

## LOS ESPELEOTEMAS COMO INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Javier Martín Chivelet \*

María Jesús Turrero \*\*

María Belén Muñoz \*

David Domínguez Villar \*

\* Dpto. Estratigrafía, Universidad Complutense, Madrid

\*\* Dpto. Impacto Ambiental de la Energía, Ciemat, Madrid

**L**os espeleotemas más recientes de Kaite y de otras cuevas de Castilla y León están permitiendo reconstruir, con una resolución sin precedentes, las variaciones climáticas de los últimos milenios en el norte de la Península Ibérica. El estudio microestratigráfico de variaciones en la composición química, textural o de las tasas de crecimiento que experimentan dichos espeleotemas en el tiempo, unido a la monitorización hidrogeoquímica del agua de goteo y de los precipitados espeleotémicos de carbonato cálcico actuales asociados a dicho goteo, permiten inferir los cambios en las temperaturas y las precipitaciones que ocurrieron en el pasado reciente, un aspecto fundamental para comprender el cambio climático actual y las consecuencias que podría tener en nuestro país.

El conocimiento de la variabilidad del clima en el pasado resulta fundamental para entender el cambio global actual, en el

cual la acción antrópica se ha unido a los factores "naturales" de cambio climático, y esencial para predecir las consecuencias que está teniendo y tendrá dicho cambio en el ámbito local o regional. Sin embargo, el estudio de esa variabilidad climática pretérita no es una tarea sencilla. Las medidas instrumentales de parámetros climáticos (que van desde el registro de una temperatura por un simple termómetro a las medidas que nos envían los satélites meteorológicos) se restringen a tiempos muy recientes, y permiten conocer cómo han variado las temperaturas y las precipitaciones únicamente durante las últimas décadas o, en los casos más favorables, siglos. Pero estos lapsos de tiempo son demasiado cortos para comprender las pautas que sigue el clima, así como para discernir las posibles causas (antrópicas o no) de esos cambios.

Es necesario por tanto obtener información sobre el clima más allá de los últimos dos siglos. Y para ello es preciso recurrir a los indicadores paleo-

climáticos, de los que podemos obtener información indirecta de las condiciones ambientales pasadas, y que nos permiten reconstruir el clima y su variabilidad en aquellos tiempos de los que no disponemos de medidas directas instrumentales.

Los indicadores paleoclimáticos pueden ser de naturaleza muy diversa, y el uso de unos u otros dependerá de los objetivos que persigamos. No es lo mismo reconstruir las condiciones climáticas globales del final del Cretácico (hace unos sesenta y cinco millones de años) que analizar la variabilidad climática de los últimos milenios en una región dada. Aunque ambos tipos de estudio son de gran interés científico, es obvio que el segundo debe tener un mayor peso a la hora de caracterizar el cambio climático actual y predecir sus repercusiones en el ámbito regional.

Los objetivos de nuestra investigación en las cuevas del norte de Castilla y León son convergentes con esa segunda línea de trabajo. Nos ocupamos de la

reconstrucción y caracterización de la variabilidad climática de los últimos milenios en el norte de España y para ello nos apoyamos esencialmente en el análisis de espeleotemas de carbonato generados en ese lapso de tiempo. Estos carbonatos, que han crecido lentamente en el interior de las cuevas, constituyen herramientas de gran utilidad e interés en el campo de la reconstrucción

paleoclimática. Su potencial viene determinado esencialmente por los siguientes aspectos:

**1) Las variaciones en las características de los espeleotemas a lo largo del tiempo pueden reflejar cambios ambientales en el exterior de la cueva.**

Los espeleotemas precipitan de forma lenta y su mineralogía, su química, su tasa de crecimiento y otras propiedades petrológicas

y geoquímicas dependen de las variables medioambientales del interior de la cueva. Esas variables son, esencialmente y siempre que no existan variaciones significativas de la humedad ambiental ni corrientes de aire, la temperatura, la tasa de goteo y la química del agua a partir de la cual precipita el carbonato. Las mismas vienen determinadas en gran medida por las condiciones climáticas y ambientales del exterior: temperatura media anual, estacionalidad, precipitaciones, cubierta de nieve, tipo de suelo y vegetación, etc.

