

Los espeleotemas de las cuevas de Ortigosa de Cameros (La Rioja): datos cronológicos y consideraciones paleoambientales

The speleothems from the Ortigosa de Cameros caves (La Rioja, Spain): chronological data and palaeoenvironmental considerations

A. Muñoz (*), J.L. Peña (**), C. Sancho (*) y M.A. Martínez (**)

(*) Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza.

(**) Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza.

Abstract

Disequilibrium U/Th series and radiocarbon-AMS radiometric techniques on speleothemic deposits from the Ortigosa de Cameros Caves (La Rioja, Spain) have been applied. The obtained data indicate variable frequency climatic changes during Upper Pleistocene and Holocene times. Three speleothem growth stages (>400, 179-38 and 23-7 ky) which can be related to warm global isotopic periods (11-9, 5-3 and 1) have been differentiated. During the most recent stage another three phases of speleothem activity related to regional warm and little wet environmental conditions (Holocene Optimum, Little Optimum and 150 BP-present time) have been deduced.

Key words: Speleothem, radiometric ages, climatic changes, Iberian Range.

Geogaceta, 30 (2001), 95-98

ISSN:0213683X

Introducción

Los espeleotemas constituyen, junto con los sedimentos detríticos endokársticos, la respuesta sedimentaria interna de la dinámica de los sistemas kársticos. Durante el Cuaternario, el desarrollo de estos depósitos está directamente controlado por cambios climáticos, de manera que existe una relación general entre etapas cálidas y crecimiento espeleotémico, tanto a nivel global (Henning *et al.*, 1983) como regional (Durán, 1989). Así, los espeleotemas se convierten en una importante herramienta de cara a realizar reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas en áreas continentales. Este hecho se debe, entre otras razones, a la posibilidad de utilizar de manera combinada diferentes técnicas radiométricas para determinar la edad absoluta de los espeleotemas (Quinif, 1989; Genty y Massault, 1997). Como consecuencia, el análisis cronológico de los espeleotemas permite establecer secuencias paleoambientales formadas por cambios climáticos de larga y corta duración, que representan ciclos de baja y alta frecuencia.

Así, el objetivo planteado consiste en elaborar un modelo de evolución paleoambiental constituido por secuencias paleoclimáticas con ciclicidad de frecuencia variable, durante el Pleistoceno

superior y Holoceno, en el sector centro-septentrional de la Península Ibérica a partir de los depósitos estalagmíticos de las cuevas de La Paz y de La Viña en Ortigosa de Cameros (La Rioja).

En la Península Ibérica son escasas las investigaciones relacionadas con el significado paleoclimático de los espeleotemas. Además de la recopilación general de Durán (1989), existen algunos trabajos desarrollados en la Cueva de Nerja (Durán *et al.*, 1993; Reyes *et al.*, 1993) y más recientemente en el sistema endokárstico de Valporquero (Durán *et al.*, 2000). Atención especial ha sido dedicada a los espeleotemas de las cuevas de Mallorca (Vesica *et al.*, 2000).

