Zubía Monográfico 20 21-36 Logroño 2008

MONITORIZACIÓN CLIMÁTICA DE LAS CUEVAS DE ORTIGOSA DE CAMEROS (LA RIOJA): APLICACIÓN A LA INTERPRETACIÓN DEL REGISTRO CLIMÁTICO DE LOS ESPELEOTEMAS HOLOCENOS

ARSENIO MUÑOZ[1]
CARLOS SANCHO[1]

RESUMEN

La monitorización (registro de temperatura, humedad y goteo) de las cuevas de La Paz y La Viña en Ortigosa de Cameros (La Rioja) ha permitido establecer el patrón de comportamiento climático en el interior de las cuevas. Los registros muestran una clara bipolaridad de las temperaturas con mínimos en Marzo-Junio y máximos en Agosto, siendo la oscilación entre los puntos extremos inferior a 1ºC. La curva de temperaturas aparece fuertemente modulada por la superposición de una contaminación antrópica derivada de las visitas turísticas. El goteo en las cuevas se reduce a los meses de Noviembre-Junio con una etapa inicial intensa y otra posterior de goteo más lento. Se correlaciona este goteo anual diferencial con la formación de la laminación observada en los espeleotemas del Holoceno. Así, el goteo rápido generaría la lámina oscura del ciclo estacional y el goteo más lento y efectivo generaría la lámina más clara. El análisis espectral de los espesores de las láminas muestra la presencia de ciclos de muy alta frecuencia relacionados con la actividad solar.

Palabras clave: Temperatura, goteo, espeleotemas, clima, Holoceno, edades radiométricas, ciclicidad, Cordillera Ibérica.

The monitoring (air-cave temperature, humidity and drip water) of the La Paz and La Viña caves in Ortigosa de Cameros (La Rioja, Spain) has allowed to establish the climatic pattern inside the caves. The records show clear temperature bipolarity with minimum in March-June and maximum in August, being the oscillation between the extreme points lower than 1ºC. The curve of air-cave temperatures turns out to be strongly modulated by the overlapping of a human component derived from the visitors. The drip water in the caves take place from November to June with an initial intense stage that gives place to the dark layer of the seasonal cycle and another stage of

1. Geólogos. Dpto. Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12. 50009 Zaragoza. E-mail: armunoz@unizar.es.

more slow and effective drip that generates the clear layer. Spectral analysis of the lamina thickness shows the presence of cycles of very high frequency related to solar activity.

Key words: *Temperature, drip water, speleothems, climate, Holocene, radiometric ages, cyclicity, Iberian Range.*

0. INTRODUCCIÓN

Los primeros datos meteorológicos de La Rioja (temperatura, precipitación, radiación, humedad, etc.) adquiridos mediante métodos instrumentales corresponden a finales del siglo XIX, por lo que apenas se dispone de series de unos 100 años para analizar los cambios climáticos, entendidos como el conjunto de los valores promedio de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región (mínimo 30 años). La variabilidad climática en La Rioja, más allá del registro instrumental, se puede completar a partir de la información paleoclimática archivada en diferentes tipos de depósitos sedimentarios (registros lacustres pliocenos de Villarroya, Muñoz *et al.,* 2002, espeleotemas de las cuevas de La Paz y La Viña en Ortigosa de Cameros; Muñoz *et al.,* 2001, 2004).

En la actualidad, el Cambio Climático Global es uno de los principales problemas a los que se enfrentan los científicos de las Ciencias de la Tierra. Sin embargo, los cambios climáticos son procesos naturales que se vienen produciendo, dentro de amplios márgenes de variación, desde hace al menos 650 millones de años. La escasa longitud de los registros instrumentales favorece que cada pocos años o décadas se superen por defecto o exceso los valores de temperaturas o precipitaciones; sin embargo estos *records* que a menudo copan las cabeceras de periódicos e informativos no dejan de ser simples anécdotas en el contexto de las variaciones climáticas experimentadas por el planeta Tierra.

El sistema kárstico, debido a sus características específicas, plantea una serie de posibilidades extraordinarias relacionadas con la reconstrucción paleoambiental durante el Pleistoceno y el Holoceno. Los espeleotemas constituyen la respuesta sedimentaria interna de la dinámica de los sistemas kársticos, que a su vez está fuertemente influenciada por las condiciones climáticas. El crecimiento de los espeleotemas se relaciona con estadios de temperaturas medias relativamente altas que favorezcan el desarrollo de una cobertera vegetal activa y, por tanto, concentraciones elevadas de CO_2 en el suelo y con una recarga de agua significativa que drene el suelo y se infiltre en el macizo kárstico. La posibilidad de realizar dataciones cronológicas, analizar la señal isotópica del carbonato y estudiar la laminación interna, convierten a los espeleotemas en una potente herramienta para elaborar reconstrucciones paleoclimáticas en áreas continentales. Sin embargo, la contribución de los estudios en espeleotemas a la reconstrucción paleoclimática o paleoambiental en España es todavía muy escasa (Durán *et al.,* 2000; Muñoz *et al.,* 2001; 2004; Labonne *et al.,* 2002; Muñoz-García *et al.,* 2004; 2007; Martín-Chivelet *et al.,* 2006; Domínguez-Villar *et al.,* en prensa).

En general, existe una correlación clara entre las etapas de mayor crecimiento de los espeleotemas y los principales episodios paleoclimáticos cálidos del Cuaternario (Atkinson *et al.,* 1978; Gordon *et al.,* 1989; Maire, 1990). Analizando estos depósitos mediante dataciones radiométricas y análisis de isótopos estables se pueden detectar variaciones climáticas de alta frecuencia (centenares a miles de años) de escala local o regional (Dorale *et al.,* 1992; Frumkin *et al.,* 1999; Burns *et al.,* 2001) y finalmente, ciclos climáticos de muy alta frecuencia (desde decenas de años a subanuales) que han sido puestos de manifiesto a partir del análisis estadístico de las variaciones en el espesor de las láminas de los espeleotemas o del registro de isótopos estables (Quinif *et al.,* 1994; Genty and Quinif, 1996; Ming *et al.,* 1998; Qin *et al.,* 1999; Muñoz *et al.,* 2001; 2004; Frisia *et al.,* 2003; Soubiès *et al.,* 2005).

