

El papel del *piping* en la espeleogénesis del sistema endokárstico de Sesó (Pirineo central, Huesca)

Role of piping processes in the speleogenesis of Sesó Cave (Central Pyrenees, Huesca province)

Miguel Bartolomé¹, Carlos Sancho², Ana Moreno¹, Ánchel Belmonte², Joaquín Bastida³, Mikel Calle², Jaime Mas⁴ y Xavi Fuertes⁴

¹ Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC, Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza, España. amoreno@ipe.csic.es, mbart@ipe.csic.es

² Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España. csancho@unizar.es, anchelbr@unizar.es, 553180@unizar.es

³ Departamento de Geología, Universidad de Valencia, Doctor Moliner 50, 46100 Burjassot, (Valencia), España. joaquin.bastida@uv.es

⁴ Grup d'Espeleologia de Badalona, Rambla, 11 3r. (Cor de Marina), 08911 Badalona, (Barcelona), España. espeleoainsa@hotmail.com

ABSTRACT

The Sesó Cave system (Boltaña, Huesca province) in the Southcentral Pyrenees presents a singular speleogenesis. Vadose mechanical entrenchment of highly erosive and dispersive marls (piping processes) is the main speleogenetic mechanism. Geometric relationship between the endokarstic system and a terrace of the Ara River chronologically controlled allows dating the cave formation in the Upper Pleistocene, probably during stages of the MIS 4 with high water availability.

Key-words: Speleogenesis, piping, Upper Pleistocene, Central Pyrenees.

RESUMEN

El sistema endokárstico de Sesó (Boltaña, Huesca), localizado en el sector central surpirenaico, presenta una espeleogénesis singular. La excavación mecánica en condiciones vadosas de material margoso fácilmente erosionable (procesos de piping) constituye el principal mecanismo espeleogénético. La disposición espacial del sistema endokárstico respecto a las terrazas datadas del río Ara permite situar la formación de la cavidad en el Pleistoceno superior, probablemente coincidiendo con fases húmedas del MIS 4.

Palabras clave: Espeleogénesis, piping, Pleistoceno superior, Pirineo Central.

Geogaceta, 53 (2013), 105-108.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 15 de julio de 2012
Fecha de revisión: 25 de octubre de 2012
Fecha de aceptación: 30 de noviembre de 2012

Introducción

Además del interesante registro estalagmítico holoceno (Bartolomé *et al.*, 2011), una de las singularidades de la cueva de Sesó hace referencia a su espeleogénesis. En efecto, Bartolomé *et al.* (2012) plantean, a modo de hipótesis, el papel de la exportación subterránea mecánica de material margoso impermeable como mecanismo formador de la cavidad. Aunque representa una situación poco frecuente, la excavación mecánica en condiciones vadosas de material erosionable a partir de un conducto inicial freático, como mecanismo espeleogénético, ha sido señalada por Ford y Williams (2007).

En este trabajo se aportan datos estructurales, litológicos y geomorfológicos que permiten validar la hipótesis previamente planteada, además de situar crono-

lógicamente el desarrollo espeleogénético del sistema endokárstico de Sesó.

Marco geológico

Las cuevas estudiadas se localizan en las proximidades del Caserío de Sesó, perteneciente al municipio de Boltaña (provincia de Huesca) (Fig. 1). Estas cavidades se sitúan en el flanco oriental del anticlinal de Boltaña y se desarrolla en una serie compuesta por calizas con foraminíferos e intercalaciones margosas de edad Eoceno inferior pertenecientes a la Formación Boltaña, dentro del sector noroccidental de la cuenca de Tremp-Graus (Unidad Surpirenaica Central) (Soto y Casas, 2001). El encajamiento fluvial durante el Cuaternario del río Ara y su red afluyente ha favorecido el afloramiento de extensas superficies estructurales modeladas en los niveles estratigráficos resistentes.

Sobre ellas se desarrollan suelos de tipo calcisol cámbico que sirven de soporte a una cobertera vegetal, relativamente densa, de pino y matorral. El río Ara también ha conformado algunas terrazas de strath.