El área de estudio y las cuevas de Ortigosa de Cameros

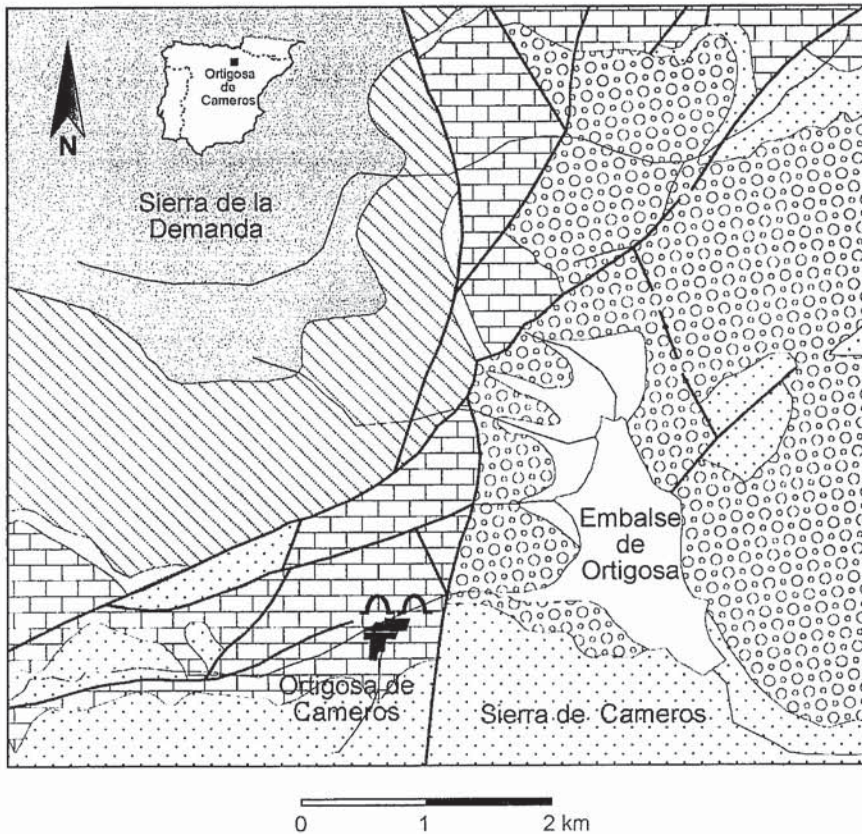
El área de estudio se localiza en el extremo más occidental de la Sierra de Cameros (Cordillera Ibérica occidental) (Fig. 1). Desde el punto de vista geológico (ITGE, 1990) en esta región afloran materiales paleozoicos, que constituyen el núcleo de la Sierra de La Demanda, y sedimentos mesozoicos y cenozoicos pertenecientes mayoritariamente a la Sierra de Cameros. Este conjunto cabalga sobre facies conglomeráticas terciarias de la Cuenca del Ebro. La serie mesozoica, afectada por un sistema de frac-

turas con orientación preferente NE-SO, está constituida por depósitos triásicos y jurásicos, ordenados en una estructura monoclinical que buza hacia el S-SE y por una potente serie del Cretácico inferior en facies Weald. Las cuevas de La Paz y La Viña se han desarrollado en materiales carbonatados constituidos por 185 m de calizas del Jurásico medio, sedimentados en una plataforma interna somera de alta energía.

Las cuevas de La Paz y de La Viña se localizan en el macizo de Encineto (1.073 m), cerca de la localidad de Ortigosa de Cameros. Constituyen una manifestación importante de la actividad endokárstica cuaternaria en la Cordillera Ibérica. La gruta de La Viña tiene una longitud que supera los 100 m, mientras que topográficamente por encima se abre la gruta de La Paz, de mayores dimensiones, que alcanza los 236 m de longitud. Estas cavidades presentan un desarrollo horizontal con conductos freáticos modificados posteriormente bajo condiciones vadosas. Su geometría en planta parece estar controlada por las orientaciones principales del sistema de fracturación regional (NE-SO).

Material y metodología

En general, las Cuevas de Ortigosa de Cameros presentan una excelente



	Cuaternario		Facies Buntsandstein
	Terciario		Paleozoico
	Facies Purbeck-Weald		Fallas
	Jurásico carbonatado		Cuevas de Ortigosa
	Facies Keuper		

Figura 1. Localización y situación geológica de las Cuevas de Ortigosa de Cameros.

Figure 1. Location and geological setting of the Ortigosa de Cameros Caves.

ornamentación espeleotémica con gran variedad de morfologías (Fig. 2a). Especial interés presentan las estalagmitas y las coladas estalagmíticas. La difracción de rayos-X indica que las estalagmitas están compuestas, casi exclusivamente, por calcita de bajo contenido en magnesio. La proporción media molar de $MgCO_3$ dentro la calcita es de 0,51%, con valores máximos de 1,05 %.

