con el espeleotema.

Fig. 4.- Cambrian weathered host rock carbonates in the contact with the speleothem.

Los espeleotemas de Cueva Masero

Cueva Masero presenta una amplia variedad de espeleotemas desde el punto de vista morfológico, textural y mineralógico.

Estalactitas: son principalmente de calcita, aunque pueden también contener aragonito y presencia de óxidos de hierro.

Estalagmitas: tanto de calcita como de aragonito.

Columnas: sobre todo de calcita.

Banderas: suelen ser de calcita.

Coladas: de composición calcítica.

Excéntricas o helicíticas: de calcita o aragonito.

Coraloides ("pop-corn"): de calcita.

Costras: de aragonito y calcita, en menor medida.

Gours: de composición calcítica.

Rafts: son plaquetas de calcita.

Moonmilk: es de hidromagnesita.

Texturas de los espeleotemas

Todos los espeleotemas presentan bandas bien definidas, constituidas por texturas muy variadas (Fig. 5).

Fibrosos de aragonito. Son cristales cuya longitud puede llegar a 2 mm y su anchura no supera los 0,3 mm (Fig. 5a). Nuclean en la base de las bandas como abanicos de pequeñas dimensiones (0,4 mm), pero hacia el techo se hacen cada vez mayores pudiendo alcanzar varios mm de espesor. Los cristales de aragonito en algunos casos presentan los bordes algo micritizados. En muy pocas muestras se conserva el aragonito original sino que queda como relicto textural dentro de la calcita con textura en mosaico, columnar y en los megacristales.

Columnar. Es quizás la textura más característica en los espeleotemas de Cueva Masero. Son cristales de calcita que forman bandas de anchura a veces centimétrica. Los cristales tienen anchuras que varían entre 0,2 y 0,6 mm y longitudes desde 2 a 7 mm. Pueden ser cristales individuales o estar formados por varios cristales hasta componer un cristal mucho más ancho (hasta de 2 mm) y largo (6 mm), en el que se distingue la morfología de los cristales iniciales prismáticos. Algunos cristales están interpenetrados entre ellos. Las bandas formadas por cristales columnares son complejas ya que en algunos casos dentro de ellas se distinguen otras bandas de menor anchura (2-3 mm) en las que se ve una fina alternancia entre bandas más claras y otras

más oscuras (Fig. 5b). Los cristales columnares atraviesan estas bandas y en ellos no se observan discontinuidades aparentes. Tanto en las estalactitas como en las estalagmitas los cristales parecen irradiar desde su centro, y se hacen más anchos hacia el exterior. Las bandas oscuras contienen óxidos en pequeñas cantidades y a veces se distinguen pequeños relictos de aragonito.

Mosaico. Son de calcita. Cementan el canal central de las estalactitas (Fig. 5c), también aparecen en el núcleo de algunas estalagmitas y cementando zonas de calcita columnar de algunas coladas. A veces alternan en contacto irregular con las calcitas columnares. La distribución de tamaños es muy irregular siendo la media de 0,5 mm. Los cristales son en general equidimensionales y las morfologías varían de subeuhedrales a euhedrales. A veces se distinguen las zonaciones de su crecimiento. Algunos son muy limpios, pero otros muestran claros relictos de aragonito fibroso como pequeñas fibras de longitud muy variable (0,04 hasta 1,2 mm) o incluso de los abanicos de aragonito completos. Estos relictos son tanto texturales como mineralógicos.

Megacristales de calcita. Tienen longitudes que pueden superar los 5 cm y anchuras de 2 cm. En sección tienen forma de triángulos muy alargados con caras irregulares e interpenetrados unos con otros. La extinción es ondulante y a veces continua entre cristales contiguos. Estos cristales conservan en muchos casos el bandeado característico ya descrito, pero lo más llamativo son los relictos de fibrosos de aragonito (a veces pequeños abanicos) que se extinguen de forma diferente al cristal de calcita. También dentro de estos megacristales se reconocen fantasmas de las texturas columnares.

Rafts o placas. Son acumulaciones relativamente potentes formadas por placas de calcita. Estas placas tienen una fina zona interna micrítica sobre la que se disponen cristales prismáticos o trigonales de calcita (Fig. 5d). La longitud de las plaquetas puede llegar a 5 cm, aunque su tamaño habitual es de 1 cm, la anchura es de 1 mm. En algunos casos han perdido parte de su textura inicial y lo que se observa es un mosaico de calcita con la micrita interior y la porosidad interpartícula (interplaqueta) bien conservadas. Estas plaquetas se forman en la superficie de un cuerpo de agua muy tranquilo.

