

Fases de karstificación y sedimentación endokárstica pliopleistocenas en el mediterráneo occidental: evolución de la Cueva de Nerja (Málaga, sur de España)

Plio-Pleistocene karstification and endokarstic sedimentation phases in western Mediterranean area: evolution of Nerja Cave (Málaga province, southern Spain)

J.J. Durán ⁽¹⁾, J. López-Martínez ⁽²⁾, B. Andreo ⁽³⁾, F. Carrasco ⁽³⁾, C. Jiménez de Cisneros ⁽⁴⁾, E. Caballero ⁽⁴⁾ y R. Julià ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid

⁽²⁾ Dpto. Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid

⁽³⁾ Dpto. de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. 29071 Málaga

⁽⁴⁾ Estación Experimental del Zaidín. CSIC. Profesor Albareda, 1. 18008 Granada

⁽⁵⁾ Instituto Jaume Almera. CSIC. Lluís Solé i Sabarís, s/n. 08028 Barcelona

ABSTRACT

Evidence of several phases of karstification and sedimentation in Nerja Cave (Málaga, southern Iberian Peninsula) is pointed out. The mentioned phases could be representative of the Plio-Quaternary endokarstic evolution in the western Mediterranean region. The oldest phase is Pliocene and supposes the formation of important underground holes, being possibly associated to a relatively long period of subtropical climate. During the Pleistocene, several phases of speleothems formation are identified, being separated one of the other by no-chemical sedimentation or erosive periods. Late, in the Medium Pleistocene and in the Upper Pleistocene the periods of speleothems growth correspond to warm isotopic stages of the oceanic sedimentary record. Erosive processes or detritic sedimentation in the endokarst occur during cold periods. The Holocene includes periods of chemical precipitation in the endokarst, in coincidence with the climatic optimum, clearly more humid in northern Africa ca. 7-6 ka.

Key words: Cueva de Nerja, karst, Quaternary, paleoclimate, speleothem, Spain.

Geogaceta, 31 (2002), 3-6
ISSN:0213683X

Introducción y marco geológico

La Cueva de Nerja es una gran cavidad kárstica, con unos 300.000 metros cúbicos de volumen conocido, situada en el extremo oriental de la provincia de Málaga, al sur de la Península Ibérica. La boca se sitúa muy cerca de la línea de costa, a 154 m s.n.m. El trazado de la cavidad es sensiblemente horizontal, con un eje mayor aproximadamente N-S (Fig.1), alternándose grandes salas, con miles de metros cuadrados de superficie, con pasajes estrechos que las conectan, a veces entre grandes macizos de espeleotemas, muy abundantes en toda la cavidad. Se abre en los mármoles dolomíticos triásicos de la Sierra Almirajara, pertenecientes a uno de los mantos de corrimiento del Complejo Alpujarride, en la Zona Interna de la Cordillera Bética (Sanz de Galdea-

no, 1986 y 1989). En el entorno de la cueva afloran sedimentos pliocenos y cuaternarios de origen marino y continental (Guerra y Serrano, 1993), relacionados con la evolución regional del karst costero de este sector en general y de la Cueva de Nerja en particular.

A partir de 1990, en la Cueva de Nerja y su entorno se han realizado numerosos trabajos, de diversa índole, que han permitido conocer los aspectos más importantes de esta cavidad (ver referencias en Carrasco *et al.*, 1998), así como establecer con relativa precisión su historia geológica, que puede ser considerada como un modelo representativo de esta región kárstica del Mediterráneo occidental, en lo relativo a las diferentes fases de karstificación y relleno del endokarst y a su significado paleoambiental.

Fases antiguas de karstificación

La Sierra Almirajara, donde se abre la Cueva de Nerja, quedó emergida, tras la estructuración regional alpina, con posterioridad al Burdigaliense medio (Carrasco *et al.*, 1998), y sus mármoles en disposición de ser karstificados. Sin embargo, aunque no existen evidencias conocidas en esta región de fases de karstificación miocenas, en otros sectores de la Cordillera Bética se encuentran algunos ejemplos de las mismas: Martín Algarra *et al.* (1989) citan, por ejemplo, la existencia de depósitos marinos tortonienses rellenando cavidades en Sierra Arana (Granada).

Las primeras evidencias netas de karstificación importante y generalizada se encuentran en relación con depósitos endokársticos y exokársticos de edad pliocena. Una de estas evidencias, pre-



Fig. 1.- Esquema tridimensional de la Cueva de Nerja. La flecha indica aproximadamente el norte geográfico. La distancia aproximada entre los puntos más alejados de la imagen en sentido norte-sur es 560 metros.

