

Espeleotemas en la Cueva de El Pindal (Asturias, N España): contribución a la evolución geomorfológica de la Costa Cantábrica

Speleothems from El Pindal Cave (Asturias, N Spain): contribution to the geomorphological evolution of the Cantabrian Coast

M. Jiménez-Sánchez (1), H. Stoll (1), A. Moreno (2, 3), A. Méndez-Vicente (1), M.J. Domínguez-Cuesta (1), A. Aranburu (4), J. Uriarte (5) y B.L. Valero-Garcés (2)

1) Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. C/ Arias de Velasco, s/n. 33005 Oviedo. mjimenez@geol.uniovi.es

2) Instituto Pirenaico de Ecología - CSIC. Apdo. 202. 50080 Zaragoza.

3) Limnological Research Center. University of Minnesota. 310 Pillsbury Drive SE. Minneapolis, MN 55455 (EEUU)

(4) Departamento Mineralogía y Petrología. Universidad del País Vasco. Ap. 644. 48080 Bilbao.

(5) Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales. Universidad del País Vasco. Ap. 644. 48080 Bilbao. Spain

Abstract

El Pindal Cave (4°30'W-43°23'N, 24 m asl) is developed in a karstic massif reaching its highest surface in a marine terrace (rasa) located at 50-64 m asl (Asturias, N Spain). The geomorphological evolution of the cave results from the incision of the active level, as shown by hanging alluvial levels and subsidence features as extensional fractures and tilted speleothems. At least four speleothem generations have been recognized, three of them dated by U-Th. The Generation 1 is older than 166 kyr, the Generation 2 yielded ages from 37 kyr to 4000 kyr and the Generation 3 is older than 7 kyr. Basal counting of annual laminae gave the age for the generation 4 (200 yr). Geomorphological evidence together with chronological data allowed us to estimate a tentative maximum elevation rate of 0.14 mm/yr for the Cantabrian Margin in this area, even though it is necessary to make further chronological studies to check this hypothesis.

Palabras clave: cueva, karst, terraza marina, geocronología, espeleotema, costa cantábrica

Key words: cave, karst, marine terrace, geochronology, speleothem, Cantabrian Coast

1. INTRODUCCIÓN

En la Costa Cantábrica de España, las terrazas marinas (rasas) son un elemento destacado del relieve (Flor, 1983; Mary, 1983) para el que recientemente se han realizado aproximaciones geocronológicas basadas en dataciones absolutas de espeleotemas (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2006) e isótopos cosmogénicos (Alvarez-Marrón *et al.*, 2007). Una de estas terrazas se desarrolla a altitudes comprendidas entre 50 y 64 m.s.n.m. y culmina el macizo kárstico en que se encuentra la cueva de El Pindal.

La cueva del Pindal se localiza en el E de Asturias (N España): 4°30'W - 43°23'N. Presenta un trazado de orientación E-O y 110°N y una longitud de 590 m, situándose su boca de entrada a 24 m.s.n.m. (Fig. 1). El objetivo de este trabajo es presentar una selección de los datos geocronológicos obtenidos en los espeleotemas de la cueva de El Pindal y discutir su interés en la evolución regional de la costa cantábrica.

2. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUEVA DE EL PINDAL: INVESTIGACIONES PREVIAS

Las investigaciones desarrolladas durante los últimos años han permitido proponer un modelo cualitativo de evolución de la cueva y su entorno (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2002) contrastado y actualizado mediante el desarrollo de investigaciones posteriores (Jiménez-Sánchez *et al.* 2004, 2006; Moreno *et al.* en prensa). En la geomorfología del entorno de la cueva de El Pindal destaca la presencia de tres niveles de terrazas marinas (Rasas III, II y VI: Flor Blanco, 2007). La Rasa III está a 185 m de altitud, la Rasa II corresponde al nivel aquí denominado Pimiango (125-170 m) y la Rasa VI al nivel aquí denominado Pindal (50-64 m). El frente de la Rasa de Pimiango está siendo desmantelado por la acción de cursos torrenciales que originan el depósito de abanicos sobre la superficie de la rasa inferior.

