

Estacionalidad de la laminación espeleotémica de las Cuevas de Ortigosa de Cameros (La Rioja): aproximación experimental

Seasonal pattern of speleothemic lamination in the Ortigosa de Cameros Caves (La Rioja): an experimental approach

Arsenio Muñoz, María Cinta Osácar y Carlos Sancho

Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza.
armunoz@unizar.es; cinta@unizar.es; csancho@unizar.es

ABSTRACT

Monitoring of both carbonate precipitation process and environmental parameters inside two caves in Ortigosa de Cameros (La Rioja, Spain) has allowed us to establish the seasonality of speleothem lamination in these caves. Temperature record shows a minimum in March-June and a maximum in August with little oscillation ($< 1^{\circ}\text{C}$). Drip water flow is maximum in autumn and spring. The carbonate record displays white porous laminae (WPL) and dark compact laminae (DCL) of seasonal origin. DCL are organic matter rich and form in high drip water flow periods, when soil organic matter is flushed into the caves. Stable isotope analyses of drip water ($\delta^{18}\text{O}$ and δD) and carbonate ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$) confirm the seasonal pattern: $\delta^{13}\text{C}$ minimus correspond to the warm seasons (WPL) while $\delta^{18}\text{O}$ pattern can be explained on the basis of the corresponding drip water $\delta^{18}\text{O}$ variations.

Key words: Seasonal lamination, karst, drip water, stable isotopes, Iberian Range

Geogaceta, 46 (2009), 107-110
ISSN: 0213683X

Introducción

Las cuevas La Paz y La Viña, localizadas en la villa de Ortigosa de Cameros (La Rioja), constituyen una de las manifestaciones más interesantes de la actividad endokárstica en la Cordillera Ibérica. Se localizan en el extremo más occidental de la Sierra de Cameros sobre materiales fundamentalmente calizos del Jurásico (Dogger) correspondientes al Macizo del Encinado (Fig. 1). Su geometría en planta parece estar controlada por las orientaciones principales del sistema de fracturación regional NE-SO (Ramírez *et al.*, 1990). En el interior de las cavidades, además de existir una excelente ornamentación espeleotémica que se agrupa en varias fases de desarrollo morfoestratigráfico (Muñoz *et al.*, 2001; 2004), se reconoce una dinámica actual funcional.

Los espeleotemas constituyen excelentes registros paleoclimáticos (McDermott, 2004). Además de la señal isotópica, la relación Ca/Mg o incluso el contenido de elementos traza, la laminación estalagmítica representa uno de los indicadores más interesantes (Genty y Quinif, 1996). La importancia de esta herramienta se basa, principalmente, en el análisis frecuencial de su

ciclicidad (Genty y Quinif, 1996; Genty *et al.*, 1997a; Ming *et al.*, 1998; Qin *et al.*, 1999; Frisia *et al.*, 2003; Muñoz *et al.*, 2009). Sin embargo, la utilización de la laminación espeleotémica como indicador paleoclimático a partir del análisis de ciclicidad requiere de una validación de su carácter estacional.

Un modo de aproximarse al problema consiste en valorar la estacionalidad de la laminación funcional a partir del registro del precipitado resultante y su relación con las variables ambientales del interior de las cuevas y las características del agua de goteo. En definitiva, este trabajo presenta los datos derivados de la monitorización del interior de las Cuevas de Ortigosa de cara a evaluar la estacionalidad de la laminación estalagmítica y confirmar el potencial de la laminación desarrollada en estalagmitas cuaternarias como herramienta útil en los análisis paleoclimáticos.