Los registros climáticos obtenidos en las estaciones meteorológicas de superficie siguen un camino paralelo a las condiciones climáticas registradas en los espeleotemas del interior de las cuevas. Es indudable que los espeleotemas registran, a través de mecanismos de transferencia, las condiciones climáticas de la superficie, por lo que resulta de gran interés conocer de qué manera se produce esa transferencia y así poder determinar las condiciones climáticas de superficie a partir de la interpretación del registro de los espeleotemas.

Este trabajo constituye un primer paso para lograr este objetivo, en la convicción de que han de seguir otros muchos hasta que podamos tener una idea clara del funcionamiento del proceso. Para ello hemos monitorizado a lo largo de 2 años las cuevas de La Paz y La Viña en Ortigosa de Cameros y con los datos climáticos obtenidos en el interior de las cuevas, unidos a los de las estaciones meteorológicas de superficie y a los registros de dos espeleotemas (estalagmitas LP-4 de la cueva de La Paz y LV-1 de la cueva de La Viña) pretendemos esbozar un esquema sencillo de los mecanismos que unen el clima y el desarrollo de los depósitos espeleotémicos de Ortigosa de Cameros y a continuación, aplicando el principio del Actualismo, interpretar la evolución climática durante el Holoceno.

1. MARCO GEOLÓGICO

Las cuevas de la Paz y de la Viña están localizadas en la villa de Ortigosa de Cameros (La Rioja). Estas cuevas constituyen una de las manifestaciones más importantes de la actividad endokárstica a lo largo del Cuaternario en la Cordillera Ibérica. De hecho, éstas son las únicas cuevas conocidas, junto con las de Molinos en la provincia de Teruel, cuyo interés ha impulsado su habilitación para realizar visitas turísticas guiadas. Estas cavidades se encuentran en el extremo más occidental de la Sierra de Cameros sobre materiales fundamentalmente calizos del Jurásico (Dogger) correspondientes al Macizo del Encinedo (Fig. 1). Su geometría en planta parece estar controlada por las orientaciones principales del sistema de fracturación regional NE-SO (ITGE, 1990).

2. MATERIALES Y ESQUEMA METODOLÓGICO

En el estudio se han utilizado los datos de las estaciones meteorológicas de Moncalvillo, San Román de Cameros, Ventrosa y Villoslada de Cameros que de forma aproximada ocupan los puntos cardinales en torno a Ortigosa (Fig. 1), y delimitan una zona en la que quedan englobadas las cuevas de La Paz y La Viña y sus áreas de recarga. Los datos recogidos en estas estaciones del Gobierno de La Rioja corresponden a temperaturas, precipitación, humedad, radiación y dirección y velocidad del viento.

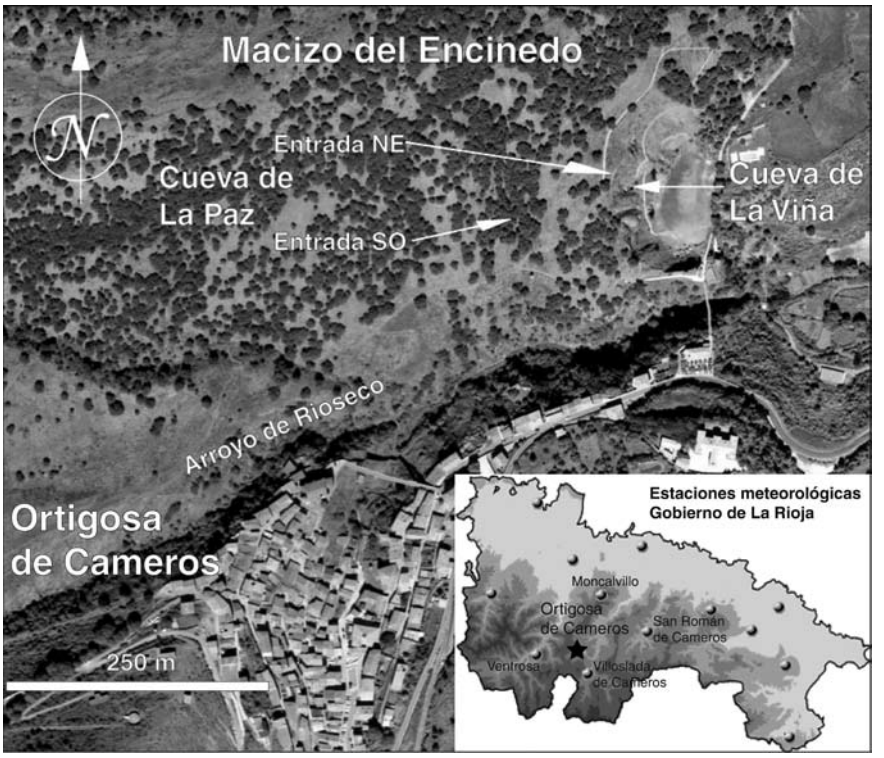

Figura 1. Ortofoto (año 2006, Gobierno de La Rioja) de la zona de Ortigosa de Cameros con la localización del Macizo del Encinedo y de las cuevas de La Paz y La Viña. En la parte inferior se muestra un mapa de La Rioja con la localización de Ortigosa de Cameros y de las estaciones meteorológicas dependientes del Gobierno de La Rioja.

En el interior de las cuevas, La Viña con una longitud de 114 m y La Paz, topográficamente por encima, con dos entradas y 236 m de desarrollo longitudinal (Fig. 2), se han instalado dos equipos "HOBO® Pro RH and Temperature Data Logger" equipados con sensores de temperatura y humedad y una memoria interna para almacenamiento de los datos y un pluviómetro "HOBO® RG3 Data Logging Rain Gauge" (cueva de La Viña) cuya localización se muestra en la figura 2. Los equipos HOBO para registro de humedad y temperatura se han programado para recoger la información a intervalos de 1 hora desde las 00:00 del día 1 de Octubre de 2005 hasta