La evolución geomorfológica de la cavidad es el resultado de la actuación de: 1/ procesos de gravedad con desprendimientos de bloques del techo

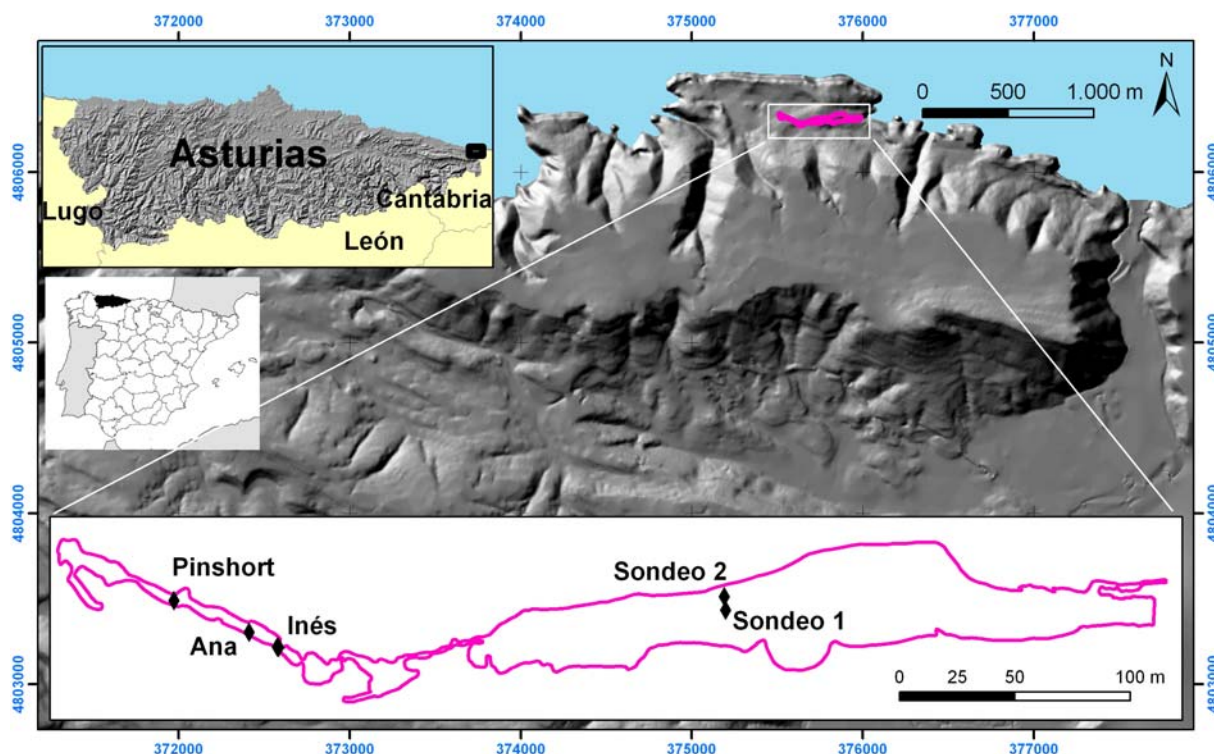


Fig. 1. Situación de la Cueva del Pindal, planta de la cueva y ubicación de las muestras referidas en este trabajo.

en relación con tres sistemas de fracturas; 2/ entrada de sedimentos detríticos por los procesos torrenciales que dismantelan el frente de la rasa de Pimiango, localizada más al sur; 3/ precipitación química de espeleotemas sobre los depósitos aluviales y los de colapso; 4/ encajamiento progresivo del curso activo de la cavidad, con desarrollo de niveles aluviales colgados y presencia de grietas de tracción y procesos de subsidencia y colapso incipiente en el piso de la misma.



Fig.2. Afloramiento de espeleotemas de la Generación 1 recubriendo a la secuencia detrítica formada por procesos fluviotorrenciales.