Metodología

Se han monitorizado las Cuevas de Ortigosa durante tres años mediante la utilización de sustratos artificiales para registrar el crecimiento estalagmítico, sensores de temperatura y humedad rela-

tiva (HOBO® Pro RH and Temperature Data Logger) y un pluviómetro (HOBO® RG3 Data Logging Rain Gauge) para controlar la cantidad de agua de goteo (ver Fig. 1B para localización de equipos y sustratos). Los equipos para registro de humedad relativa y temperatura recogieron información a intervalos de 1 hora desde el día 1 de Octubre de 2005 hasta el día 30 de Septiembre de 2008, mientras que el registro pluviométrico abarca el intervalo entre octubre de 2005 y diciembre de 2008. Los sustratos artificiales se colocaron en ambas cuevas, aunque solamente uno ha registrado un depósito lo suficientemente potente para su estudio (placa OR-P1, cueva de La Paz). La placa se colocó bajo un punto de goteo de agua el 27 de Marzo de 2003 y se retiró el 8 de Noviembre de 2007.

El depósito generado fue estudiado mediante un microscopio petrográfico equipado con una fuente de luz ultravioleta (longitud de onda 450-480 nm, con filtro U-MWB y emisión detectada entre 515-700 nm). Además, el registro estalagmítico fue muestreado a escala de laminación para realizar análisis isotópicos ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$). Para completar el estudio, entre el otoño de 2005 y el verano de 2007 se muestreó trimestral-

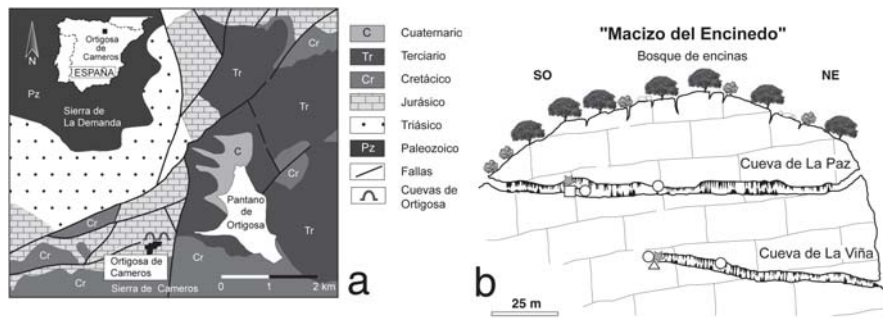


Fig. 1.- (a) Área de estudio y localización de las cuevas de Ortigosa. (b) Sección NE-SO del Macizo del Encinado, donde se muestran las características morfológicas de las cuevas. Las estrellas en ambas cuevas señalan la posición de los equipos de monitorización de temperatura y humedad (Fig. 2). El triángulo en la cueva de La Viña muestra la posición del pluviómetro que controla el agua de goteo (Fig. 2). Los círculos en ambas cuevas señalan la situación de las estaciones de recogida de agua. El cuadrado en la cueva de La Paz señala la localización de la placa OR-P1 (Fig. 5).

Fig. 1.- (a) Location and geological setting of the Ortigosa caves. (b) NE-SW section of the Encinado Mountain showing the morphological features of the caves. Stars in La Paz and La Viña Caves mark the location of the HOBO® Pro RH and Temperature Data Loggers (Fig. 2). Triangle in La Viña Cave shows the location of the «HOBO® RG3 Data Logging Rain Gauge» to control the drip water flow rates (see Fig. 2). Circles in both caves mark the water sampling sites. Square in La Paz Cave indicates the situation of the OR-P1 precipitation test plate (Fig. 5).

mente el agua de goteo en dos estaciones en cada cueva para análisis de ^{18}O y D. Estas determinaciones fueron realizadas en el Servicio General de Análisis de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca.

Resultados

A lo largo de 2-4 años (según los parámetros considerados) se ha recogido información sobre: 1) variables ambientales, 2) valores isotópicos del agua de goteo y de los precipitados resultantes y 3) características micromorfológicas y contenido en materia orgánica de los crecimientos estalagmáticos.

Parámetros ambientales del interior de la cueva

Los valores de temperatura mensual media presentan variaciones estacionales que, aunque de escasa amplitud (menos de 1°C), 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. 2). Sin embargo, las variaciones de temperatura registradas para este mismo periodo de tiempo en el exterior de las cuevas (estación meteorológica de Villoslada de Cameros) muestran un máximo de temperatura en torno a los meses de Julio-Agosto y un mínimo que se localiza a finales de Enero (Muñoz y Sancho, 2008).