Zubía Monográfico | *núm. 20 (2008), pp. 21-36*
ISSN 1131-5423

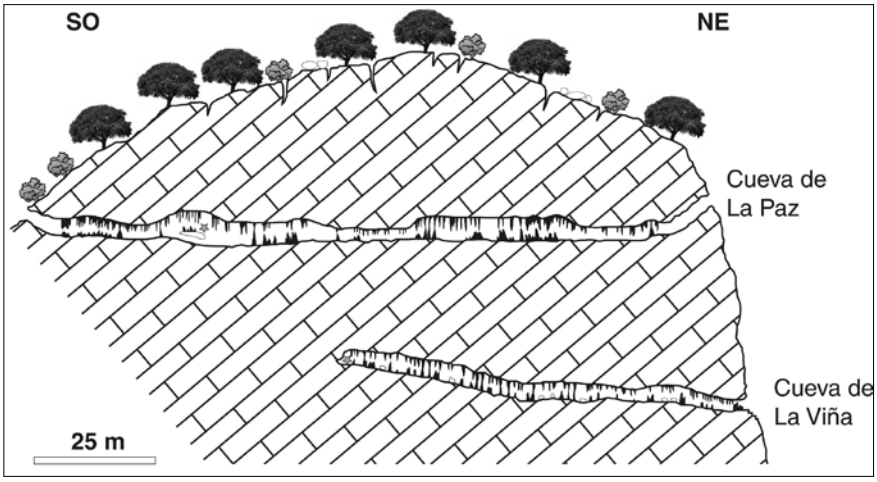

Figura 2. Sección NE-SO del Macizo del Encinedo con la posición y características morfotopográficas de las grutas de La Paz y La Viña realizado a partir de la Guía de cavidades de La Rioja (Gobierno de La Rioja, 1986). Las estrellas localizadas en una zona elevada próxima a la entrada SE de la cueva de La Paz y al fondo de la cueva de La Viña, marcan la posición de los equipos de medida, y en el caso de La Viña también la localización de la estalagmita LV-1.

las 23:00 del día 30 de Septiembre de 2007. Por su parte, el pluviómetro va equipado con un sistema de registro y almacenamiento de datos que permite conocer el volumen de goteo así como la intensidad y el momento en el que se produce.

Los espeleotemas analizados son dos estalagmitas (Fig. 3):

- LV-1 recogida en la parte más interna de la cueva de La Viña, bajo un punto de goteo activo, junto a los equipos instrumentales de medición (Fig. 2)
- LP-4 muestra desplazada de su posición original, posiblemente durante las obras de acondicionamiento para las visitas turísticas, recogida en la cueva de La Paz.

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 hasta 1,05%.

Las muestras fueron cortadas longitudinalmente y pulidas para hacer visible su laminación interna. De las dos partes simétricas obtenidas, una fue destinada a la obtención de muestras utilizadas para la determinación de edades radiométricas con técnicas de radiocarbono-AMS en el Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie Isotopique de la Université de Paris-Sud y de U/Th en la Faculté Polytechnique de Mons. Las edades de radiocarbono obtenidas en la estalagmita LV-1, repartidas de base a techo (Fig. 3) son: 3400±600, 1200±400 y 700±350 años, respectivamente. Por otro lado, en la estalagmita LP-4 se ha obtenido una edad de 7600±700 años, mediante análisis de U/Th por espectrometría alfa.

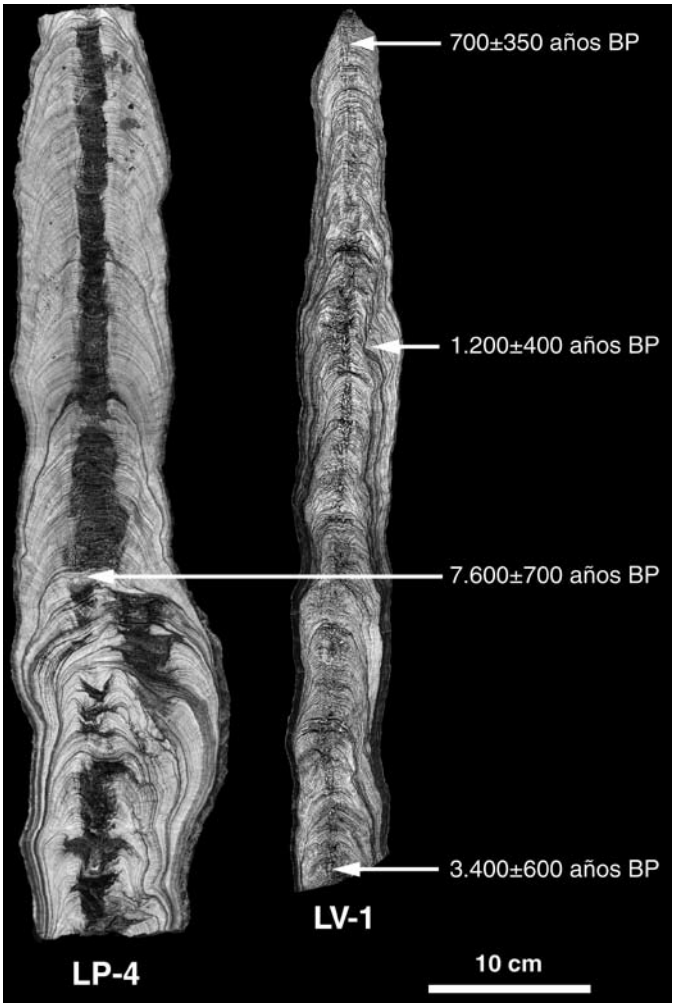

Figura 3. Imagen de las estalagmitas LP-4 y LV-1 con la situación de los puntos utilizados en las dataciones (U/Th) en LP-4 y radiocarbono en LV-1 así como las edades obtenidas y el margen de error de las mismas.

La segunda mitad longitudinal, debidamente pulida, fue destinada a realizar un análisis estadístico de la laminación, cuyo espesor se midió automáticamente (software OPTIMA V5), en el Instituto Jaume Almera de Barcelona, C.S.I.C.

3. RESULTADOS

3.1. Condiciones climáticas en las cuevas

Los registros de humedad muestran una situación de casi constante saturación en vapor de agua, sin embargo la temperatura presenta variaciones estacionales que, aunque de escasa amplitud (menos de 1ºC), marcan

de una forma clara dos etapas, una cálida, con un máximo a finales de Agosto, y otra fría, localizada en el mes de Marzo en la cueva de La Paz y en el de Junio en La Viña (Fig. 4). Superpuesta a esta variación natural, aparece una modulación de origen antropógeno debida a la actividad turística que a través del calor corporal y de la iluminación generan un diente de sierra con el pico más alto localizado en los fines de semana, así como dos perturbaciones de mayor amplitud (señaladas con estrellas en la Fig. 4) correspondientes a la Semana Santa de 2006 y de 2007. En la figura también se muestran las variaciones de temperatura registradas para este mismo periodo de tiempo en la estación meteorológica de Villoslada de Cameros. En ella se puede observar un máximo de temperatura en torno a los meses de Julio-Agosto y un mínimo que se localiza a finales de Enero.