Método de trabajo

Junto con el reconocimiento del sistema endokárstico y del entorno morfolitoestructural, se realiza una valoración de la erosionabilidad de la marga en la que se excavan las cavidades a partir de criterios físicos (índice de plasticidad, granulometrías e índice de dispersión) (Marshall y Workman, 1977; Resendiz, 1977), químicos (extracto de saturación) (Sherard *et al.*, 1972) y mineralógicos (DRX) (Davis y Smith, 1989a, b) sobre cuatro muestras, dos del interior de la cueva (Sesó 1 y Sesó 2) y dos del exterior (Sesó 3 y Sesó 4). Por otro lado, la aproximación

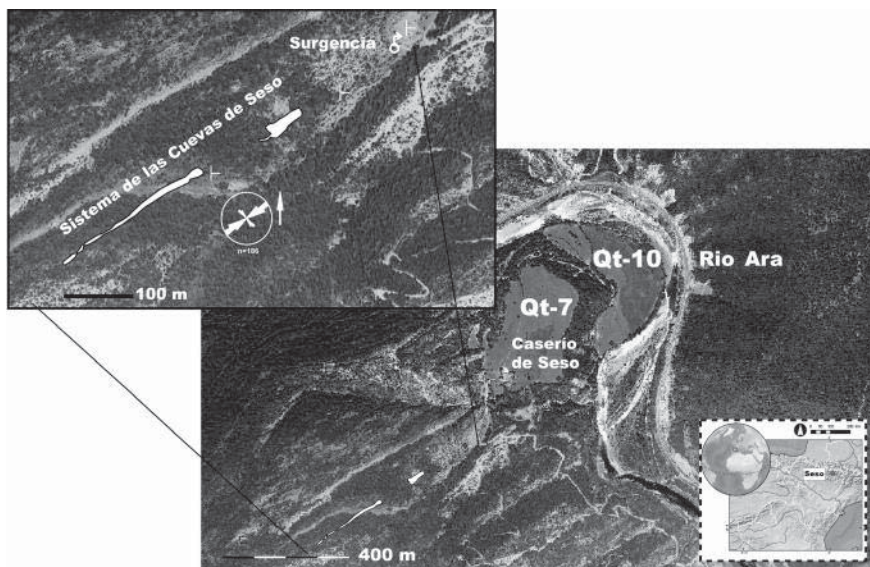


Fig. 1.- Localización de las Cuevas de Sesó y marco geomorfológico. Se incluye el desarrollo de las galerías, surgencia, dirección, buzamiento, diagrama de fracturas y terrazas de río Ara (Qt7 y Qt10).

Fig. 1 - Location of the Sesó Caves and geomorphic setting. Note the cave development, spring, strike and dip, joint diagram and Ara river terraces (Qt7 and Qt10).

cronológica de la espeleogénesis se establece a partir de la relación geométrica existente entre el desarrollo espacial del sistema endokárstico y el patrón de encajamiento fluvial determinado por terrazas del río Ara cronorreferenciadas.

El sistema endokárstico de Sesó

Se trata de un sistema constituido por dos pequeñas cavidades subsuperficiales de desarrollo longitudinal y conectadas entre sí (Fig. 2). Se accede a través de colapsos que afectan a una capa de calizas que actúa

como techo resistente. Este nivel constituye la superficie estructural que modela la ladera, de manera que las galerías son paralelas a la superficie topográfica. Las cavidades se desarrollan en el paquete margoso infrayacente. Su disposición geométrica está directamente controlada por el buzamiento de la serie estratigráfica (20° E) y por la familia dominante del patrón de fracturación (060°-070° E) (Fig. 1).

La galería más alta tiene un desarrollo longitudinal de 250 m y un desnivel de 46 m (Mas y Fuertes, 2007). La entrada se sitúa a 794 m s.n.m. Presenta una sección trapezoidal, con base y techo horizontales y taludes laterales asimétricos, en las que aflora el material soporte margoso (Fig. 3). El reconocimiento morfosedimentario evidencia la presencia abundante de depósitos internos químicos (estalactitas, estalagmitas, coladas y gours) junto con algunos bloques desprendidos.