**2) Los espeleotemas son sensibles al cambio climático pero generalmente no a los eventos de tipo meteorológico.**

Además, muchas zonas del medio subterráneo del karst son poco sensibles a los eventos meteorológicos, dada la fuerte inercia térmica e hidrológica que presentan, pero son, sin embargo, muy sensibles a los cambios climáticos que tienen lugar en lapsos de tiempo de años o décadas.

**3) Los espeleotemas se pueden datar mediante técnicas radiométricas.**

La datación absoluta de los espeleotemas mediante técnicas radiométricas permite ubicar la información paleoclimática en un marco temporal preciso. El método más utilizado en la actualidad para datar los espeleotemas consiste en la obtención de la relación  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  de las muestras seleccionadas. Se basa en que, aun en proporciones muy pequeñas, el uranio pasa como impureza a formar parte de la calcita de los espeleotemas, mientras que el torio no lo hace. A partir del momento de la precipitación de la calcita, la desintegración radiactiva del uranio comienza a producir torio, el isótopo hijo,

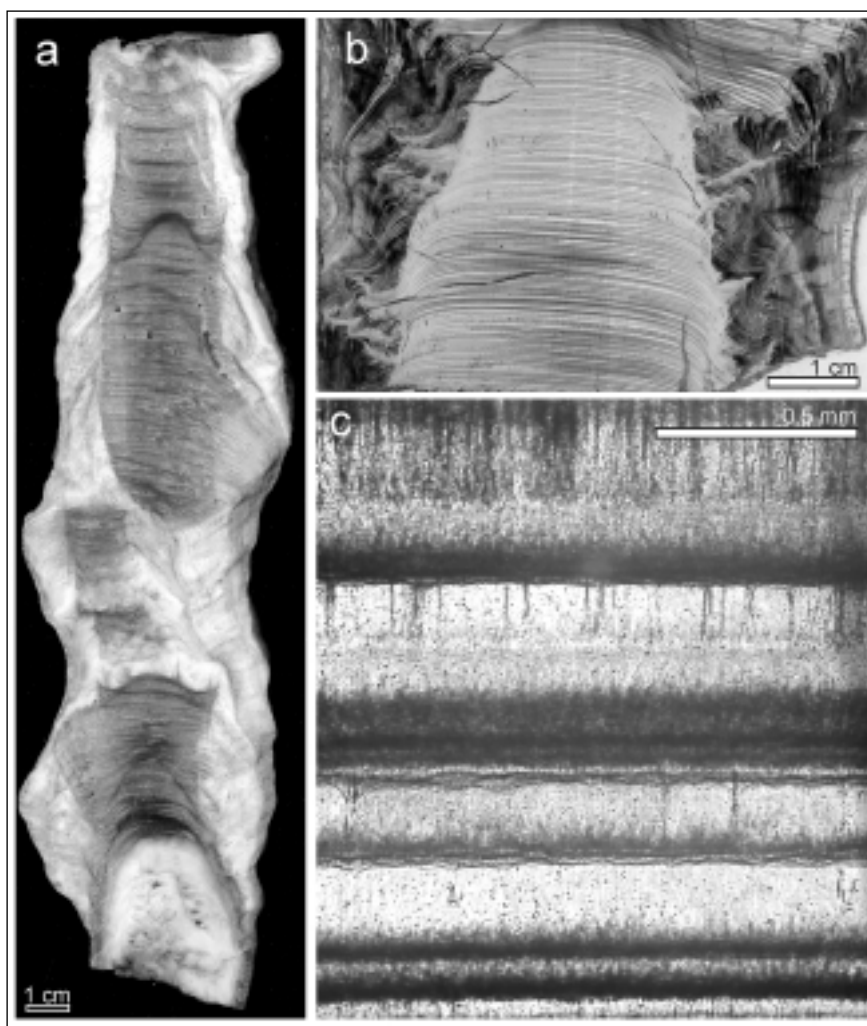


Figura 1. a) Sección axial pulida de un fragmento de estalagmita procedente de Kaité, en el que se pueden apreciar notables variaciones texturales y cambios en las pautas de crecimiento del espeleotema. Así mismo se pueden apreciar laminaciones de carácter anual. La edad de la muestra es Holoceno antiguo. b) Lámina delgada de la sección longitudinal de un espeleotema procedente de la Galería del Sílex (Cueva Mayor, Atapuerca), en la que se aprecia una marcada laminación, de carácter anual. La base de la muestra tiene unos 1.900 años y representa el crecimiento durante un siglo. c) Detalle de la laminación de la muestra ilustrada en (b) bajo el microscopio petrográfico.