La presencia de un tubo freático bien desarrollado en el techo de la cavidad sugiere que al menos parte de su origen ha tenido lugar en condiciones freáticas

bien de agua dulce o por mezcla de aguas (dulce y marina).

En lo que respecta a los espeleotemas, la realización de una cartografía geomorfológica y el empleo de criterios morfométricos y de superposición permitió distinguir al menos cuatro generaciones de espeleotemas en el piso de la cavidad. La Generación 1 incluye estalagmitas, cascadas y espeleotemas tipo “flowstone” (más de 2 m de anchura y 3 m de altura) que recubren depósitos aluviales y depósitos de colapso, siendo mayormente inactivos. La Generación 2 está formada por estalagmitas decimétricas a métricas que recubren a los anteriores, siendo activas ocasionalmente. La Generación 3 incluye estalagmitas decimétricas a centimétricas superpuestas a las anteriores, siendo activas en su mayoría. Por último, la Generación 4 incluye estalagmitas activas de tonos muy blancos y tamaños centimétricos que precipitan sobre los anteriores.

La realización de dataciones U-Th permitió establecer una edad mínima de entre $124,2 \pm 1,5$ BP y $73,1 \pm 0,9$ ka BP para la Generación 1, de $2,7 \pm 0,5$ ka BP para la Generación 3 y de 200 años para la Generación 4 (Jiménez-Sánchez *et al.* 2006), no existiendo referencias cronológicas para la Generación 2.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Partiendo del estudio geomorfológico previo de la cavidad, se seleccionaron un conjunto de

espeleotemas pertenecientes a las diferentes generaciones establecidas y se procedió a su muestreo. Se realizaron dos sondeos sobre un gran espeleotema de tipo flowstone de la Generación 1, donde ya se disponía de dataciones U-Th de entre $124,2 \pm 1,5$ ka BP y $73,1 \pm 0,9$ ka BP. Para ello se realizaron dos sondeos con un taladro Hilti y una broca de diamante de 50 mm de diámetro. Uno de los sondeos (sondeo 1) fue realizado sobre el espeleotema y alcanzó 102 cm de profundidad, recuperándose 93 cm de testigo. Por motivos técnicos, no se pudo llegar al núcleo del espeleotema. El otro sondeo (sondeo 2) se realizó sobre un bloque desprendido de la parte externa del espeleotema, recuperándose los 75 cm completos de la secuencia. Además, se tomaron dos estalagmitas atribuidas a la Generación 2 (Moreno *et al.* en prensa) y tres estalagmitas atribuidas a la Generación 3. Dos de estos fueron utilizados con el fin de obtener una aproximación cronológica a la génesis de procesos de inestabilidad por gravedad en la cueva.

Las muestras fueron datadas posteriormente mediante U-Th en la Universidad de Minnesota, siguiendo el procedimiento establecido por Edwards *et al.* (1986).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dataciones

Las dataciones realizadas se sintetizan en la Tabla I, de las cuales la correspondiente a la base del sondeo 1 dio como resultado $166.737,3 \pm 3284,7$ BP. En el sondeo 2, se tomaron dos muestras que proporcionaron edades de 43.022 ± 885 BP y 9.667 ± 384 BP. La primera de éstas indica la edad mínima obtenida para el inicio de la formación de los espeleotemas de la Generación 1 de la cueva, y permite asignar también una edad mínima al karst.

| Muestra | Tipo Muestra | Edad Absoluta (ka BP) |
|----------------------|--------------|------------------------|
| Ana Base | Estalagmita | 7.462 ± 98 |
| Pinshort Base | Estalagmita | 3.307 ± 87 |
| Inés Techo | Estalagmita | 1.3511 ± 129 |
| Sondeo 2 (Cryst - 4) | Flowstone | 43.022 ± 885 |
| Sondeo 2 (Cryst - 2) | Flowstone | 9.667 ± 384 |
| Sondeo 1 Base | Flowstone | $166.737,3 \pm 3284,7$ |
| María Techo | Estalagmita | 4.370 ± 160 |
| María Base | Estalagmita | 13.785 ± 250 |
| Candela Techo | Estalagmita | 7.825 ± 75 |
| Candela Base | Estalagmita | 37.165 ± 1430 |

Tabla I. Tipos de depósitos kársticos y edades absolutas.