En un análisis geomorfológico inicial fueron diferenciadas tres etapas de crecimiento espeleotémico en base a la ordenación morfoestratigráfica de las estalagmitas. Considerando esta diferenciación se obtuvieron algunas muestras en la gruta de La Paz (LP) y en la gruta de La Viña (LV) destinadas a determinar edades radiométricas. Para ello han sido utilizadas tanto las relaciones isotópicas U/Th (Laboratorio de Geoquímica Isotópica del Centre d'Etudes et de Recherches Appliquées au Karst de la

Faculté Polytechnique de Mons), como técnicas de radiocarbono-AMS (Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie Isotopique de la Université de Paris-Sud).

Datos cronológicos de los espeleotemas

La aplicación de las técnicas de datación de U/Th a la secuencia de etapas de desarrollo estalagmítico ha ofrecido los resultados indicados en la Tabla 1. La etapa más antigua está representada por coladas estalagmíticas (Fig. 2b) (muestra LV-6), que se observan claramente en la galería inferior (gruta de La Viña). La edad obtenida es superior a los 463.000 años. La etapa intermedia es la más importante y generalizada, se superpone a la anterior, y está asociada con las estalagmitas de mayor desarrollo en ambas cavidades (Fig. 2c). Ha sido analizada la base (LP-1.B) y

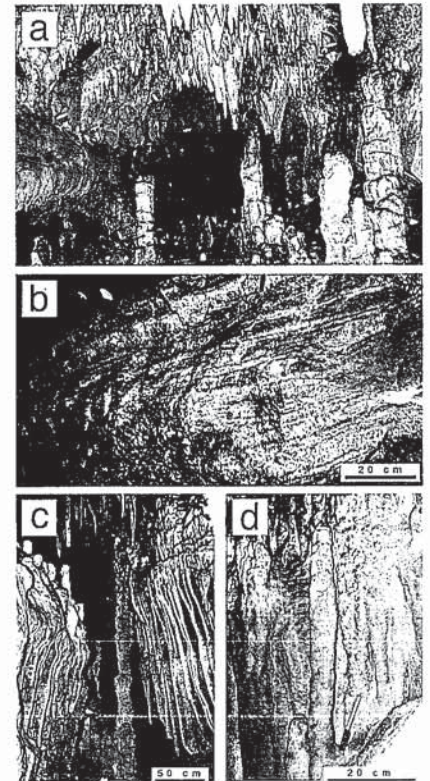


Figura 2. Ornamentación espeleotémica general de las Cuevas de Ortigosa de Cameros (a). Colada estalagmítica (Cueva de La Viña) correspondiente a la etapa inicial (>400.000 años) (b). Estalagmita (Cueva de La Paz) perteneciente a la etapa intermedia (179.000-38.000 años) (c). Estalagmita holocena (Cueva de La Viña) de la etapa final (3.400-actualidad) (d).

Figure 2. General speleothemic decoration in the Ortigosa de Cameros Caves (a). Flowstone (La Viña Cave) corresponding to the first speleothem growth stage (>400,000 years) (b). Stalagmite (La Paz Cave) related to the second speleothem stage (179,000-38,000 years) (c). Holocene stalagmite (La Viña Cave) corresponding to the third speleothem stage (3,400-Present time) (d).

el techo (LP-1.T) de una estalagmita localizada en la gruta de La Paz. La separación longitudinal de las dos muestras es aproximadamente de 80 cm. La edad propuesta para la base es de 179.200 (+41.400/-30.100) años y para el techo es de 38.700 (+2.000/-2.100) años. Finalmente, es posible diferenciar un tercer estadio que está relacionado con estalagmitas de menor tamaño (Fig. 2d), claramente superpuestas a los crecimientos anteriores. Para determinar la edad de esta etapa más reciente se utilizaron dos muestras. Los datos obtenidos son 23.200 (+3.000/-2.900) años para la muestra LV-1 y 7.600 (+700/-700) años para la muestra LP-4.