cuya proporción, obviamente, irá aumentando conforme pase el tiempo. Las medidas de la relación isotópica se realizan con la ayuda de tres técnicas de diferente resolución y costo que son la espectrometría alfa (Ciemat, Madrid), la espectrometría de masas de ionización térmica (Univ. MacMaster, Canadá) y la espectrometría de masas con fuente de plasma (Univ. Minnesota, USA).

4) **La resolución cronológica de los espeleotemas puede ser anual.** Muchos espeleotemas presentan internamente una microestratigrafía que permite afinar mucho en la datación de las series climáticas. En los mejores casos, la presencia de laminaciones de carácter anual permite alcanzar esa resolución temporal, muy superior a la que da la mayoría de los indicadores paleoclimáticos.

Aunque el potencial de los espeleotemas es grande, la obtención de series paleoclimáticas fiables a partir de ellos dista mucho de ser una tarea fácil. Los

problemas son múltiples y van desde la elección de una zona endokárstica adecuada y la recogida de muestras de las que a priori se sabe poco sobre su edad y características, a los costosos y laboriosos procesos de obtención y análisis de datos. En los casos más favorables, las series de datos que se obtienen (por ejemplo las pequeñas variaciones en la composición química del carbonato) deben ser interpretadas en términos paleoclimáticos (por ejemplo, cambios en la temperatura), en un complejo proceso que puede compararse al descifrado de un mensaje en clave. En esta labor resultan fundamentales dos aspectos. El primero de ellos es disponer de un conocimiento profundo de la zona de la cavidad donde se ha generado el espeleotema analizado: es esencial saber cuáles son los condicionantes físico-químicos que han determinado su formación y sus variaciones composicionales, texturales, etc. El segundo es poder disponer de información paleoclimática independiente del

sistema kárstico (por ejemplo, procedente de indicadores históricos o de sedimentos de humedales próximos) que, aunque no sea tan resolutive como la obtenida a partir del espeleotema, nos permita calibrar nuestras series paleoclimáticas.

Nuestro equipo está integrado por investigadores de la Universidad Complutense de Madrid, el Ciemat, la Universidad de Burgos, la Universidad de McMaster (Canadá) y la Universidad de Minneapolis (USA), y con él colaboran otras instituciones, destacando entre ellas el Grupo Espeleológico Edelweiss, que brinda su apoyo en las campañas de muestreo y comparte su experiencia y conocimiento karstológico de los sistemas de Ojo Guareña y Atapuerca.

El objetivo prioritario es la obtención de series de la variabilidad climática reciente en el Norte de España. Por ello se están estudiando espeleotemas de tres cuevas diferentes, pero de la misma franja climática: Kaite, en Ojo Guareña (Burgos), la Galería del Sílex (Cueva Mayor, Atapuerca) y la Cueva del Cobre (Palencia). De las tres se han obtenido muestras de roca de gran interés para el análisis paleoclimático, que se concentra esencialmente, en esta primera fase de trabajo, en el Holoceno (últimos 10.000 años). Los primeros resultados y series paleoclimáticas se recogen en varios trabajos (Muñoz et al., 2002, 2004 y en prensa; Domínguez Villar et al, 2004). Los espeleotemas de Kaite reflejan las tasas de crecimiento más elevadas, en la Galería del Sílex son algo inferiores mientras que las tasas más bajas se dan en la cueva del Cobre, donde el crecimiento, sin embargo, parece haber sido más homogéneo a lo largo del Holo-



Figura 2. Fotografía en el interior de Kaite en la que se aprecian la sonda multiparamétrica (izquierda) y el pluviómetro (derecha), para medida de parámetros fisicoquímicos y tasa de goteo, respectivamente.

ceno. Cada cueva ofrece oportunidades diferentes de obtención de datos y la integración de todos ellos se revela como clave en la consecución de los objetivos. La *Figura 1* muestra secciones longitudinales de estalagmitas procedentes de Kaite y la Galería del Sílex en las que se pueden apreciar finas laminaciones a las que se atribuye, en función de las dataciones obtenidas y el análisis microestratigráfico, un carácter anual.