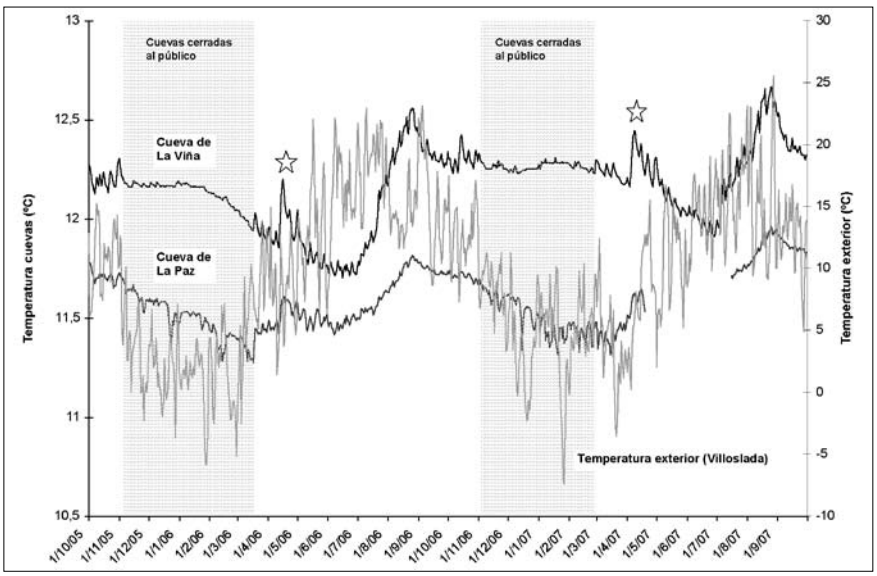

Figura 4. Registro de temperaturas medias diarias en el interior de las cuevas de La Paz y La Viña, junto con las temperaturas medias diarias de la estación meteorológica de Villoslada de Cameros. Las zonas sombreadas, con temperaturas más uniformes, corresponden a la época de cierre al público de las cuevas. Los altos en los dientes de sierra de las gráficas de temperatura de las cuevas, especialmente en La Viña, corresponden a las visitas durante los fines de semana mientras que los valores más elevados (señalados con estrellas) se relacionan con la importante afluencia de visitas durante la Semana Santa de 2006 y de 2007.

Las precipitaciones en la zona riojana tienen carácter estacional, alcanzando los valores más elevados en otoño y primavera. Este patrón aparece ligeramente desdibujado en los datos promedio de la estaciones meteorológicas de Moncalvillo, San Román de Cameros, Ventrosa y Villoslada de Cameros debido a las intensas precipitaciones de carácter tormentoso ocurridas en los meses de Junio y Julio de 2006 (Fig. 5). En esta misma figura se representa el goteo medido en el interior de la cueva de La Viña, donde se puede apreciar que el patrón de comportamiento es diferente al de las

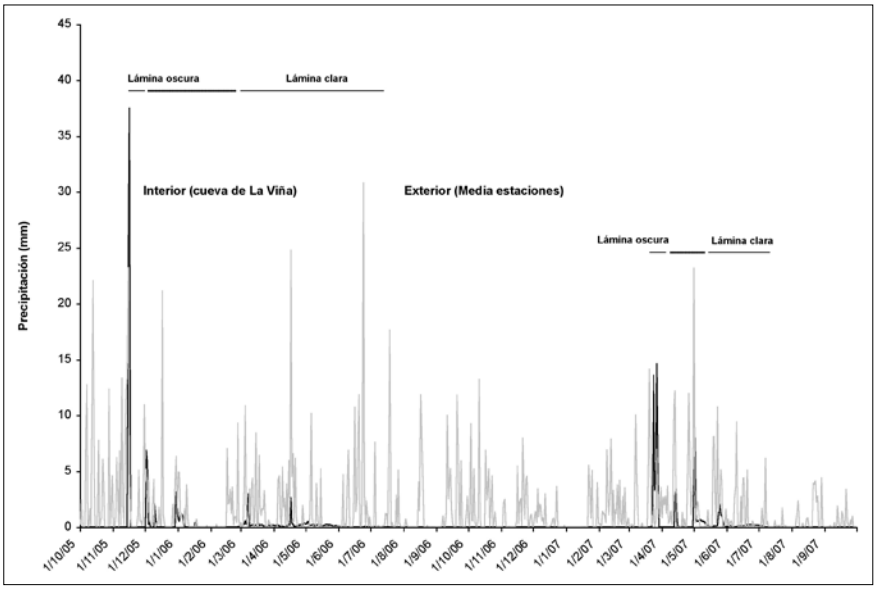

Figura 5. Registro pluviométrico del goteo producido en el interior de la cueva de La Viña. Superpuesto se muestra el gráfico con el valor promedio de las precipitaciones diarias en las estaciones meteorológicas de Moncalvillo, San Román de Cameros, Ventrosa y Villoslada de Cameros. El goteo se inicia de forma brusca e intensa generando la lámina oscura del ciclo. A continuación se observa un goteo más lento y efectivo que da lugar a la lámina clara del ciclo, existiendo entre ambas una zona de transición, difícil de precisar.

precipitaciones, iniciándose de forma muy intensa en otoño (año hidrológico 2005/2006) o invierno (año hidrológico 2006/2007) y disminuyendo gradualmente hasta desaparecer durante el verano. Evidentemente, el breve periodo de tiempo considerado no permite sacar conclusiones definitivas al respecto, aunque en el siguiente apartado se esbozan algunos rasgos que caracterizan el funcionamiento del sistema climático atmósfera-cueva.