Fig. 1.- Tridimensional sketch of Nerja Cave. The arrow indicates the North. Distance between northern and southern ends of the image is approximately 560 m.

sente en un área relativamente cercana, ha sido estudiada por Aguilar *et al.* (1993) en una cavidad de la Sierra de Casarabonela (Málaga), totalmente rellena en la actualidad por sedimentos detríticos y espeleotemas. La fauna fósil existente, con 11 especies de roedores descritos, es una asociación característica del Plioceno terminal español, con una edad comprendida aproximadamente entre 2,4 y 2,2 millones de años.

En Sierra Arana (Martín Algarra *et al.*, 1989) se han descrito numerosas paleocavidades rellenas por sedimentos detríticos con micromamíferos, que indican también una edad pliocena (zonas 15 y 16 de Mein). Sobre materiales análogos del complejo Alpujárride, Lhènaff (1981) cita la presencia de un paleokarst relleno con materiales pliocenos en la vertiente meridional de la Sierra de Mijas, en el litoral occidental malagueño.

Otras evidencias están relacionadas con sedimentos ligados indirectamente a la actividad kárstica, como son algunos travertinos. Delannoy *et al.* (1993) sitúan cronológicamente un edificio travertínico existente en Puerto Martínez, en Sierra Prieta (Málaga), hacia el límite Mioceno-Plioceno, a partir de criterios paleobotánicos (presencia de flora indicativa de laurisilva tropical o subtropical) y a consideraciones geológicas y morfogenéticas regionales.

En la zona de Nerja, Durán (1996) ha citado como un indicio de actividad karstogénica pliocena la existencia de la Cueva del Lobo Marino, abierta en sedimentos marinos pliocenos, depositados en paleocavidades labradas en mármoles alpujárrides, idénticos a los de la Cueva de Nerja.

Una última evidencia directa de la existencia de una fase mayor de karstificación, que conllevó la generación de cavidades importantes, se deduce del análisis de los

testigos de una serie de sondeos recientemente realizados en las inmediaciones de la Cueva de Nerja. A unas decenas de metros por debajo de la superficie de los mármoles triásicos se cortan cavidades de orden métrico, rellenas por secuencias mixtas de sedimentación detrítica y química. En algunos de los testigos (Fig. 2) puede observarse que la base de la secuencia endokárstica está compuesta por arenas y conglomerados de colores claros, similares a los existentes en los afloramientos superficiales de los materiales marinos pliocenos.

La coincidencia de cota entre estos sedimentos endokársticos y la cota media de la Cueva de Nerja, así como la ausencia, de espeleotemas en la base de la secuencia su-

gieren una cercanía en el tiempo y en el espacio entre la sedimentación de los materiales marinos pliocenos y el origen de los vacíos donde se depositaron. Todo apunta, en consecuencia, a que la génesis de los primeros e importantes volúmenes de la Cueva de Nerja hay que situarla en el Plioceno. El factor que más contribuyó a que se desarrollara una fase karstogénica mayor fue posiblemente la disposición de un periodo de tiempo relativamente largo (varios millones de años) de clima subtropical. En el caso de los macizos kársticos litorales, como el de Nerja, la existencia de un alto nivel del mar (por encima de los 100 metros sobre el actual) y la presencia de una zona de interfase agua dulce-agua salada con un gradiente muy pequeño, posiblemente contribuyeron a la karstificación generalizada de una franja subhorizontal de unas decenas de metros de altura.

Fases pleistocenas de sedimentación endokárstica

La información existente en relación con la evolución del karst de la región de Nerja durante el Pleistoceno es mayor, debido sobre todo a la posibilidad de realizar dataciones absolutas de los abundantes espeleotemas presentes en la Cueva de Nerja (mediante los métodos de Th/U y ESR) y de algunos edificios travertínicos cercanos. Durán (1996) establece la presencia de, al menos, cinco fases de generación de espeleotemas durante el