En Kaite se ha desarrollado además un sistema pionero de monitorización hidrogeoquímica y ambiental "in situ" de la cavidad. El objetivo es investigar la influencia de los cambios ambientales y de las condiciones climáticas actuales en los parámetros relacionados con la formación de los espeleotemas, por ejemplo el pH, la conductividad eléctrica, la concentración de calcio y bicarbonato, o la tasa de goteo. Para tener un registro continuo de la evolución de dichos parámetros se está utilizando una sonda multiparamétrica que contiene varios electrodos individuales para medir temperatura, pH, oxígeno disuelto, redox y conductividad eléctrica del agua de goteo (*Figura 2*). Esta sonda tiene un sistema de almacenamiento de datos autónomo, que registra datos cada 6 horas. Además, se recogen muestras de agua de goteo periódicamente (estacionalmente) para análisis químicos e isotópicos y se registra la tasa de goteo mediante un pluviómetro de cazoletas, especialmente adaptado para tal fin.

Entre otros aspectos interesantes, de los datos analizados hasta el momento con este sistema de monitorización se destaca

que la temperatura en el interior de la cueva de Kaite (Sala de Las Velas) es constante durante todo el año ( $10,37 \pm 0,04^\circ\text{C}$ ); la conductividad eléctrica disminuye hacia la primavera, en respuesta a una mayor pluviosidad; los contenidos iónicos son máximos en verano, debido a una tasa de infiltración menor (menos lluvia) y tiempos de residencia mayores; y se ha constatado que hay variaciones espaciales (en pocos metros) en los parámetros analizados en el agua de goteo de distintos puntos de Kaite, que se reflejan en diferencias en la composición química y en la tasa de precipitación de carbonato. En conjunto, se reconoce además una mayor tasa de crecimiento de los espeleotemas durante el otoño y el invierno, e inferior durante la primavera y el verano. Algunos de estos resultados se detallan en Turrero et al. (2004a, 2004b).

La integración final de resultados, referente a variaciones espaciales y temporales y su correlación con los cambios en las condiciones ambientales, permitirá dibujar un esquema de funcionamiento del sistema actual que ayudará a descifrar el significado del formidable archivo de datos que ofrece el estudio de los espeleotemas que crecieron en épocas pasadas.

## BIBLIOGRAFÍA

DOMÍNGUEZ VILLAR, D., MARTÍN-CHIVELET, J., EDWARDS, R.L. (2004): Laminación anual en un espeleotema del Holoceno Inferior (Cueva de Kaite, Complejo Kárstico de Ojo Guareña, Burgos). Implicaciones paleoclimáticas. *Geo-temas*, 6.