3.2. Caracterización de las láminas de los espeleotemas

Las estalagmitas LV-1 y LP-4 están formadas por una alternancia de láminas claras y oscuras. Numerosos autores interpretan que esta alternancia está controlada estacionalmente, de manera que el crecimiento de cada pareja de láminas sería anual. La lámina clara de la microsecuencia está formada por una empalizada de calcita porosa de color claro (Fig. 6), mientras que la lámina oscura, más compacta, está constituida por fibras de calcita. Así, para interpretar la ciclicidad de alta frecuencia registrada, vamos a asumir que la microsecuencia constituida por una lámina clara y otra oscura corresponde a un año. Esta premisa se basa en que la fuerza del ciclo estacional puede ser mayor en un orden de magnitud que cualquier otro mecanismo generador de ciclos (Mitchell, 1976). En la Figura 7 se muestran los espesores de los 1276 ciclos de la estalagmita LV-1 que se distribuyen de la siguiente manera: Entre los puntos de edades 3400 (base de la estalagmita) y 1200 BP se han medido 900 pares de láminas o ciclos anuales. Entre

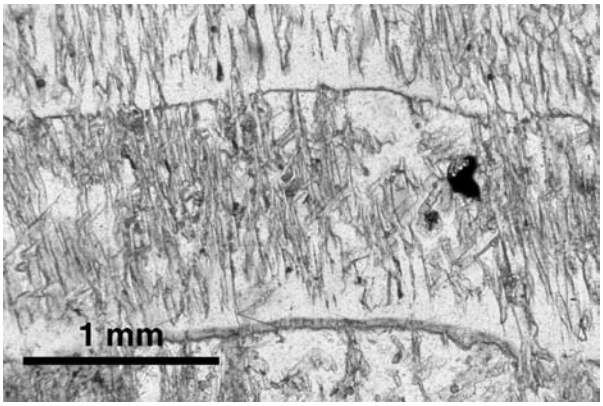

Figura 6. Características micromorfológicas de la laminación de la estalagmita LV-1. Fotografía de microscopio petrográfico donde se diferencian las láminas claras (textura en empalizada) y oscuras (textura fibrosa).

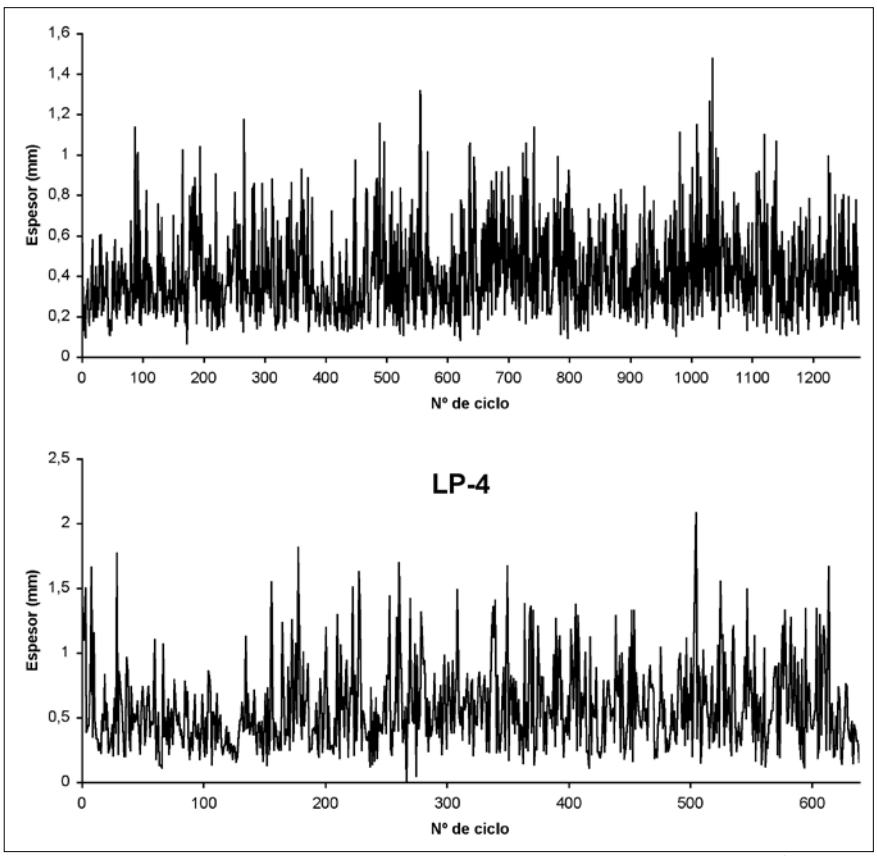

Figura 7. Espesores correspondientes al ciclo anual en las estalagmitas LV-1 y LP-4 medidos automáticamente mediante el software OPTIMA V5 en el Instituto Jaume Almera (C.S.I.C. Barcelona).

los puntos de edad 1200 y 700 BP han sido detectados 326 ciclos anuales. Por último, entre el punto de edad 700 BP y el techo se han identificado 50 ciclos. Igualmente se muestran los espesores de los 638 ciclos medidos en la estalagmita LP-4.

4. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las temperaturas medias diarias medidas en el interior de las cuevas muestran un rango de variación anual inferior a 1ºC, siendo los valores medios anuales, considerando el periodo bianual 2005-2007 de 11,6ºC para la cueva de La Paz y de 12,2ºC para la cueva de La Viña. No obstante, dado el breve periodo de tiempo monitorizado y el fallo de uno de los sensores de la cueva de La Paz durante la primavera-verano de 2007, los valores deben ser tomados con cierta cautela. Analizando anualmente los datos registrados, las temperaturas medias anuales para el año hidrológico 2005/2006 son de 11,6ºC para la cueva de La Paz y 12,1ºC para La Viña, mientras que para el año hidrológico 2006/2007 son de 11,6 y 12,3ºC respectivamente, señalando un pequeño incremento difícil de evaluar dada la escasez de datos.

La temperatura media anual (Fig. 4) registrada en el observatorio meteorológico de Villoslada de Cameros (9,5ºC) presenta valores muy inferiores a los de los cuevas, lo que puede interpretarse como una contaminación térmica derivada de las visitas turísticas. De igual modo puede interpretarse el *lag* o retraso en la transferencia de calor entre las cuevas y el exterior, de forma que los momentos de temperatura más bajas en el interior de las cuevas aparece desplazado 4 meses (Junio) respecto al mínimo de temperatura externa (Febrero), mientras que los momentos de temperatura más elevada presenta un desplazamiento inferior a un mes (Julio-Agosto).