Los análisis realizados y los resultados obtenidos son buenos desde del punto

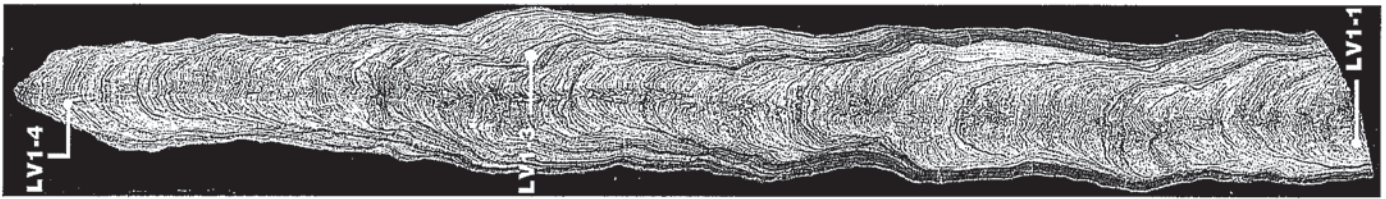


Figura 3. Sección longitudinal de la estalagmita LV-1 donde se observa la laminación interna y numerosas superficies de discontinuidad marcadas por láminas oscuras. También se indica la posición de las muestras tomadas para su datación mediante la técnica de C-14 AMS.

Figure 3. View of vertical polished section of LV-1 stalagmite. Note the well-laminated structure and the growth laminae discontinuities characterized by very thin dark-compact laminae. Sample points for C-14 AMS analyses are indicated.

de vista geoquímico. Sin embargo, en todos los casos la relación isotópica $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ es demasiado débil debido a la presencia de contaminaciones de Th detrítico, por lo que la edad presenta un cierto grado de incertidumbre, siendo posible que la edad real pueda quedar fuera del intervalo de error propuesto.

De cara a contrastar la edad radiométrica de la estalagmita LV-1 (23.000 años) se realizaron tres dataciones (Fig. 3), mediante la utilización de la técnica de C-14 AMS, cuyos resultados se indican en la Tabla 2. La actividad espeleotérmica se reanudó hace 3.400 años y finaliza prácticamente en la actualidad, con dataciones intermedias de 1.200 y 700 años.

Consideraciones paleoambientales

Aunque los datos radiométricos de U/Th no muestran una gran precisión, es posible realizar una propuesta de ordenación cronológica de las tres etapas de desarrollo espeleotérmico existentes en las Cuevas de Ortigosa de Cameros. De acuerdo con todos los datos radiométricos, y considerando la relación existente a nivel global entre las etapas de desarrollo espeleotérmico y los estadios isotópicos cálidos (Henning *et al.*, 1983), se puede proponer la siguiente secuencia cronológica de etapas de desarrollo estalagmítico en las Cuevas de Ortigosa de Cameros (Fig. 4):

- Etapa inicial. La actividad espeleotérmica comenzó antes de los 400.000 años (límite del método). Probablemente esta etapa debe de correlacionarse con el estadio isotópico 11 o estadios anteriores.

- Etapa intermedia. Es la etapa más importante. El desarrollo de estalagmitas

se localiza entre 179.000 y 38.000 años y podría incluir los estadios isotópicos 7, 5 y 3, separados probablemente con intervalos de tiempo de inactividad (estadios isotópicos 4 y 6).

- Etapa final. La actividad de esta fase está claramente relacionada con el estadio isotópico 1 (últimos 10.000 años).