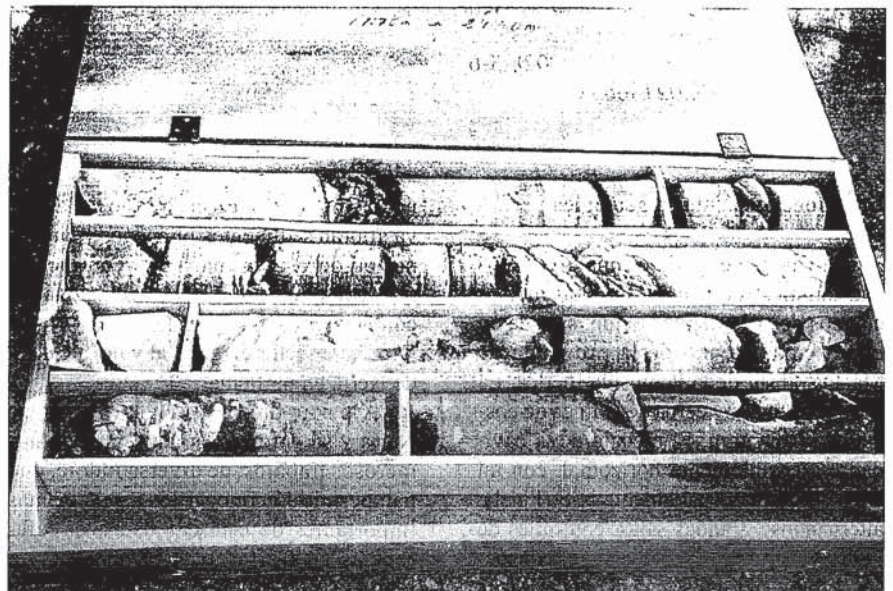


Fig. 2.- Testigo de un sondeo realizado en las inmediaciones de la Cueva de Nerja. Pueden observarse las arenas y conglomerados de colores claros, de origen marino y edad pliocena (abajo), relleno de la base de la secuencia endokárstica, por encima de los cuales aparecen brechas y arcillas rojas continentales y espeleotemas, ambos de edad pleistocena.

Fig. 2.- Core from the vicinity of Nerja Cave. Pliocene pale marine sands and conglomerates can be observed (below) infilling the base of an endokarstic sequence. Above there are breccia and red clay, and speleothems, both of continental origin and Pleistocene age.

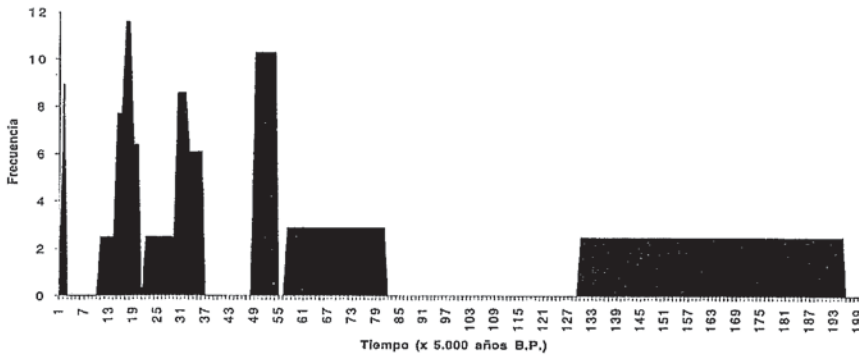


Fig. 3.- Etapas de crecimiento de espeleotemas datadas en la Cueva de Nerja.

Fig. 3.- Dated phases of speleothems growth in Nerja Cave.

Pleistoceno (Fig. 3), ordenadas de más antigua a más moderna:

- ca. 800 ka (1 ka = 1.000 años), en el entorno del tránsito Pleistoceno inferior-medio, deducida de dos dataciones ESR realizadas por Durán *et al.* (1993).
- ca. 350 ka, relacionable con el estadio isotópico 9, en la parte central del Pleistoceno medio.
- ca. 260 ka, en el estadio isotópico 7.

· un periodo comprendido entre 180 ka y 110 ka, correspondiente al final del estadio isotópico 6 y principios del 5.

· un último periodo entre 100 ka y 60 ka, con un máximo absoluto hacia 85 ka, en clara correspondencia con los últimos episodios del estadio isotópico 5.

También se ha establecido, aunque con menor precisión, la presencia de dos fases pleistocenas de depósito de sedimentos

detríticos dentro de la cavidad. Una, datada por Hoyos (1992; en Durán, 1996) mediante paleomagnetismo, hacia 1.900-1.600 ka; y la segunda, atribuida por Durán (1996) al Pleistoceno medio, sin mayores precisiones. En otra cavidad de la provincia de Málaga, el Sistema Hundidero-Gato, Durán y López-Martínez (1999) describen una secuencia endokárstica constituida por dos conjuntos de espeleotemas (de edades comprendidas entre 188 ka y 80 ka, y de ca. 35 ka, respectivamente) y un tramo detrítico situado entre los anteriores, e interpretan que la fase de aluvionamiento en el interior de la cavidad corresponde a una fase fría (estadio isotópico 4), mientras que las fases de concrecionamiento coinciden con sendos periodos cálidos (estadios 5 y 3).