Un aspecto más interesante en relación con el desarrollo de los espeleotemas corresponde al goteo producido en el interior de las cuevas. Las mediciones pluviométricas indican un retraso importante entre el inicio de las precipitaciones en otoño y el comienzo del goteo en las cuevas. Este retraso está controlado por la infiltración de agua en el terreno que, tal como señala Coloma (1999), en base a las series meteorológicas 1974-1996 de la estación de Ortigosa de Cameros y considerando diferentes valores de escorrentía, evapotranspiración, etc., se produce entre los meses de Noviembre y Mayo, siendo prácticamente inexistente durante el intervalo Junio-Octubre. Una vez iniciada la infiltración, el agua debe percolar el macizo kárstico saturando el terreno hasta llegar a la cueva de La Viña donde se ha instalado el pluviómetro. Las aguas que alcanzan las cuevas presentan una sobresaturación en carbonato debido a la alta concentración de CO_2 en el suelo y una intensidad de goteo muy elevada dando lugar a una lámina compacta de color oscuro debido, en parte, al lavado de los ácidos húmicos del suelo desarrollado sobre las cuevas. Cuando el goteo se ralentiza la precipitación de carbonato es mucho más efectiva formándose la lámina clara del ciclo estacional (Quinif *et al.,* 1994) (Fig. 5). En estas condiciones de humedad continua, la precipitación de la calcita se produce en condiciones de equi-

Zubía Monográfico | *núm. 20 (2008), pp. 21-36*
ISSN 1131-5423

librio y la textura resultante se denomina columnar o fibrosa (Frisia *et al.,* 2000).

El análisis espectral de los espesores de la laminación de los espeleotemas (Muñoz *et al.,* 2001; 2004) y analizado en este trabajo mediante el software ITSM 2000 (Brockwell y Davis, 2002) ha puesto de manifiesto la existencia de repeticiones periódicas cuyas frecuencias aparecen recogidas en la figura 8.

El espectro de la estalagmita LV-1 muestra ciclos claramente marcados en 80, 14,3 y 8,9 años así como ciclicidades de muy alta frecuencia en el rango de los 2-3 años. Por su parte, el análisis espectral de la estalagmita

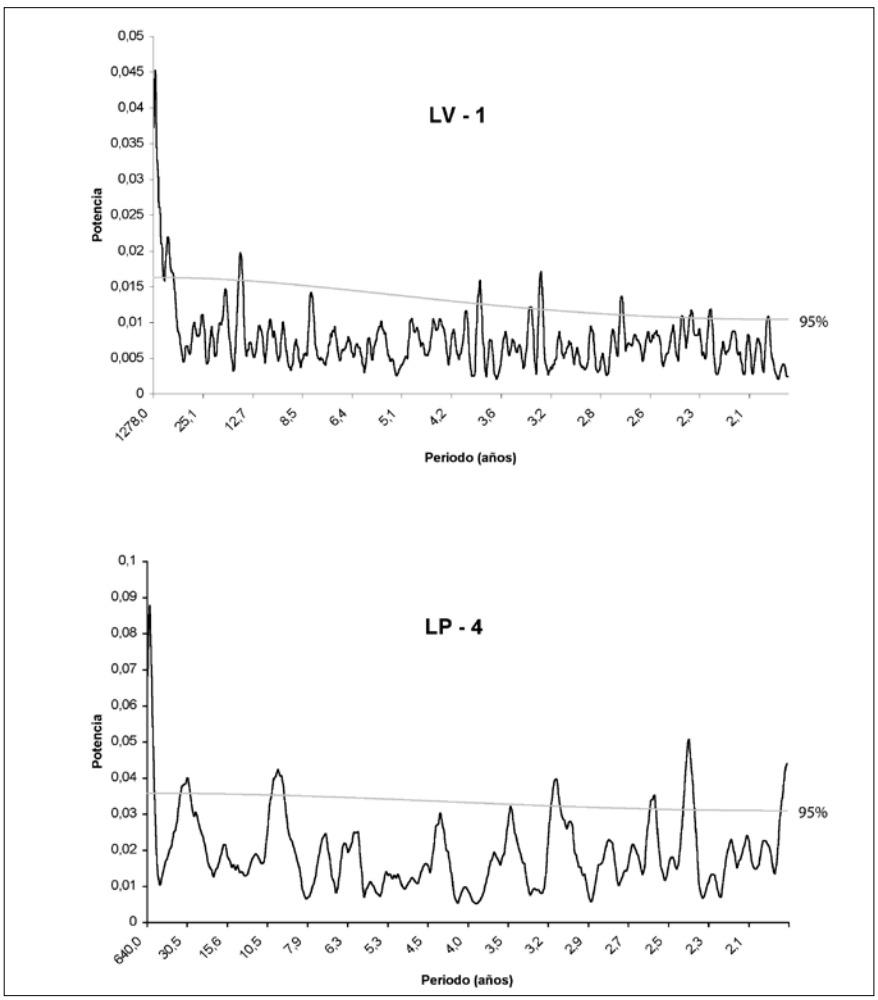

Figura 8. Espectros de potencia correspondientes al análisis de la ciclicidad de alta frecuencia de las estalagmitas LV-1 y LP-4. El análisis se ha realizado sobre los espesores de los ciclos anuales de ambas estalagmitas mostrados en la Fig. 7.

LP-4 muestra ciclicidades con periodos en torno a 30,5 y 9,8, observándose también periodicidades de 2-3 años.

Los ciclos identificados en las variaciones de espesor de la laminación de los espeleotemas se relacionan con ciclicidad climática de muy alta frecuencia y son referibles a la banda de frecuencia solar (1-100 años), reconocida en estalagmitas pleistocenas y holocenas de diferentes lugares del mundo (Baker *et al.,* 1993; Shopov *et al,* 1994; Genty *et al.,* 1994; Genty and Quinif, 1996; Qin *et al.,* 1999; Niggemann *et al.,* 2003; Frisia *et al.,* 2003; Holzkämper *et al.,* 2004; Dykoski *et al.,* 2005; Soubiès *et al.,* 2005).

En primer lugar, los ciclos de 14,3 años en la estalagmita LV-1 o de 9,8 años en la LP-4 pueden relacionarse con los ciclos de actividad solar, al igual que las ciclicidades en torno a 30 y 80 años (ciclo de Gleissberg). Por otro lado, el ciclo de 8,9 años puede relacionarse con El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), o con la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) que tienen una clara influencia sobre el clima con ese rango de variación. Periodicidades similares, relacionadas con ciclos de actividad solar y oscilaciones climáticas como ENSO o NAO han sido reconocidas en estalagmitas de diferentes lugares. Genty *et al.* (1994) y Genty y Quinif (1996) encuentran periodicidades similares en una estalagmita de Bélgica. Estas periodicidades son reconocidas también por Baker *et al.* (1993) y Shopov *et al.* (1994) estudiando la estructura de las estalagmitas con luz ultravioleta. El análisis espectral realizado sobre registros de alta resolución de δ^{18}O p or Niggemann *et al.* (2003), Holzkämper *et al.* (2004) y Dykoski *et al.* (2005), y sobre registros de espesor de las láminas por Qin *et al.* (1999), Frisia *et al.* (2003) y Soubiès *et al.* (2005) muestran igualmente periodicidades similares. Esta ciclicidad también ha sido reconocida en sedimentos lacustres varvados como los de Villarroya (Muñoz *et al.,* 2002). Por último, la aparición de ciclos de muy alta frecuencia en todos los espectros realizados, en torno a 2-3 años puede relacionarse con la Quasi-Biannual Oscillation (QBO), ciclo climático registrado fundamentalmente en precipitaciones y temperaturas y que ha sido reconocido en gran cantidad de depósitos sedimentarios, fundamentalmente estalagmitas (Qin *et al.,* 1999 y Frisia *et al.,* 2003) y varvas (Sonett *et al.,* 1992; Muñoz *et al.,* 2002).