Las muestras de los dos espeleotemas atribuidos a la Generación 2 (espeleotemas Candela y María), dieron respectivamente resultados de 37.165 ± 1.430

BP a 7.825 ± 75 BP y 13.785 ± 250 BP a 4.370 ± 160 BP (Moreno *et al.* en prensa).

Respecto a la Generación 3 de espeleotemas, se dató la base de uno activo (Pinshort) que proporcionó una edad de 3.307 ± 87 BP. También se dató la base de otro espeleotema (Ana) que fosilizaba un desprendimiento (7.462 ± 98 BP) y el techo de un espeleotema (Inés), localizado por debajo del mismo (13.511 ± 129 BP).



Fig. 3. Ubicación del espeleotema "Inés" cuyo techo proporciona la edad máxima (13.511 ± 129 BP) para el desprendimiento del bloque que ocupa la parte superior de la fotografía.

Implicaciones geomorfológicas en la evolución de la cueva

De acuerdo con los datos geocronológicos disponibles hasta el momento, la secuencia de espeleotemas formados en la cavidad incluiría:

- espeleotemas más antiguos de 166 ka (Generación 1)
- espeleotemas entre 37 ka y 4 ka (Generación 2),
- espeleotemas holocenos, con edades anteriores a 7 ka (Generación 3) y
- speleotemas históricos, con edades entre 200 años y la actualidad, que precipitan sobre toda la secuencia anterior (Generación 4).

Por otra parte, las series detríticas reconocidas en el sector turístico de la cavidad (Fig. 2) son más antiguas de 166 ka, ya que se encuentran recubiertas por espeleotemas asignables a la Generación 1.

En cuanto a los desprendimientos rocosos, en este trabajo se ha podido establecer el rango temporal para el desarrollo de un desprendimiento consistente en un bloque originado por un proceso de rotación a partir de una discontinuidad (Fig. 3). Esta inestabilidad se produjo entre 13,5 ka (fecha del techo del espeleotema localizado por debajo del bloque) y 7, 5 ka (fecha de la base del espeleotema localizado por encima).

Implicaciones geomorfológicas regionales

Las evidencias geomorfológicas detectadas en el piso de la cueva, tales como desarrollo de niveles aluviales colgados, presencia de grietas de tracción y procesos de subsidencia y colapso incipiente sugieren un encajamiento progresivo de la cavidad en relación con un descenso relativo del nivel de base (Jiménez-Sánchez *et al.* 2002, 2006). Teniendo en cuenta, además, que en el techo de la cavidad se ha detectado la presencia de un conducto freático bien desarrollado, se podría asumir que la cueva se inició en condiciones freáticas a una cota similar a la del nivel del mar, aunque no se pueden descartar en su origen además procesos de mezcla de agua dulce y salada, sugeridos en otras áreas (Mylorie *et al.*, 1990).

Por tanto, se puede tomar como referencia la altitud de la cueva (24 m) para hacer estimaciones sencillas acerca de las tasas de elevación relativa del borde costero. Dado que la edad más antigua obtenida para los espeleotemas de la Generación 1 (>166 ka) proporciona una edad mínima para la formación del karst, es posible estimar que la tasa de elevación máxima del margen cantábrico en este sector es de 0,14 mm/año, con lo que la edad de la rasa de 57 m se cifraría en 0,407 Ma. Estas estimaciones se sitúan en el rango de los resultados obtenidos en el occidente de la costa cantábrica (entre 0,07 y 0,15 mm/año por Alvarez Marrón *et al.*, 2007), aunque la edad estimada para la rasa es algo menor que las inferidas por estos mismos autores mediante datación con isótopos cosmogénicos (entre 1 y 2 Ma para la rasa occidental a cotas entre 30 y 100 m.s.n.m).