A partir de estos datos, se puede establecer que durante el Pleistoceno se han sucedido varias fases de relleno sedimentario de la Cueva de Nerja, sin que pueda descartarse la existencia de otras fases menores de disolución y generación de nuevos vacíos o ampliación de los ya existentes de la fase o fases anteriores. Un pulso importante en el proceso de relleno detrítico se apunta hacia el tránsito Plioceno - Pleistoceno o en el Pleistoceno inferior, posiblemente debido a la coincidencia de un momento de reactivación del relieve, por el funcionamiento de fallas normales o de salto en dirección con cierta componente vertical, con un empeoramiento del clima (en el sentido de comienzo de las inestabilidades y

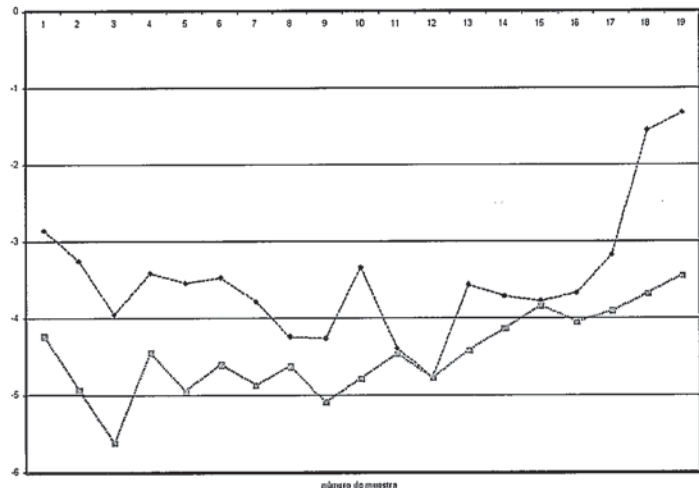
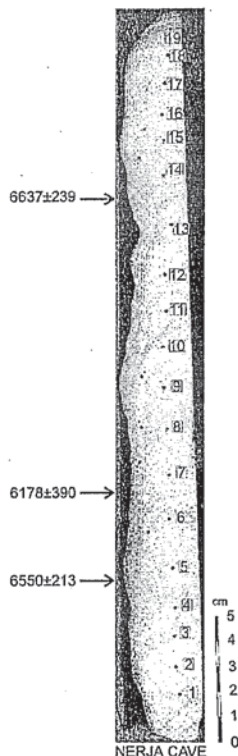


Fig. 4.- Izquierda: estalagmita holocena de la Cueva de Nerja. Las cifras exteriores indican edades absolutas (Th/U) con el margen de error, en años BP. Los números del interior de la estalagmita corresponden a los puntos de extracción de muestras para el análisis de isótopos estables, representados en el diagrama de la derecha. Los rombos representan los valores de $\delta^{13}C$, mientras que los cuadrados corresponden a $\delta^{18}O$, ambos expresados en valores δ vs. PDB (‰).

Fig. 4.- Left: Holocene stalagmite from Nerja Cave. External numbers indicate absolute ages (Th/U) in years BP, and the statistical error. Numbers inside the stalagmite indicate the place where samples for isotopic analysis have been taken. Right: diagram of isotopic values. Rhombs are the $\delta^{13}C$ values and squares are the $\delta^{18}O$ values, both in δ units vs. PDB (‰).

alternancias climáticas típicas del Cuaternario).

Pese a las lagunas de información existentes en lo relativo al Pleistoceno inferior y a la primera mitad del Pleistoceno medio (debidas posiblemente más a las limitaciones de los métodos de datación y a la dificultad de acceder a las generaciones de espeleotemas más antiguas que a la inexistencia de fases de relleno), es muy probable que la evolución haya consistido en la alternancia de fases de crecimiento de espeleotemas durante los estadios isotópicos impares (por lo general, húmedos y cálidos), y de fases de interrupción de la sedimentación química o incluso de erosión de los espeleotemas preexistentes, con posibilidad de sedimentación de materiales detríticos endokársticos (siempre que la conexión con el exterior lo hubiera permitido), durante los estadios isotópicos pares, por lo general más secos y fríos. Obviamente, esta regla no es absoluta, y existen episodios de concrecionamiento, como el situado al final del estadio isotópico 6, relacionados con momentos de clima global frío, explicables por circunstancias regionales, tanto del sur como del centro de la Península Ibérica (Durán, 1996; Barea, 2001).