La galería inferior tiene dimensiones más reducidas (147 m de desarrollo) y su entrada se localiza a 763 m s.n.m. Su rasgo más sobresaliente es el relleno aluvial de material interno margoso arrastrado desde sectores superiores por la escorrentía interna que discurre por la galería. En una posición topográfica más baja (691 m s.n.m.), pero manteniendo la misma alineación (Fig. 1), se

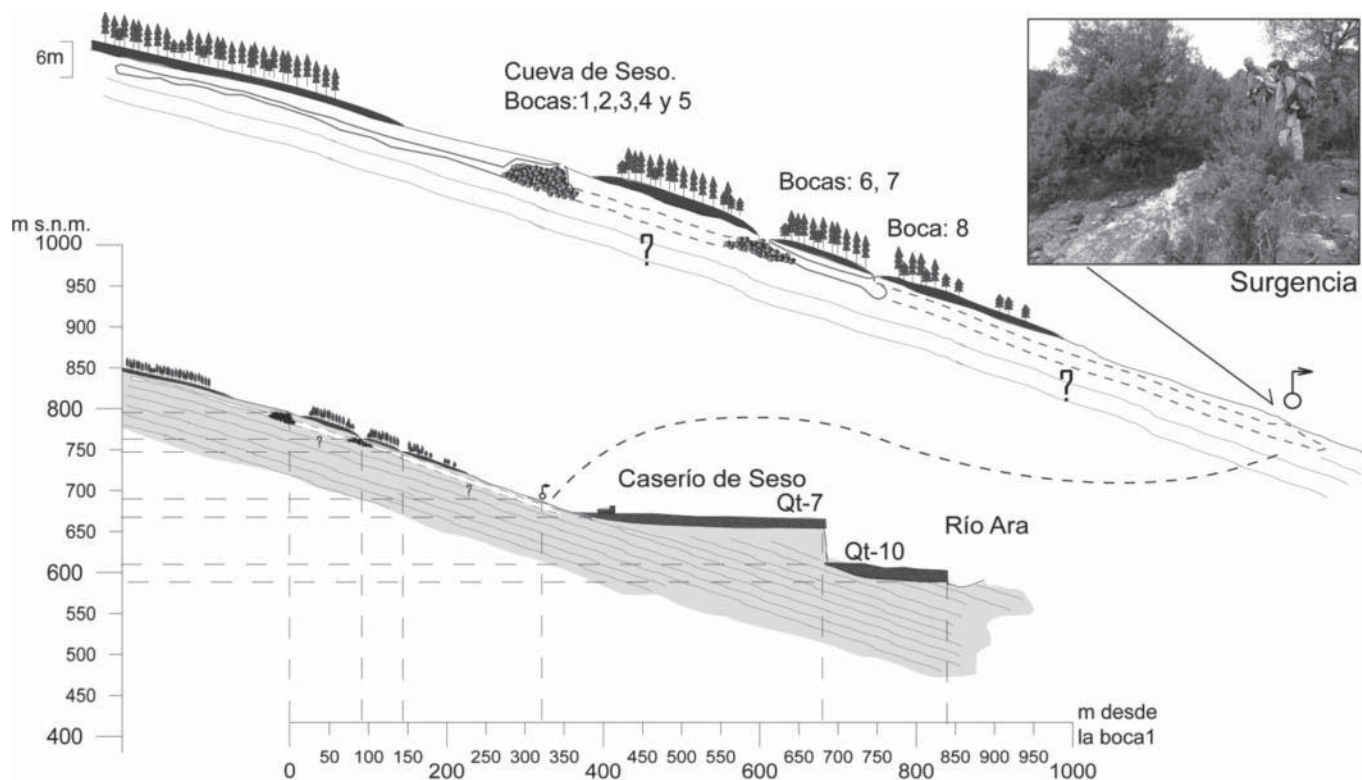


Fig. 2.- Representación longitudinal del sistema endokárstico de Sesó y relación geomorfológica con la terraza del Caserío de Sesó.

Fig. 2- Longitudinal sketch of the Sesó Cave system and geomorphic relation to the Ara River terrace in the Caserío de Sesó.