Esta propuesta mantiene también una buena correlación con las dataciones realizadas en espeleotemas a nivel de la Península Ibérica (Durán, 1989) (Fig. 4). Si se intenta relacionar estas etapas cálidas con otros registros paleoclimáticos del N peninsular se detecta la escasa información paleoambiental disponible. En la Cordillera Ibérica los depósitos tobáceos fluviales datados indican que el desarrollo de los edificios tiene lugar durante los estadios isotópicos cálidos 7, 5, 3 y 1 (Martínez-Tudela *et al.*, 1986; García del Cura *et al.*, 1996; Sancho *et al.*, 1997; Peña *et al.*, 2000). Existen menos datos relativos a la existencia de períodos climáticos fríos opuestos a los anteriores. Diversos autores indican la existencia de modelados glaciares y periglaciares (Gutiérrez y Peña, 1977; García-Ruiz, 1979; Peña *et al.*, 2000) y registros lacustres (Peñalba *et al.*, 1997) asociados con etapas frías cuaternarias en diversos puntos de la Cordillera Ibérica. Aunque los datos cronológicos son escasos, estas etapas se asocian con el último período glacial (20.000 años, período isotópico 2), Younger Dryas (13.500 años) y épocas frías intraholocenas.

Además de estos cambios climáticos de gran escala, es posible detectar modificaciones ambientales de rango inferior dentro de la etapa de crecimiento espeleo-

témico más reciente de edad holocena (estadio isotópico 1).

Considerando el carácter estacional de la laminación interna de la estalagmita LV-1 se han contabilizado láminas correspondientes a 900 ciclos anuales entre 3.400 y 1.200 BP, 326 ciclos entre 1.200 y 700 BP y 50 ciclos entre 700 BP y la actualidad (Fig. 3). Así, la primera etapa de crecimiento estalagmítico puede coincidir con el final del Óptimo Climático Postglacial u Óptimo del Holoceno (7.000-3.000 BP), la segunda se produce durante un período cálido centrado en el Pequeño Óptimo o Época Cálida Medieval (1.000-800 BP) y la tercera coincide con el siglo XX (Gribbin y Lamb, 1978; Berger, 1992 y Goudie, 1992). Por otro lado, entre las dos primeras etapas se debe de producir una interrupción de más de 1.000 años, coincidiendo con la Época Fría de la Edad del Hierro (2.900-2.300 BP), mientras que entre las segundas la interrupción de casi 200 años, debe estar relacionada con la Pequeña Edad del Hielo (550-150 BP) (Fig. 5). Esta alternancia está perfectamente documentada en áreas próximas de la Depresión del Ebro y en la Cordillera Ibérica mediante secuencias aluviales y de ladera (Gutiérrez *et al.*, 1998; Gutiérrez y Peña, 1998).

Conclusiones

El estudio de los espeleotemas de las Cuevas de Ortigosa de Cameros ha permitido establecer una secuencia evolutiva paleoambiental definida por cambios climáticos de frecuencia variable:

a) Se han diferenciado tres etapas de desarrollo espeleotérmico. La más antigua

Muestra	Referencia laboratorio	[U] _{norm}	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$[\text{C}^{14}\text{U}/^{238}\text{U}]_{\text{norm}}$	EDAD (miles de años)
LP-4	6173	0,043 ± 0,001	1,100 ± 0,027	0,068 ± 0,006	3,0 ± 0,5	1,102	7,6 [+0,7/-0,7]
LV-1	6174	0,031 ± 0,001	1,148 ± 0,029	0,193 ± 0,022	4 ± 1	1,158	23,2 [+3,0/-2,9]
LP-1 Techo	6171	0,038 ± 0,001	1,239 ± 0,032	0,303 ± 0,013	7,8 ± 0,8	1,266	38,7 [+2,0/-2,1]
LP-1 Base	6172	0,022 ± 0,001	1,389 ± 0,046	0,857 ± 0,068	7,1 ± 1,6	1,643	179,2 [+41,4/-30,1]
LV-6	6175	0,059 ± 0,001	1,088 ± 0,018	1,041 ± 0,019	4,3 ± 0,1	-	> 463

Tabla 1. Datos analíticos de las dataciones de U/Th.