El goteo de agua en el interior de la cueva de La Viña ha sido registrado con un pluviómetro que recoge el agua de 5 estalactitas. Como se observa en la figura

2 el goteo es estacional (otoño y primavera) con valores notablemente más altos en otoño. Sin embargo, este patrón aparece frecuentemente alterado, ya que en el punto donde se sitúa el pluviómetro no se ha registrado goteo durante los otoños de 2006 y 2007, ni durante la primavera de 2008.

Análisis isotópico del agua de goteo

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ SMOW y δD SMOW aparecen en la figura 3 comparados con las líneas del agua meteórica (MLW) y del agua meteórica mediterránea (MMLW). Se observa que se sitúan alrededor de la línea MLW con una ligera influencia de precipitaciones procedentes del Mediterráneo (Vaks *et al.*, 2003). El grupo de datos que se separa por sus valores de O más negativos corresponden esen-

cialmente al mismo período, el invierno de 2006. En la figura 4 aparece la evolución de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y δD a lo largo del período analizado. Puede apreciarse una tendencia a presentar valores más ligeros en invierno y más pesados en primavera y verano, aunque hay que tener en cuenta que los datos son escasos y pueden estar influidos por sucesos puntuales.

Características del crecimiento estalagmático

El análisis de la placa OR-P1 en un microscopio petrográfico mediante luz polarizada muestra una alternancia de láminas claras (WPL-White Porous Lamina) y oscuras (DCL-Dark Compact Lamina), según la nomenclatura de Quinif *et al.* (1994) y Genty *et al.* (1997b). En concreto, aparecen 5 láminas claras y 4 oscuras (Fig. 5A). Teniendo en cuenta el patrón de goteo en el interior de las cuevas (Fig. 2), con dos episodios anuales, y el intervalo temporal registrado en la placa (cuatro años y medio) puede interpretarse, a priori, un origen estacional para la laminación.

En la figura 5B se puede observar la imagen del crecimiento estalagmático de la placa OR-P1 obtenida mediante la excitación con luz ultravioleta. La imagen muestra 4 láminas luminiscentes, correspondientes a las láminas oscuras de la imagen con luz polarizada, que pueden relacionarse con la entrada de materia orgánica procedente del suelo desarrollado sobre las cuevas. La intensidad de la luminiscencia mediante excitación con luz ultravioleta refleja la concentración de materia orgánica (Baker *et al.*, 1997) y se correlaciona con episodios de exceso de agua (Genty *et al.*, 1997a).

Análisis de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la calcita

La evolución de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ a lo largo del período muestreado aparece en la figu-

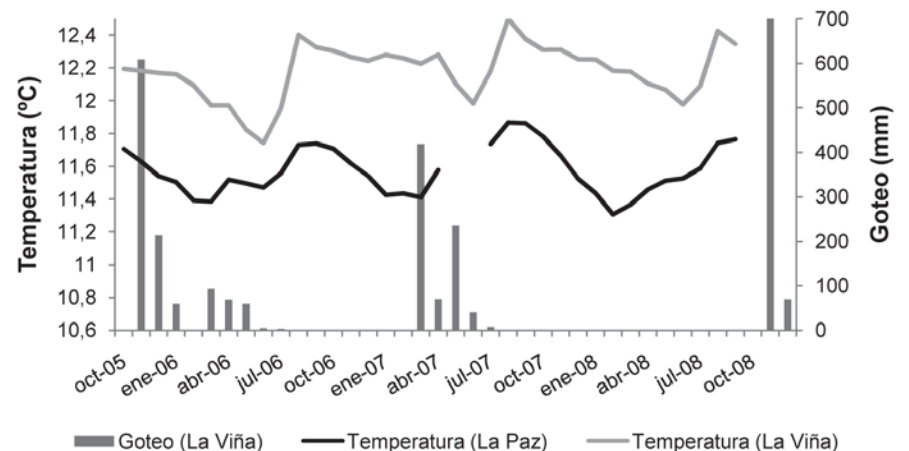


Fig. 2.- Registro de temperaturas y de intensidad de goteo.