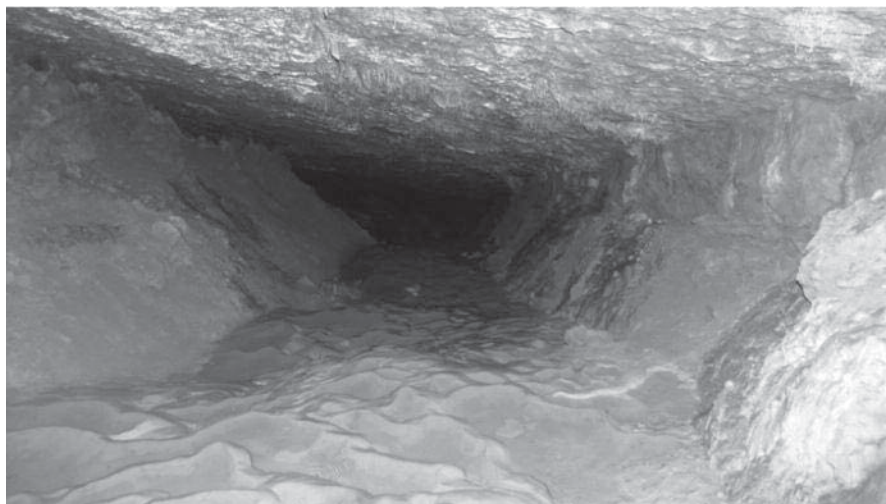


Fig. 3.- Sección de la cueva superior de Seso. El techo coincide con la base de un paquete calizo y las paredes asimétricas con un tramo margoso muy erosionable. Se aprecian diferentes tipos de espeleotemas.

Fig. 3.- Section of upper Seso Cave. Cave ceiling is the bottom of a limestone layer and the asymmetric walls correspond to very erosive marly sediment. Different speleothems can be observed.

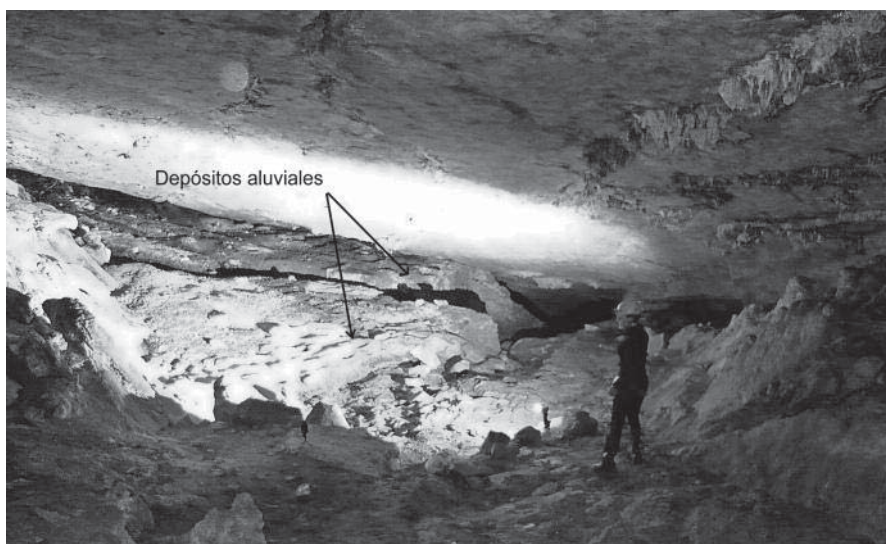


Fig. 4.- Sección de la cueva inferior de Seso y relleno parcial con depósitos aluviales procedentes de la erosión de margas en tramos superiores.

Fig. 4.- Section of the lower Seso Cave partially filled with alluvial deposits with origin in the marly bedrock from upper stretches.

ha observado una surgencia intermitente que se activa en época de lluvias intensas.

Resultados y discusión

Mecanismo espeleogenético

Las observaciones del interior de las cavidades apuntan a una espeleogénesis relacionada con la excavación mecánica del soporte margoso en condiciones vadósas (Fig. 2): 1) el techo de las cavidades coincide con la base de la capa de caliza de la superficie estructural y no presenta rasgos

erosivos de flujo forzado; 2) existe un pequeño desplazamiento en la fractura principal en algunos sectores que focalizaría la

circulación vadósas; 3) la apertura de las cavidades se produce en material margoso con porcentajes de carbonato que varían entre 28 y 44% (Tabla 1); 4) la asimetría de los taludes laterales de la cavidad (Fig. 3), más verticales coincidiendo con el sentido del buzamiento, estaría relacionada con una deriva de la escorrentía vadósas en el interior de las cavidades; y 5) el relleno parcial de la cavidad inferior con secuencias aluviales formadas por material margoso procedente de sectores superiores del sistema (Fig. 4). El arrastre mecánico vadósas (*piping*) como mecanismo espeleogenético básico, está apoyado por la erosionabilidad y dispersabilidad del soporte margoso, tal y como ponen de manifiesto la caracterización mecánica (índice de plasticidad) y granulométrica de la marga y los análisis químicos del extracto de saturación obtenido de la misma (Fig. 5). Además, en la mineralogía de la fracción arcillosa se han detectado minerales hinchables (esmeclitas) que pudieran coadyuvar en la disgregación y evacuación del sustrato margoso (Tabla II).