La micrita aparece entre las bandas de las distintas texturas y en la superficie de algunos cristales de calcita y de aragonito (Fig. 5b).

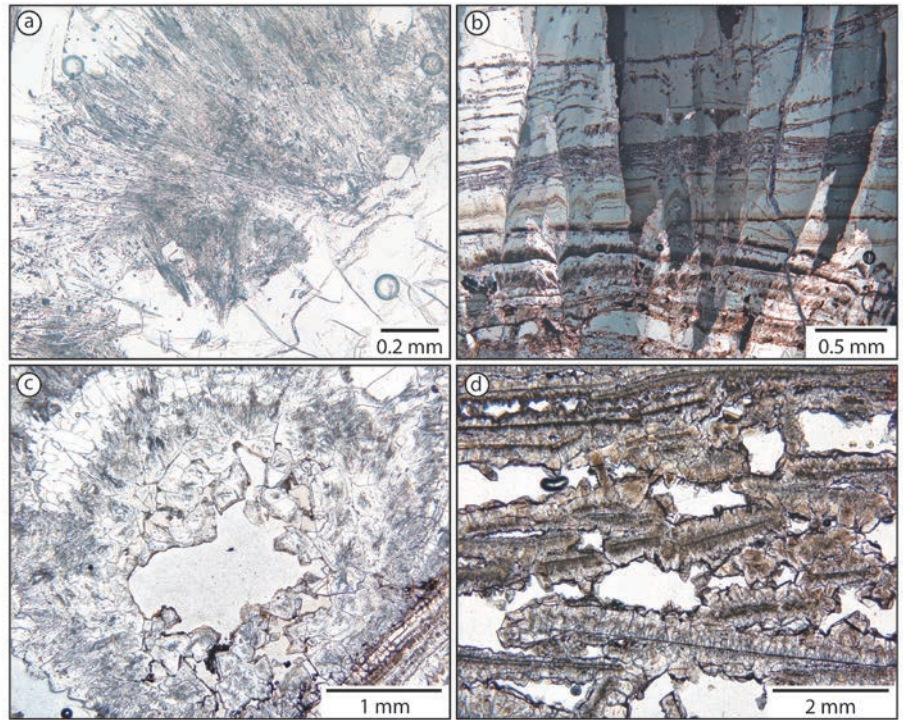


Fig. 5.- Texturas de los espeleotemas. a, c y d nicoles paralelos, b nicoles cruzados. a) Abanicos de aragonito. b) Cristales columnares de calcita con bandas de crecimiento. c) Mosaico equant de calcita cerrando la porosidad del canal central de una estalactita. d) Rafts de calcita. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Espeleothem fabrics. a, c and d plain polarized light, b cross polarized light. a) Aragonite fans. b) columnar calcite with growing bands. c) Equant mosaic filling the dripping channels of a stalactite. d) Calcite rafts. See color figure in the web.

Las bandas micríticas tienen un espesor máximo de 0,7 mm y suelen aparecer en la base de las capas de pequeños cristales de aragonito y también hacia techo. En estos casos el aragonito está corroído quedando en ocasiones como relictos.

Moonmilk en sentido estricto es también una textura micrítica, pero tiene características mineralógicas diferenciadas. En Cueva Masero el *moonmilk* es de hidromagnesita, y aparece formado por plaquetas micrométricas (Fig. 6) que dejan mucha porosidad entre ellas y están tapizadas por fibras de Si y Mg, que podrían corresponder a sepiolita.

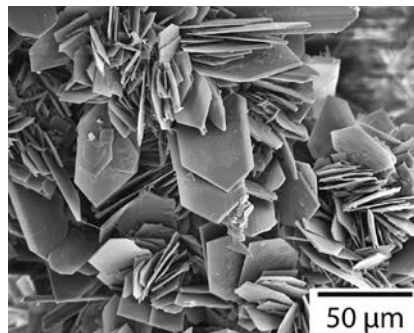


Fig. 6.- Moonmilk de hidromagnesita. MEB.
Fig. 6.- Hydromagnesite moonmilk. SEM.

Interpretación y discusión

El desarrollo de las cuevas de Fuentes de León tiene un probable control estructural (pliegues, fallas y cabalgamientos) y, de hecho, se localizan en la cercanía de un frente de cabalgamiento y su dirección sigue a grandes rasgos las estructuras variscas. La escasez de depósitos neógenos en la zona, hace difícil precisar cuándo comenzó el desarrollo kárstico. Las dataciones de que se dispone proceden de un espeleotema de la cueva de los Postes, que aporta edades comprendidas aproximadamente entre 2000 y 4000 años BP (1950; Campos *et al.*, 2015). Estas edades corresponden a un solo espeleotema y si bien indican que la cueva ha sido activa en tiempos recientes, hay que tener en cuenta que las dataciones pueden corresponder a texturas diagenéticas y no primarias, y que el sistema es un sistema abierto.