Las edades obtenidas mediante datación con radiocarbono en la estalagmita LV-1 nos permite conocer que su formación comenzó hace 3400±600 años, manteniéndose activa en el momento de su recogida. Sin embargo, los 1286 ciclos anuales contados ponen de manifiesto interrupciones durante su crecimiento. Aunque es necesario disponer de un control cronológico más preciso de las estalagmitas, la relación existente entre las edades obtenidas y los ciclos anuales reconocidos evidencia la presencia de interrupciones más o menos largas durante el Holoceno superior que posiblemente estén asociadas con la Época Fría de la Edad del Hierro (2900-2300 BP) y la Pequeña Edad del Hielo (550-150 BP), (Muñoz *et al.,* 2001). Ciclicidades climáticas en este rango de variación (10^2-10^3 años) han sido deducidos en estalagmitas holocenas en Israel (Frumkin *et al.,* 1999), Sudáfrica (Repinski *et al.,* 1999), Omán (Burns *et al.,* 2001) y Alemania (Niggemann *et al.,* 2003).

Finalmente, el crecimiento de estos dos espeleotemas está relacionado con la época cálida del estadio isotópico 1 (Henning *et al.,* 1983). No obstante, además de la temperatura, los cambios en la precipitación deben ser considerados como un factor importante en los estadios de desarrollo de los espeleotemas debido a la situación de la Península Ibérica cerca de los cinturones áridos de baja latitud (Brook *et al.,* 1990; Bar-Matthews *et al.,* 1996, 1997).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Gobierno de La Rioja y el Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros. Queremos agradecer a los Profs. Ives Quinif y Dominique Genty su colaboración en la datación de los espeleotemas y al Prof. José Luis Peña su ayuda en el trabajo de campo. Nuestro agradecimiento también para Mª Ángeles y para todo el personal del Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros. Esta publicación es una contribución de los grupos "PaleoQ" y "Análisis de Cuencas Sedimentarias Continentales" del Gobierno de Aragón. Ha contado también con el apoyo del proyecto de investigación: "Los cambios climáticos abruptos y su impacto en los ecosistemas y sociedades humanas en el Pirineo Central y Occidental" (PM073/2007), financiado por el Gobierno de Aragón

BIBLIOGRAFÍA

Atkinson, T.C., Harmon, R.S., Smart, P.L., Waltham, A.M. (1978). Paleoclimatic and geomorphic implications of th230/U234 dates on spelothems from Britain, *Nature* (272), 24-28.

Baker, A., Smart, P.L., Edwards, R.L., Richarns, D.A. (1993). Annual growth banding in a cave stalagmite. *Nature*, 518-520.

Bar-Matthews, M., Ayalon, A., Kaufman, A. (1997). Late Quaternary paleoclimate in the Eastern Mediterranean region from stable isotope analysis of speleothems at Soreq Cave, Israel. *Quaternary Research* (47), 155-168.

Bar-Matthews, M., Ayalon, A., Matthews, A., Sass, E., Halicz, L. (1996). Carbon and oxigen isotope study of the active water-carbonate system in a karstic Mediterranean cave: implications for paleoclimate research in seimiarid regions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* (60), 337-347.

Brockwell P.J., Davis R. A. (2002). Introduction to Time Series and Forecasting, (2nd Ed. Springer, New York. 434 pp.

Brook, G.A., Burney, D.A., Cowart, J.B., (1990). Desert paleoenvironmental data from cave spelothems with examples from the Chihuahuan, Somali-Chalbi, and Kalahari deserts. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (76), 311-329.

Burns, S.J.; Fleitmann, D., Matter, A., Neff, U., Mangini, A. (2001). Spelethem evidence from Oman for continental pluvial events during interglacial periods. *Geology* (29), 623-626.

Coloma, P. (1999). *Funcionamiento hidrogeológico de las cuencas riojanas orientales: Iregua, Leza, Cidacos y Alhama (Cuenca del Ebro).* Ciencias de la Tierra, 21. Gobierno de La Rioja. Instituto de Estudios Riojanos. 506 pp.

Domínguez-Villar, D., Wang, X., Cheng, H., Martín-Chivelet, J., Edwards, R.L. (en prensa). A high-resolution late Holocene speleothem record from Kaite Cave, northern Spain: $\delta^{18}O$ variability and possible causes. *Quaternary International.*

Dorale, J.A., Gonzalez, L.A., Regan, M.K., Pickett, D.A., Murrel, M.T., Baker, R.G. (1992). A high resolution record of Holocene climate change in speleothem calcite from Cold Water cave, Northeast Iowa. *Science* (258), 1626-1630.

Durán, J.J., López, J., Dallai, L., Bruschi, G., Caballero, E., Jiménez, C., Julià, R. (2000). Palaeoenvironmental reconstruction based on a detailed stable isotope analysis and dating of a Holocene speleothem from Valporquero Cave, Northern Spain. *Geogaceta* (27), 63-67.

Dykoski, C.A., Edwards, R.L., Cheng, H., Yuan, D., Cai, Y., Zhang, M., Lin, Y., Qing, J., An, Z., Revenaugh, J. (2005). A high-resolution, absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave, China. *Earth and Planetary Science Letters* (233), 71-86.

Frisia, S., Borsato, A., Fairchild, I.J., McDermott, F. (2000). Calcite fabrics, growth mechanisms and environments of formation in speleothems from the Italian Alps and Soutwestern Ireland. *Journal of Sedimentary Research* (70), 1183-1196.