Table 1. Analytical data of U/Th datings.

Muestra	Referencia laboratorio	mm al techo	EDAD (años)
LV1-1	PA762/H2401	540	3400
LV1-3	PA763/H2409	210	1200
LV1-4	PA764/H2410	20	700

Tabla 2. Datos analíticos de las dataciones de C-14 AMS.

Table 2. Analytical data of radiocarbon-AMS datings.

comenzó antes de los 400.000 años. La etapa intermedia es la más importante y se prolongó entre los 179.000 y 38.000 años con algunos períodos intercalados de inactividad. La fase final tiene lugar durante el Holoceno. Estas etapas coinciden con estadios isotópicos impares (11, 7, 5-3 y 1) de características cálidas. Estos datos indican cambios climáticos de baja frecuencia o larga escala (10^4 - 10^5 años).

b) Dentro de la etapa acumulativa más reciente, controlada cronológicamente con dataciones de radiocarbono (3.400, 1.200 y 700 BP) es posible diferenciar ciclos climáticos de alta frecuencia o corta escala (10^2 - 10^3 años). Alternan etapas cálidas y poco húmedas (Óptimo Holoceno, Pequeño Óptimo) durante las que crecen los espeleotemas, separadas por fases frías (Época Fría del Hierro y Pequeña Edad del Hielo) en las que se detiene la actividad espeleotémica. En tiempos recientes se ha reanudado gradualmente el desarrollo de las estalagmitas.

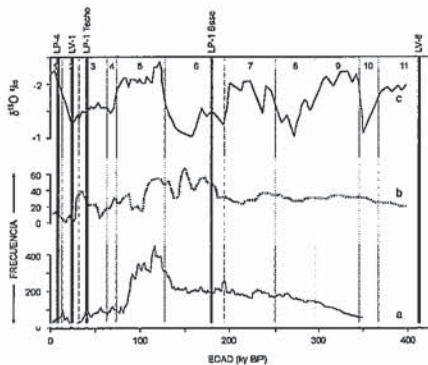


Figura 4. Relaciones entre dataciones de U/Th de diferentes estalagmitas de las Cuevas de Ortigosa de Cameros y los histogramas de frecuencia de edad de espeleotemas a escala mundial (Henning et al., 1983) (a), en la Península Ibérica y Baleares (Durán, 1989) (b) y comparación con estadios isotópicos del registro marino (Shackleton y Opdyke, 1973) (c).

Figure 4. Relations among U/Th chronological data from different analyzed stalagmites in the Ortigosa de Cameros Caves and age frequency histograms from stalagmites in the world (Henning et al., 1983) (a), age frequency in the Iberian Peninsula and Balears Islands (Durán, 1989) (b) and isotopic stages from marine records (Shackleton and Opdyke, 1973) (c).

c) La fiabilidad de los cambios climáticos de frecuencia variable detectados a partir del estudio de los espeleotemas de las Cuevas de Ortigosa de Cameros está avalada por la buena correlación existente con la información paleoclimática obtenida mediante otros indicadores geomorfológicos del sector NE de España.

Agradecimientos

Queremos agradecer a los Dres. Dominique Genty e Ives Quinif su colaboración en la datación de los espeleotemas. Trabajo financiado por el Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros y por el Gobierno de La Rioja (Instituto de Estudios Riojanos).