Los espeleotemas se formaron tanto en los techos (estalactitas, varillas, banderas, helictitas, *rafts*), suelos (estalagmitas, *gours*, coladas, coraloides, etc.) o sobre las paredes y otros espeleotemas (costras, helictitas, *moonmilk*). La mayoría se formó en ambiente típicamente vadoso, algunos en pequeños lagos del sistema kárstico (*rafts*, *gours*).

El aragonito que se conserva en algunos espeleotemas es claramente primario tal y como sucede también en la Cueva de Castañar (Alonso-Zarza *et al.*, 2011; Martín-Pérez *et al.*, 2012). Lo mismo se puede asegurar de los depósitos de *moonmilk* de hidromagnesita. La formación de estos minerales refleja aguas ricas en Mg que favorecen la precipitación de aragonito frente a la de calcita. Estas aguas tienen su origen en la disolución de las dolomías que forman parte del sustrato de la cueva.

El mineral dominante es la calcita. Algunas texturas de las reconocidas son claramente primarias como las plaquetas de calcita, pero incluso estas texturas muestran rasgos de recristalización. Las fábricas columnares pueden ser primarias o diagenéticas. Si bien comúnmente en la literatura se han considerado como fábricas primarias (Frisia y Borsato, 2010), nuestras observaciones nos hacen pensar que la mayor parte de las calcitas columnares son diagenéticas. Los argumentos son: a) algunas tienen, aunque escasos, relictos de aragonito, b) las distintas columnas coalescen y parecen engrosarse incluyendo varias columnas que tienen un patrón de extinción continuo, c) el crecimiento de las columnas engloba indistintamente todos estos rasgos. Los megacrístales con relictos de aragonito son secundarios y muy probablemente reflejan procesos de recristalización en presencia de soluciones saturadas en calcita, pero relativamente diluidas y muy estables a lo largo del tiempo dentro de los espeleotemas. La conservación o no de los relictos indica distintas tasas de recristalización o sustitución de los minerales primarios de calcita y/o aragonito (relictos de abanico). En algunos megacrístales también se conservan relictos de fábricas columnares, por lo que los megacrístales indican al menos dos transformaciones: aragonito en calcita (inversión + cementación) y calcita-calcita (recristalización). Los mosaicos con relictos de aragonito son el resultado de la transformación de aragonito en calcita. Los mosaicos limpios y transparentes son relativamente escasos y se pueden interpretar tanto como debidos a procesos de cementación como de recristalización.

En cuanto a la micrita, una parte, la que aparece en la base de las bandas en las que nuclean los abanicos de aragonito, puede ser micrita primaria precipitada en momentos de mayor saturación; pero otra, sobre todo la de los techos de las bandas y la que aparece sobre los cristales de aragonito, es micrita formada por disolución parcial de esos cristales iniciales (Martín-García *et al.*, 2014).

La variación de las condiciones climáticas, períodos cálidos/fríos, húmedos/áridos, puede

ser la responsable de la laminación de los espeleotemas y de la alternancia entre bandas aragoníticas y calcíticas en las texturas primarias (Railsback *et al.*, 1994; Wassenburg *et al.*, 2016) y de las transformaciones diagenéticas (Wassenburg *et al.*, 2012).

Conclusiones

El desarrollo del Monumento Natural Cuevas de Fuentes de León está controlado por todos los procesos geológicos que afectaron a la unidad carbonática en la que se emplaza. La presencia de dolomías en algunas zonas de la roca de caja condiciona la presencia de aragonito. (Alonso-Zarza *et al.*, 2015; Wassenburg *et al.*, 2016). Las aguas más saturadas y más ricas en Mg, posiblemente en períodos más áridos, durante los cuales la tasa de evaporación es mayor, favorecen la precipitación de aragonito frente a calcita (McMillan *et al.*, 2005). La hidromagnesita se forma cuando ya han precipitado calcita y aragonito y la solución se ha enriquecido aún más en Mg, al igual que sucede en el *moonmilk* de huntita de la Cueva de Castañar (Martín-Pérez *et al.*, 2015)

Los cambios en la composición de las aguas, debidos a posibles cambios climáticos, y la composición aragonítica inicial de algunos espeleotemas son los principales parámetros que controlan las transformaciones diagenéticas en los espeleotemas.