5. CONCLUSIONES

La realización de dataciones U-Th ha permitido matizar la secuencia cronológica establecida para los espeleotemas en la cueva de El Pindal y asignar una edad más antigua que la establecida hasta el momento para el inicio de la formación de la Generación 3 de espeleotemas, que sería más antigua de 7 ka. Asimismo, se ha establecido un rango de edad posible para la formación de una parte de los desprendimientos rocosos en la cavidad entre 13,5 ka y 7,46 ka. A partir de los espeleotemas de la Generación 1, se obtiene una edad mínima para la formación del karst que permite proponer tentativamente una tasa de elevación de 0,14 mm/año para el margen Cantábrico en este sector, dato coherente con los obtenidos por otros autores en el occidente de la costa asturiana.

Agradecimientos

Este estudio está financiado por los proyectos CALIBRE (subproyecto CAVECAL) (CGL2006-13327-C04/CLI), y CONSOLIDER GRACCIE (MEC). A. Moreno agradece la financiación obtenida mediante el proyecto IBERABRUPT (Marie Curie OIF).

Agradecemos a la Consejería de Cultura, Comunicación Social y Turismo del Principado de Asturias las facilidades para el desarrollo de la investigación, especialmente a I. Alonso y a M.G. Pumariega.

REFERENCIAS

- Alvarez-Marrón, J., Hetzel, R., Niederman, S., Menéndez, R. and Marquínez, J. (2007): Origin, structure and exposure history of a wave-cut platform more than 1 Ma in age at the coast of Western Spain: a multiple cosmogenic nuclide approach. *Geomorphology*, 93 (3-4), 316-334.
- Edwards, R.L., Chen, J.H. y Wasserburg, G.J. (1986): ^{238}U - ^{234}U - ^{230}Th - ^{232}Th systematics and the precise measurements of time over the past 500.000 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 81, 175-192.
- Flor, G. (1983). Las rasas asturianas: ensayos de correlación y emplazamiento. *Trabajos de Geología*, 13. Univ. Oviedo, 65-81.
- Flor Blanco, G. (2007): *Características morfosedimentarias y dinámicas y evolución ambiental de los estuarios de Tina Mayor, Tina Menor y San Vicente de la Barquera (Costa Occidental de Cantabria)*. Tesis Doctoral (no publicada). Dpto. De Geología. Universidad de Oviedo. 477 pp.
- Mary, G. (1983). Evolución del margen costero de la Cordillera Cantábrica en Asturias desde el Mioceno. *Trabajos de Geología*, 13. Univ. Oviedo, 3-35.
- Jiménez-Sánchez, M., Anadón-Ruiz, S., Farias, P., García-Sansegundo, J. y Canto-Toimil, N. (2002). Estudio preliminar de la Geomorfología de la Cueva de El Pindal (Ribadedeva, Oriente de Asturias). *Geogaceta*, 31, 47-50.
- Jiménez-Sánchez, M., Canto Toimil, N. y Anadón Ruiz, S. (2004). Caracterización estratigráfica del relleno sedimentario de la Cueva de El Pindal (Ribadedeva, Asturias): implicaciones geomorfológicas. In: G. Flor (Ed.). *Actas de la XI Reunion de AEQUA*, 151-158.
- Jiménez-Sánchez, M., Bischoff, J., Stoll, H. and Aranburu, A. (2006). A geochronological approach for cave evolution in the Cantabrian Coast (Pindal Cave, NW Spain). *Z Geomorph., N. F. Suppl.*, 147, 129-141.
- Mylorie, J.E. and Carew, J.L. (1990). The flank margin model for dissolution cave development in carbonate platforms. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15, 413-424.
- Moreno, A., Stoll, H., Jiménez-Sánchez, M., Cacho, I., Valero-Garcés, B., Ito, E. and Edwards, R.L. (en prensa). A speleothem record of glacial rapid climatic changes from Northern Iberian Peninsula. *Global and Planetary Change*.