Fig. 2.-Temperature (La Paz y La Viña caves) and drip water rate records.

ra 6. El $\delta^{13}\text{C}$ de las láminas presenta valores relativamente constantes y altamente negativos ($x = -12,10$; $s = 0,38$) con un rango de $-11,66$ a $-12,58\%$. Estos valores son frecuentes en los espeleotemas del Holoceno reciente (Afflek *et al.*, 2008). Los valores medidos en la estación fría son sensiblemente más pesados que los de la cálida. El $\delta^{18}\text{O}$ es más homogéneo que el $\delta^{13}\text{C}$, con valores que oscilan entre $-6,92$ y $-7,65$ ($x = -7,35$, $s = 0,26$). La tendencia estacional es más débil que en el C, aunque los valores de la estación fría parecen ser más ligeros que los de la cálida.

Discusión

Dos aspectos centran la atención en relación con la estacionalidad de la laminación actual registrada en las cuevas de Ortigosa de Cameros. Por un lado la concentración diferencial de materia orgánica en las láminas, y por otro la alternancia estacional de los valores isotópicos del $\delta^{13}\text{C}$ frente a la uniformidad de los valores $\delta^{18}\text{O}$ de las láminas de calcita.

La acumulación de materia orgánica observada al microscopio (Fig. 5) ocurre siempre en la estación fría (otoño+invierno), momento que se corresponde con el inicio de una actividad hidrológica importante (Fig. 2) (Genty *et al.*, 1997a), que puede arrastrar materia orgánica producto de la actividad edáfica acumulada tras la sequía estival.

En cuanto a la señal del $\delta^{13}\text{C}$ del precipitado en el interior de la cueva, la señal isotópica de la etapa cálida (primavera+verano) es más negativa que en la estación fría (otoño+invierno), a pesar de la acumulación de materia orgánica de ésta. Se suele admitir que la señal de $\delta^{13}\text{C}$ recibe la influencia de factores diversos: el tipo de vegetación, la posible influencia de fuentes de C inorgánicas, los procesos de desgasificación y precipitación que haya podido sufrir el agua de infiltración antes de llegar al interior de la cueva (McDermott, 2004), por lo que es difícil reconocer la combinación de parámetros que origina el patrón presentado. En nuestro caso, y a pesar del corto registro, la estacionalidad es patente, con valores mínimos que corresponden a los períodos de mayor actividad biológica (primavera+verano), que aporta C más ligero al proceso de precipitación de calcita.

A diferencia del $\delta^{13}\text{C}$, el valor del $\delta^{18}\text{O}$ del precipitado de calcita tiende a la uniformidad, lo que es coherente con su dependencia de la temperatura de precipitación, ya que ésta es bastante constante en el interior de la cueva (Fig. 2). La ligera