El Monumento Natural Cuevas de Fuentes de León tiene un notable interés científico debido a la variedad y complejidad de los procesos implicados en la formación de las cuevas y de sus espeleotemas, ilustrados en este trabajo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por La Fundación la Caixa y la Junta de Extremadura, a través de un contrato con la UCM. Las autoras agradecen las revisiones realizadas por A. Aramburu y E. Rebollada, y por el editor M. Díaz.

Referencias

- Alonso-Zarza, A.M., Martín-Pérez, A., Martín-García, R., Gil-Peña, I., Meléndez, A., Martínez-Flores, E. y Muñoz-Barco, P. (2011). *Geological Magazine* 148, 211-225.
- Alonso-Zarza, A.M., Muñoz Barco, P. y Martínez Flores, E. (Eds) (2015). *Monumento Natural Cueva de Castañar: Un laboratorio natural*, Junta de Extremadura, 186 p.
- Campos, L.C.S., Teixeira, R.J.S., Rodrigues, A.I.P.C., Wang, X. MacLeod, K. y Bassett, D. (2015). *Co-*

municções Geológicas 102, 137-141.

- Collado Giraldo, H., Bello, J.R., Domínguez, I., Nobre da Silva, L.F., Rodríguez, L., Torrado, J.M., Villalba, M., González, J., Domínguez, A.C., García, E., Garrido, E., Capilla, J.E., Oyola, E., Giles, M., Castañón, C., Montero, R., Pérez, S. y Duque, D. (2015). *Revista de Estudios Extremeños* LXXI (I), 13-35.
- Fernández-Amo, F.J., Rebollada-Casado, E. y Muñoz-Barco, P. (2014). En: *Cuevatur, 1er Congreso Iberoamericano y V Español Sobre Cuevas Turísticas*, 53-59.
- Frisia, S. y Borsato, A. (2010). En: *Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments and Processes* (A.M. Alonso Zarza y L.H. Tanner, Eds.). Elsevier, Amsterdam, 269-318.
- Martín-García, R., Alonso-Zarza, A.M., Martín-Pérez, A., Schröder-Ritzrau, A. y Ludwig, T. (2014). *Sedimentary Geology* 312, 63-75.
- Martín-Pérez, A., Martín-García, R. y Alonso-Zarza, A.M. (2012). *International Journal of Speleology* 41, 251-266.
- Martín Pérez, A., Alonso-Zarza, A.M., la Iglesia, Á. y Martín-García, R. (2015). *Geogaceta* 57, 15-18.
- Matas, J. y Martín Parra, L.M. (2017). *Mapa Geológico Digital continuo*. E. 1:50.000. Zona de Ossa Morena.
- McMillan, E.A., Fairchild, I.J., Frisia, S., Borsato, A. y McDermott, F. (2005). *Journal of Quaternary Science* 20, 423-433.
- Palacios, T. (2005). En: *Patrimonio geológico en Extremadura: geodiversidad y lugares de interés geológico*. (P. Muñoz Barco y E. Martínez Flores, Eds.). Junta de Extremadura, Mérida, 35-70.
- Palacios, T., Eguíluz, L., Apalategui, O., Jensen, S., Martínez-Torres, L.M., Carracedo, M. y Martí Mus, M. (2013). *Mapa Geológico de Extremadura 1/350.000 y memoria*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, 222 pp.
- Railsback, L.B., Brook, G.A., Chen, J., Kalin, R. y Fleisher, C.J. (1994). *Journal of Sedimentary Research* 64, 147-155.
- Rebollada Casado, E. y Fernández-Amo, F.J. (2005). En: *Patrimonio Geológico en Extremadura: geodiversidad y lugares de interés geológico*. (P. Muñoz Barco y E. Martínez Flores, Eds.) Junta de Extremadura, Mérida, 131-136.
- Rebollada Casado, E., Fernández-Amo, F.J., Álvarez García, G. y Collado Giraldo, H. (2010). En: *Cuevas: Patrimonio, Naturaleza, Cultura y Turismo*. (J.J. Durán, Ed.). Asociación de Cuevas Turísticas Españolas, Madrid, 575-586.
- Wassenburg, J.A., Immenhauser, A., Richter, D.K., Jochum, K.P., Fietzke, J., Deininger, M. y Sabaoui, A. (2012). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 92, 23-47.
- Wassenburg, J.A., Scholz, D., Jochum, K.P., Cheng, H., Oster, J., Immenhauser, A. y Hoffmann, D. (2016). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 190, 347-367.