Aproximación cronológica

La apertura de las galerías y la excavación del soporte margoso pertinente requieren de un punto de salida de la escorrentía vadósas y el sedimento arrastrado en una posición topográficamente más baja. Es necesario, por tanto, un gradiente topográfico suficiente que facilite el proceso de evacuación asociado al encajamiento del río Ara. La surgencia intermitente, alineada con las dos cavidades superiores siguiendo la misma fractura, representa el punto topográficamente más bajo detectado para que se produzca dicha evacuación mecánica. Esto significa que el encajamiento del río habría alcanzado la posición de la surgencia, próxima altimétricamente a la terraza del Caserío de Seso (53 m sobre el cauce actual) (Fig. 2). Como este nivel es correlacionable cartográficamente con la terraza

| Muestra | Fil | Q | Fel | Cal |
|---------|------|------|-----|------|
| Seso 1 | 16,6 | 53,4 | 1,7 | 28,2 |
| Seso 2 | 40,0 | 32,0 | 0,8 | 27,2 |
| Seso 3 | 40,0 | 23,6 | 1,1 | 26,4 |
| Seso 4 | 23,3 | 31,4 | 0,9 | 44 |

Tabla I.-Mineralogía de las muestras de marga (%). Fil: Filosilicatos, Q: Cuarzo, Fel: Feldespato, Cal: Calcita.

Table I.-Mineralogical composition of marls (%).

| Muestra | Cao | Ill | Clo | Esm |
|---------|-----|------|-----|-----|
| Seso 1 | 0,4 | 14,6 | 1,4 | 0,2 |
| Seso 2 | 0,0 | 34,9 | 4,4 | 0,7 |
| Seso 3 | 0,0 | 34,6 | 4,0 | 1,4 |
| Seso 4 | 0,8 | 18,7 | 2,8 | 1,0 |

Tabla II.-Mineralogía de los Filosilicatos de las muestras de marga (%). Cao: Caolinita, Ill: Illita, Clo: Clorita, Esm: Esmectita.

Table II.-Phyllosilicate mineralogy of marls (%).

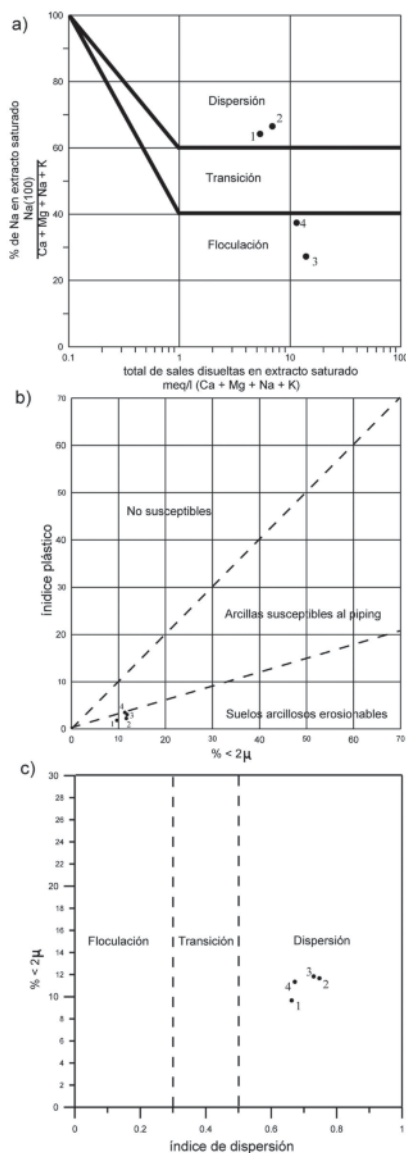


Fig. 5.- Tendencia al comportamiento erosivo y dispersivo de las muestras de marga soporte de la Cueva de Sesó a partir de las características químicas del extracto de pasta saturada (diagrama de Sherard) (a) y de las propiedades mecánicas y granulométricas (diagramas de Resendiz y Marshall y Workman) (b y c).