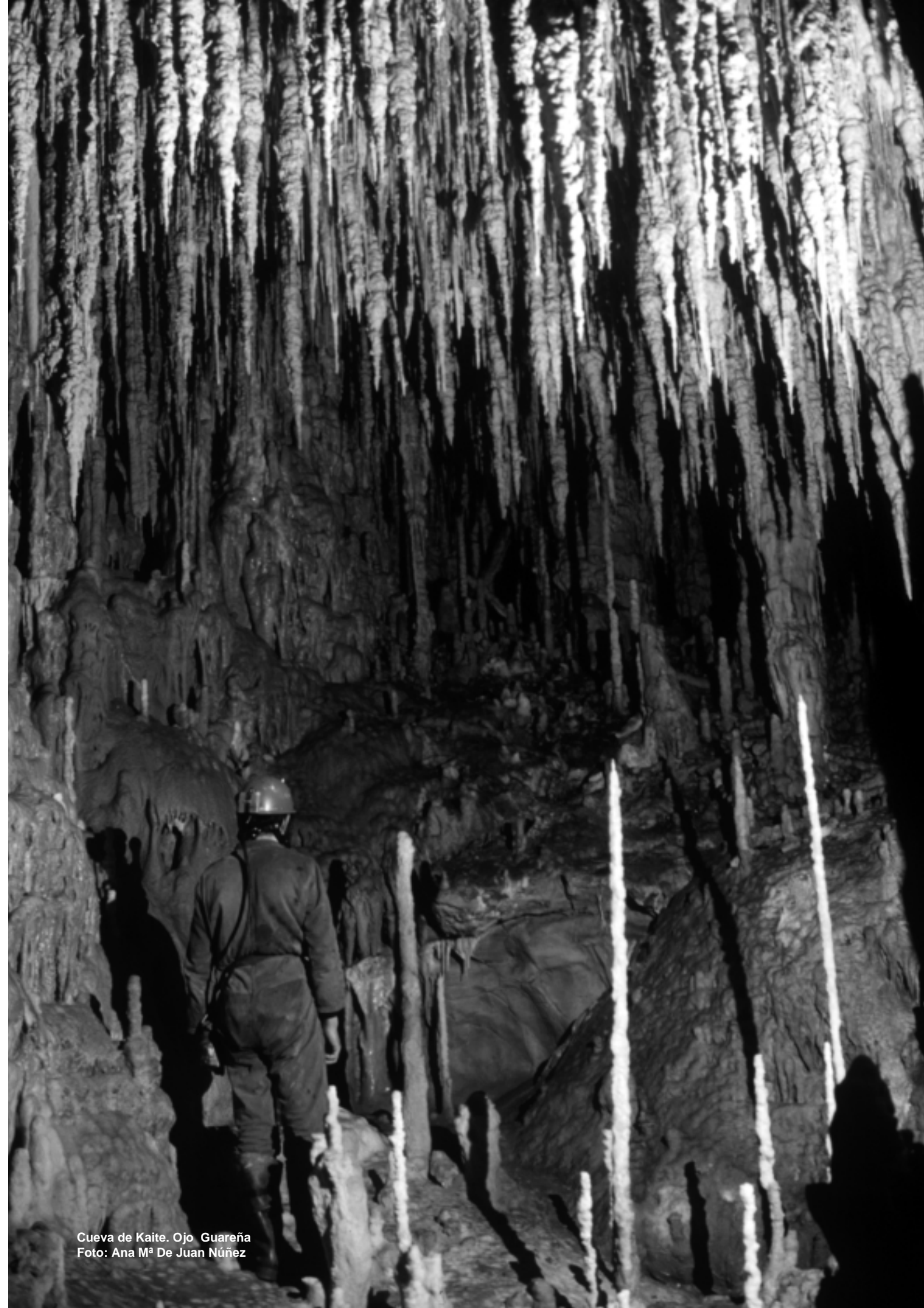
MUÑOZ, M.B., MARTÍN-CHIVELET, J., ROSSI, C. (2004): Implicaciones paleoclimáticas de la distribución geocronológica de espeleotemas en la Cueva del Cobre (Palencia). *Geogaceta*, 35.

MUÑOZ, M.B., ROSSI, C., MARTÍN CHIVELET, J., FORD, D.C., SCHWARCZ, H.P. (2002): Isotopic record of a Holocene stalagmite from Cueva del Cobre (Cantabrian Mountains, N Spain): Paleoclimatic implications. En: *Cave climate and Paleoclimate. Best records of the Global Change*. Shopov, Y. (ed.), International Workshop of OIS Commission on Physical Chemistry and Hydrogeology of Karst. Abstract book.. Stara Zagora (Bulgaria).

MUÑOZ, M.B., ROSSI, C., MARTÍN CHIVELET, J., FORD, D.C., SCHWARCZ, H.P. (en prensa): Stable isotope record of a 5300 yr-old stalagmite from Northern Spain (Cueva del Cobre, Cantabrian Mountains). Paleoclimatic implications. *The Holocene*.

TURRERO, M.J., GARRALÓN, A., MARTÍN-CHIVELET, J., GÓMEZ, P., SÁNCHEZ, L., ORTEGA, A.I., MARTÍN-MERINO, M.A. (2004a): Seasonal changes in the chemistry of drip waters in Kaite Cave (N Spain). *Water-Rock Interaction*, 11.

TURRERO, M.J., GARRALÓN, A., MARTÍN-CHIVELET, J., GÓMEZ, P., SÁNCHEZ, L., ORTEGA, A.I., MARTÍN-MERINO, M.A. (2004b): Caracterización química del agua en la cueva Kaite y monitorización de las variaciones estacionales. *Geogaceta*, 35.



Cueva de Kaite. Ojo Guareña  
Foto: Ana M<sup>a</sup> De Juan Núñez