Referencias

Berger, A. (1992): "Le climat de la Terre". De Boeck Université, 479pp. Bruxelles.
 Durán, J.J. (1989): En: Durán, J.J. y López, J. (eds.). *El karst en España*: 243-256. Monografía, 4, Sociedad Española de Geomorfología.
 Durán, J.J.; Grün, R. y Ford, D.C. (1993): *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 3: 233-248.
 Durán, J.J.; López, J.; Dallai, L.; Bruschi, G.; Caballero, E.; Jiménez, C. y Julià, R. (2000): *Geogaceta*, 27: 63-67.
 García del Cura, M A.; González, I A.; Ordóñez, S. y Pedley, M. (1996): En: García, J.L. y González, E. (eds.). *Elementos del Medio Natural en la provincia de Ciudad Real*: 84-129. Universidad de Castilla-La Mancha.
 García-Ruiz, J.M. (1979): *Cuadernos de Investigación (Geografía e Historia)*, 5: 3-25.
 Genty, D. y Massault, M. (1997): *Radiocarbon*, 39: 33-48.
 Goudie, A. (1991): "Environmental change". Clarendon Press, 329 pp.
 Gribbin, J. y Lamb, H.H. (1978): En: Gribbin, J. (ed.) "Climatic Change": 68-82. University Press, Cambridge.
 Gutiérrez, M. y Peña, J.L. (1977): *Boletín Geológico y Minero*, 88: 109-115.
 Gutiérrez, M. y Peña, J.L. (1998):

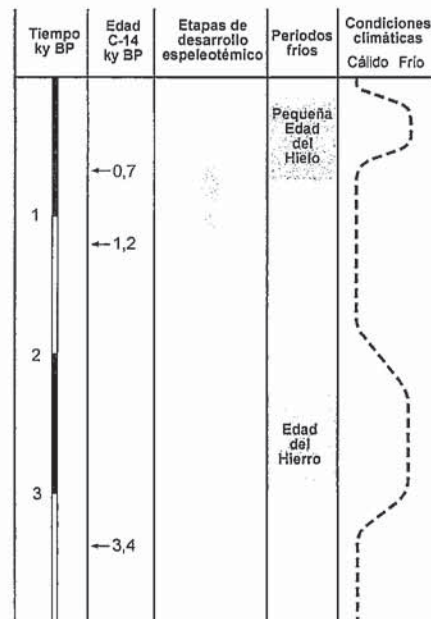


Figura 5. Evolución paleoclimática holocena deducida a partir de la estalagmita LV-1.

Figure 4. Palaeoclimatic Holocene evolution deduced from the stalagmite LV-1.

Geomorphology, 23: 205-217.
 Gutiérrez, M.; Sancho, C.; Arauzo, T. y Peña, J.L. (1998): En: Alsharhan, Glennie, Whittle y Kendall (eds.). *Quaternary Deserts and Climatic Change*: 593-599. Balkema.
 Henning, G.J.; Grün, R. y Brunacker, K. (1983): *Quaternary Research*, 20: 1-29.
 ITGE (1990). *Mapa geológico de España. Escala 1:50.000. 2ª Serie (241) Anguiano*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
 Martínez-Tudela, A.; Cuenca, F.; Santisteban, C.; Grün, R. y Hentzsch, B. (1986): En López-Vera (ed.) *Quaternary Climate in Western Mediterranean*: 307-324.
 Peña, J.L.; Sancho, C. y Lozano, M.V. (2000): *Earth Surface Processes and Landforms*, 25: 1.403-1.417.
 Peñalba, M.C.; Arnold, M.; Guiot, J.; Duplessy, J.C. y Beaulieu, J.L. (1997): *Quaternary Research*, 48: 295-214.
 Quinif, Y. (1989): *Spéléochronos*, 1: 3-22.
 Reyes, E.; Caballero, E.; Delgado, A. y Jiménez, C. (1993): *V Congreso de Geoquímica de España*: 141-145.
 Sancho, C.; Peña, J.L. y Meléndez, A. (1997): *Zeitschrift für Geomorphologie*, 41: 289-307.
 Shackleton, M.J. y Opdyke, N.D. (1973): *Quaternary Research*, 3: 39-55.
 Vesica, P.L.; Tuccimei, P.; Turi, B.; Fornos, J.J.; Ginés, A. y Ginés, J. (2000): *Quaternary Science Reviews*, 19: 865-879.