Fases de sedimentación finipleistocenas y holocenas en la Cueva de Nerja

Hacia el fin del Pleistoceno y durante el Holoceno, se registran aún algunas etapas importantes en la evolución de la Cueva de Nerja. Por un lado, la presencia de un yacimiento arqueológico cercano a la boca natural de la cueva permite constatar algunas de las variaciones paleoclimáticas registradas en los últimos 20.000 años; por otro, existen espeleotemas generados durante el Holoceno.

Jordá Pardo (1992) interpreta la presencia de ciertos sedimentos detríticos existentes en las cercanías de la boca y datados hacia 12.500 BP, como generados por procesos de gelivación, bajo un clima frío y húmedo.

El crecimiento de espeleotemas quedó prácticamente detenido en el estadio isotópico 2, no habiéndose detectado espeleotemas de esa edad. Durán (1996) y López-Martínez *et al.* (2000) describen una generación de espeleotemas holocenos, bien marcada en el paisaje subterráneo de la cavidad. Dataciones absolutas (Th/U), llevadas a cabo en el Laboratorio de Geocronología del Instituto Jaime Almera del CSIC (Fig. 4), sitúan esta generación de espeleotemas aproximadamente hacia 7.000-6.000 BP. Esta edad es coincidente con la de espeleotemas similares hallados en otras cavidades de la Península Ibérica, donde se ha detectado igualmente esta fase de concrecionamiento intraholoceno, como es el caso de la Cueva de Valporquero, en la provincia de León (Durán *et al.*, 2000). Dicha fase se relaciona netamente con el óptimo climático holoceno, caracterizado en el norte de África por ser un momento húmedo (Rognon, 1987 y 1996), y en las costas peninsulares mediterráneas por registrarse una alta parada del nivel del mar (Lario *et al.*, 1993), indicativa de un repunte cálido.

Los análisis isotópicos seriados realizados en el Laboratorio de Geoquímica del Zaidín del CSIC, sobre muestras tomadas del eje de crecimiento de una estalagmita holocena de esta fase (Fig. 4) indican una secuencia de enfriamiento paulatino, partiendo desde valores de $\delta^{18}\text{O}$ indicativos de paleotemperaturas ligeramente superiores a la media anual actual del entorno de Nerja (18°C) hasta valores que sugieren temperaturas de equilibrio algo menores. La existencia de esta fase habría que ligarla, en cualquier caso, más que a estas ligeras fluctuaciones de las paleotemperaturas, al aumento de la recarga hídrica efectiva de la zona no saturada del karst, debido a un aumento en las precipitaciones.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha realizado en el marco del proyecto PB97-1267-CO3-

02 de la Dirección General de Investigación Científica y Técnica. Es también una contribución del Grupo Español de Trabajo del Proyecto 448 del Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP). Los autores agradecen la financiación y el apoyo del Patronato y la Fundación Cueva de Nerja, al Ministerio de Medio Ambiente por las facilidades para el estudio de los sondeos, y a Ángel Jiménez Biedma, por el tratamiento infográfico del modelo tridimensional de la cueva.

Referencias

- Aguilar, J.P., Michaux, J., Delannoy, J. and Guendon, J.L. (1993): *Scripta Geol.*, 103, 1-22.
- Barea, J. (2001): *Tesis Doctoral*, Universidad Complutense de Madrid, 267 pp.
- Carrasco, F., Durán, J.J., Andreo, B., Liñán, C. y Vadillo, I. (1998): En: J.J. Durán y López-Martínez, J. (Eds.), *Karst en Andalucía*, 173-181. ITGE, Madrid.
- Delannoy, J.J., Guendon, J.L., Quinif, Y. y Roiron, P. (1993): *Cuadernos de Geografía*, 54, 189-222.
- Durán, J.J. (1996): *Tesis Doctoral*, Universidad Complutense de Madrid, 409 pp.
- Durán, J.J., Grün, R. y Ford, D.C. (1993): *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 3, 233-248.
- Durán, J.J. y López-Martínez, J. (1999): En: L. Pallí y C. Roqué (Eds.), *Avances en el estudio del Cuaternario español*, 159-164. Gerona.
- Durán, J.J., López-Martínez, J., Dallai, L., Bruschi, G., Caballero, E. Jiménez de Cisneros, C. y Julià, R. (2000): *Geogaceta*, 23, 63-66.
- Guerra, A. y Serrano, F. (1993): *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 3, 55-90.
- Jordá Pardo, J.F. (1992): *Tesis Doctoral*, Universidad de Salamanca, 888 pp.
- Lario, J., Zazo, C., Somoza, L., Goy, J.L., Hoyos, M., Silva, P.G. y Hernández Molina, J.L. (1993): *Rev. de la Soc. Geo. de España*, 6, 3-4, 41-46.