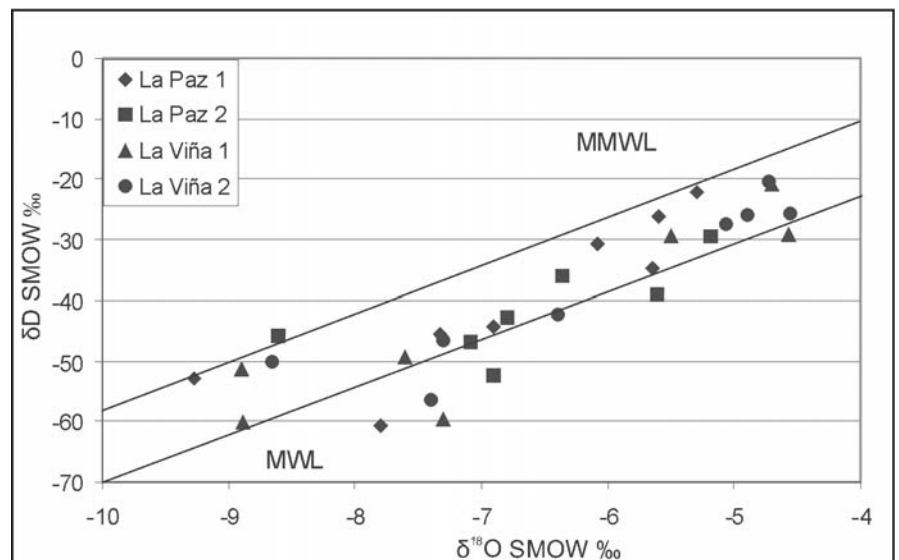


Fig. 3.- Relación entre $\delta^{18}\text{O}$ y δD del agua de goteo de dos cuevas (La Paz y La Viña), medidos cada estación del otoño de 2005 al verano de 2007, a excepción de algunos períodos de sequía.

Fig. 3.- Relationship between $\delta^{18}\text{O}$ and δD values of drip water from La Paz and La Viña caves, sampled stationally from 2005-fall to 2007-summer, excepting some droughty periods.

estacionalidad mostrada por el $\delta^{18}\text{O}$ del precipitado es inversa a la pauta esperable de las menores temperaturas de invierno y otoño respecto a primavera y verano en la región, pero se corresponde con la temperatura medida en el interior de la cueva, con valores más fríos entre invierno y primavera que en otoño, que son los dos períodos que acumulan mayor cantidad de precipitaciones y, por tanto, de precipitación de carbonato. Para cuantificar esta relación se puede considerar una dependencia lineal del valor del $\delta^{18}\text{O}$ respecto a la temperatura de $0,24 \text{‰} / ^\circ\text{C}$; con un rango de temperaturas medido de $1,192^\circ\text{C}$ (máximo y mínimo de las temperaturas promedio mensuales) la variación de $\delta^{18}\text{O}$ esperable sería de $0,286 \text{‰}$, muy inferior a la medida, que es de $0,73 \text{‰}$ y que, por su

parte, supondría unos 3°C de variación de la temperatura en el interior de la cueva. Esta discrepancia hay que atribuirla a otros factores que pueden oscurecer esta dependencia y alterar la fiabilidad de la señal isotópica como paleotermómetro (McDermott, 2004).

El valor de $\delta^{18}\text{O}$ del agua de goteo es el otro factor importante a considerar en el origen de la señal isotópica de la calcita. Los valores medidos muestran una variación significativa, con una pauta estacional marcada por la presencia de valores mínimos en invierno (Fig. 4). Estas variaciones pueden deberse a la influencia de la temperatura del agua de precipitación, cuyo valor de $\delta^{18}\text{O}$ decrece al disminuir la temperatura, en este caso exterior a la

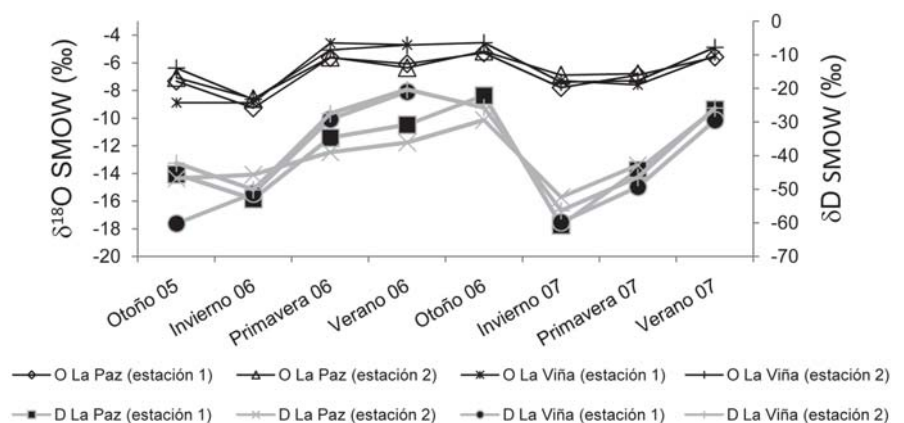


Fig. 4.- Evolución temporal de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y δD del agua de goteo de las cuevas de La Paz y La Viña.