Frisia, S., Borsato, A., Preto, N., McDermott, F. (2003). Late Holocene annual growth in three Alpine stalagmites records the influence of solar activity and the North Atlantic Oscillation on winter climate. *Earth and Planetary Science Letters* (216), 411-424.

Frunmkin, A., Ford, D.C., Schwarcz, P. (1999). Continental oxygen isotopic record of the last 170,000 years in Jerusalem. *Quaternary Research* (51), 317-327.

Genty, D., Quinif, Y. (1996). Annually laminated sequences in the internal structure of some Belgian stalagmites-Importance for paleoclimatology. *Journal od Sedimentary Research* (66), 275-288.

Genty, D., Baker, A., Massault, M., Proctor, Ch., Gilmour, M., Pons-Branchu, E., Hamelin, B. (2001). Dead carbon in stalagmites: Carbonate bedrock paleodissolution vs. ageing of soil organic matter. Implications for 13C variations in speleothems. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65, pp

Genty, D., Quinif, Y., Deflandre, G., (1994. Microsequences des lamines annuelles dans deux stalagmites du massif de Han-Sur-Lesse (Belgique). *Spelochronos* (6), 9-22.

Gobierno de La Rioja (1986). *Catálogo de cavidades de La Rioja*. Federación Riojana de Espeleología, 113 pp.

Gobierno de La Rioja (2007). Ortofoto 2006. (http://www.iderioja.larioja.org).

Gordon, D., Smart, P.L., Ford, D.C., Andrews, J.N., Atkinson, T.C., Rowe, P., Christopher, N.S.J. (1989). Dating of late Pleistocene Interglacial and Interstadial periods in the United Kingdom from speleothems growth frequency. *Quaternary Research* (31), 14-26.

Hennig, G.J., Grun, R., Brunnacker, K. (1983). Speleothems, Travertins and Paleoclimates. *Quaternary Research* (20), 1-29.

Holzkämper, S., Mangini, A., Spötl, C., Mudelsee, M. (2004). Timing and progression of the Last Interglacial derived from a high alpine stalagmite. *Geophysical Research Letters* (31), L07201, doi:10.1029/2003GL019112.

ITGE (1990). *Mapa geológico de España. Escala 1:50.000. 2ª Serie (241) Anguiano*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía. Madrid.

Labonne, M., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., Goy, J.L. (2002). Multi-isotopic age assessment of dirty speleothem calcite: an example from Altamira Cave, Spain. *Quaternary Science Reviews* (21), 1099-1110.

Maire, R. (1990). La haute montagne calcaire. *Karstologia Mémoires* (3), 731 p.

Martín-Chivelet, J., Muñoz-García, M.B., Domínguez-Villar, D., Turrero, M.J., Ortega, A.I. (2006). Comparative analysis of stalagmites from two caves of northern Spain. Implications for Holocene paleoclimate studies. *Geologica Belgica (*9/3-4), 323-335.

Ming, T., Tungsheng, L., Xiaoguang, Q., Xianfeng, W. (1998). Signification chronoclimatique de spéléothèmes laminés de Chine du Nord. *Karstologia* (32), 1-6.

Mitchell, J.M. (1976). An overview of climatic variability and its causal mechanism. *Quaternary Research* (6), 481-493.

Muñoz, A., Peña, J.L., Sancho, C., Matínez, M.A. (2001). Los espeleotemas de las cuevas de Ortigosa de Cameros (La Rioja): datos cronológicos y consideraciones paleoambientales. *Geogaceta* (30), 95-98.

Muñoz, A., Ojeda, J., Sánchez-Valverde, B. (2002). Sunspots-like and ENSO/NAO-like periodicities in lacustrine laminated sediments of the Pliocene Villarroya Basin (La Rioja, Spain). *Journal of Paleolimnology* (27-4), 453-463.

Muñoz, A., Sancho, C., Peña, J.L., Sánchez-Valverde, B., Valero-Garcés, B., Durán, J.J., Genty, D. (2004). Ciclos climáticos de alta frecuenta en los espeleotemas de las Cuevas de Ortigosa de Cameros (La Rioja). En: Liesa, C., Pocoví, A., Sancho, C., Colombo, F., González, A., Soria, A.R. (Eds.). *Geo-Temas*, (6-5), 141-144. VI Congreso Geológico de España.

Muñoz-García, M. B., Martín-Chivelet, J., Rossi, C., Ford, D. C., Schwarcz H. P. (2007). Chronology of Termination II and the Last Interglacial Period in

North Spain based on stable isotope records of stalagmites from Cueva del Cobre (Palencia). *Journal of Iberian Geology (*33-1), 17-30.

Muñoz-García, M.B., Martín-Chivelet, J., Rossi, C. (2004). Implicaciones paleoclimáticas de la distribución geocronológica de espeleotemas en la Cueva del Cobre (Palencia). *Geogaceta* (35), 179-182.

Niggemann, S., Manzini, A., Mudelsee, M., Richter, D.K., Wurth, G. (2003). Sub-Milankovitch climatic cycles in Holocene stalagmites from Sauerland, Germany. *Earth and Planetary Science Letters* (216), 539-547.

Qin, X., Tan, M., Liu, T., Wang, X., Li, T., Lu, J. (1999). Spectral analysis of a 1000-year stalagmite lamina-thickness record from Shihua Cavern, Beijing, China, and its climatic significance. *Holocene* (9), 689-694.

Quinif, Y., Genty, D.,Maire, R. (1994). Les spéléothèmes: un outil perfomant pour les études paléoclimatiques. *Bulletin Societé Géologique France* (165), 603-612.

Repinski, P.,Holmgren, K., Lauritzen, S.E., Lee-Thorp, J.A. (1999). A late Holocene climate record from a stalagmite, Cold Air Cave, Northern province, South Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (150), 269-277.

Shopov, Y.Y., Ford, D.C., Schwarcz, H.P. (1994). Luminescent microbanding in speleothems: high-resolution chronology and paleoclimate. *Geology* (22), 402-410.

Sonett, C.P., Williams, C.R., Mörner, N.A. (1992). The Fourier spectrum of Swedish riverine varves: evidence of sub-arctic quasi-biennial (QBO) oscillations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (98), 57-65.

Soubiès, F., Seidel, A., Mangin, A., Genty, D., Ronchail, J., Plagnes, V., Hirooka, S., Santos R. (2005). A fifty-year climatic signal in three Holocene stalagmite records from Mato Grosso, Brazil. *Quaternary Internacional* (135), 115-129.