Fig. 5.- Erosive and dispersive behavior of marl samples supporting the Sesó Cave from the chemical features of the water extract (Sherard diagram) (a) and the mechanical and grain size characteristics (Resendiz and Marshall and Workman diagrams) (b and c).

Qt-7 del río Cinca, que tiene una edad de 61 ± 4 ka (Lewis *et al.*, 2009), la espeleogénesis del sistema endokárstico de Sesó coincidiría aproximadamente con esa edad o con anterioridad a ella. Este período (MIS 4) se caracteriza en el Pirineo por condiciones frías con una elevada disponibilidad hidrológica (Lewis *et al.*, 2009).

Conclusiones

El sistema endokárstico de Sesó se desarrolla en una serie monoclinical de calizas y margas. Está formado por galerías subsuperficiales abiertas en sedimentos margosos, de desarrollo paralelo a la topografía y controlado por la fracturación dominante. El conjunto de cavidades se dirige hacia el cauce actual del río Ara. En este contexto, la excavación mecánica en condiciones vadadas del material margoso (*piping*) constituye el principal mecanismo espeleogénético, tal y como evidencian los rasgos morfológicos internos de las cuevas y la elevada erosionabilidad y dispersabilidad del sedimento soporte, deducidas a partir de sus características fisicoquímicas.

La necesaria evacuación del material arrastrado requiere de una incisión fluvial previa al desarrollo de la cavidad que es posible establecer a partir de la relación geométrica entre la galería principal y la altimetría de las terrazas del río Ara. La cronología de la terraza del Caserío de Sesó permite situar la espeleogénesis de la cueva de Sesó en el Pleistoceno superior, coincidiendo con momentos de mayor disponibilidad hidrológica.

La cronología de esta hipótesis podrá ser confirmada o descartada una vez que se conozcan las edades U/Th de las coladas y estalagmitas más antiguas y que pueden pertenecer a los primeros momentos de crecimiento estalagmítico una vez vaciada la cavidad.

Agradecimientos

Este trabajo es una contribución del Proyecto CGL2009-10455/BTE (Ministerio de Ciencia e Innovación y Fondos Europeos) y de los Grupos de Investigación Geomorfología y Cambio Global y Paleoambientes del Cuaternario del Gobierno de Aragón. Agradecemos la ayuda económica del Geoparque del Sobrarbe y la colaboración de Enrique Oliver en el trabajo de laboratorio. Los autores agradecen los comentarios realizados por Juan José Durán, Jerónimo López-Martínez y un revisor anónimo.

Referencias

Bartolomé, M., Sancho, C., Moreno, A., Belmonte, A., Muñoz, A. y Osácar, M.C. (2011). En: *XIII Reunión Nacional de Cuaternario*, 151-153.

Bartolomé, M., Moreno, A., Sancho, C., Hellstrom, J. y Belmonte, A. (2012). *Geogaceta*, 51, 59-62.

Davis, B.L. y Smith, D.K. (1989a). *Powder Diffraction*, 3, 201-206.

Davis, B.L. y Smith, D. (1989b). *Powder Diffraction*, 4, 205-209.

Ford, D. y Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, 562 p.

Lewis, C., McDonald, E., Sancho, C., Peña, J.L. y Rhodes, E. (2009). *Global and Planetary Change*, 67, 141-152.

Marshall, A.F. y Workman, J.P. (1977). En: *Dispersive clays, related piping and erosion in geotechnical projects*. (J.L. Sherard y R.S. Decker, Eds.). American Society for Testing and Materials, 623, 274-286.

Mas, J. y Fuertes, X. (2007). *CIA de Teruel*, 2, 30-32

Resendiz, D. (1977). En: *Dispersive clays, related piping and erosion in geotechnical projects*. J.L. Sherard y R.S. Decker, Eds.). American Society for Testing and Materials, 623, 467-479.

Sherard, J.L., Decker, R.S. y Ryker, N.L. (1972). En: *Proceedings Special Conference on performance of earth and earth supported structures*. Purdue University, ASCE, 1, 589-626.

Soto, R. y Casas, A.M. (2001). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 14, 199-211.