Fig. 4.- Drip water $\delta^{18}\text{O}$ and δD values from La Paz and La Viña caves along monitoring period.

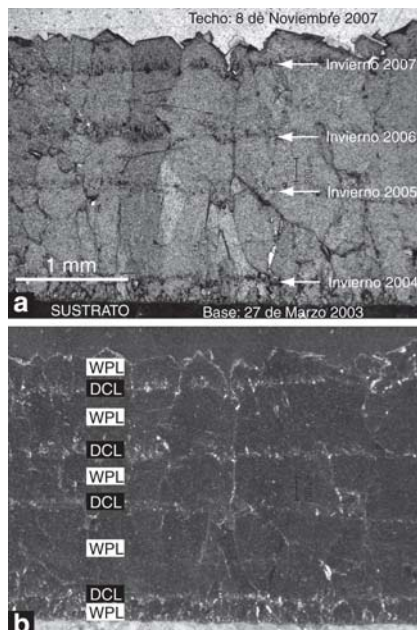


Fig. 5.- Fotografías con luz polarizada (a) y fluorescencia (b) de la placa OR-P1.

Fig. 5.- Polarized (a) and fluorescence (b) photographs of OR-P1 plate.

cueva. Esta relación es inversa a la de la calcita, así que puede amortiguar la dependencia de ésta, como parece ocurrir en el caso de las cuevas de Ortigosa (Fig. 6). En este sentido el agua de goteo actúa como una «ventana» de entrada en la cueva de las condiciones ambientales exteriores. En cualquier caso, la señal isotópica del O en los espeleotemas es un indicador de las condiciones ambientales aunque su interpretación es compleja y precisa de la ayuda de otros parámetros.

Conclusiones

La estacionalidad de la laminación estalagmítica actual, registrada en las Cuevas de Ortigosa durante tres años y medio, puede establecerse a partir de las siguientes observaciones:

- 1) El registro hidrológico en el interior de las cavidades indica que la máxima intensidad del goteo ocurre principalmente en otoño y primavera, de manera que la precipitación de calcita estalagmítica debe de producirse en estas épocas.
- 2) El análisis microscópico con luz ultravioleta indica la precipitación, durante el período frío (otoño), de láminas oscuras (DCL) enriquecidas en materia orgánica. La formación de las láminas claras (WPL) de mayor espesor y menor cantidad de materia orgánica ocurre en el período cálido (primavera).
- 3) La señal de $\delta^{13}C$ de la calcita presenta una pauta estacional clara, con valores mínimos en las etapas cálidas (primavera+verano), de mayor actividad edáfica (WPL).
- 4) La uniformidad de la temperatura anual en el interior de las cuevas hace que los valores de $\delta^{18}O$ de las láminas de calcita no presenten una estacionalidad marcada, a pesar de la variabilidad isotópica observada en el agua de goteo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Gobierno de La Rioja, el Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros y el Proyecto del Ministerio de Ciencia y Tecnología

CGL2006-08973. Nuestro agradecimiento para M^a Ángeles y todo el personal del Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros. También queremos agradecer a J. Jordá la revisión del manuscrito. Esta publicación es una contribución de los grupos «PaleoQ» y «Cuencas Sedimentarias Continentales» del Gobierno de Aragón.

Referencias

Affek, H.P., Bar-Matthews, M., Ayalon, A., Matthews, A. y Eiler, J.M. (2008). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72, 5351-5360.

Baker, A., Barnes, W.L. y Smart, P.L. (1997). *Hydrological Processes*, 11, 1541-1555.

Frisia, S., Borsato, A., Preto, N., y McDermott, F. (2003). *Earth and Planetary Science Letters*, 216, 411-424.

Genty, D. y Quinif, Y. (1996). *Journal of Sedimentary Research*, 66, 275-288.

Genty, D., Baker, A. y Barnes, W. (1997a). *Comptes Rendus de l'Académie des sciences, Série 2*, 325, 193-200.

Genty, D., Deflandre, G., Quinif, Y. y Verheyden, S. (1997b). *Bulletin de la Société Belge de Géologie*, 106, 63-77.

Ramírez, J.I., Olivé, A., Álvaro, M. y Hernández, A. (1990). *Mapa geológico de España. 1:50.000, hoja nº 241 (Anguiano)*. ITGE.

McDermott, F. (2004). *Quaternary Science Reviews*, 23, 901-918.

Ming, T., Tungsheng, L., Xiaoguang, Q. y Xianfeng, W. (1998). *Karstologia*, 32, 1-6.

Muñoz, A., Peña, J.L., Sancho, C. y Martínez, M.A. (2001). *Geogaceta*, 30, 95-98.

Muñoz, A., Sancho, C., Peña, J.L., Sánchez-Valverde, B., Valero-Garcés, B., Durán, J.J. y Genty, D. (2004). *Geotemas*, 6, (5), 141-144. VI Congreso Geológico de España.

Muñoz, A. y Sancho, C. (2008). *Zubía*, 20, 21-36.

Muñoz, A., Sen, A. K., Sancho, C. y Genty, D. (2009). *Journal of Caves and Karst Studies*, 71,63-72.

Qin, X., Tan, M., Liu, T., Wang, X., Li, T. y Lu, J. (1999). *Holocene*, 9, 689-694.

Quinif, Y., Genty, D. y Maire, R. (1994). *Bulletin Société Géologique France*, 165, 603-612.

Vaks, A., Bar-Matthews, M., Ayalon, A., Schilman, B., Gilmour, M., Hawkesworth, C.J., Frumkin, A., Kaufman, A. y Matthews, A. (2003). *Quaternary Research*, 59, 182-193.

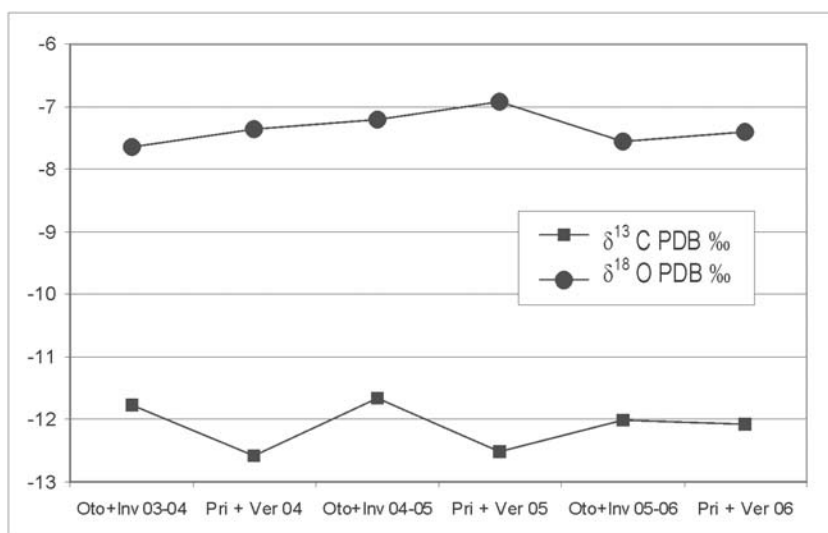


Fig. 6.- Evolución temporal de los valores de $\delta^{18}O$ y $\delta^{13}C$ de los precipitados laminares obtenidos durante 3 años.

Fig. 6.- $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ patterns of carbonate record along monitoring period.