

## **Memoria de cierre de proyecto**

Paleopluviosidad a partir de espeleotemas con laminación anual: monitorización y aplicaciones al paleoclima holoceno del N de España

Código: 2952

### *Introducción*

La hipótesis a contrastar es que las sequías se registran en ciertas estalagmitas mediante decrecimientos en el espesor de sus láminas anuales y/o por aumentos en la relación Mg/Ca de la calcita correspondiente. Para ello hemos monitorizado la descarga e hidroquímica de los goteos que sabemos están formando en la actualidad estalagmitas con laminación anual, en las cuevas de El Soplao-Torca Ancha y Udías. Los datos se suman a los obtenidos previamente (2011-2013 y 2016-actualidad), lo que permite evaluar con más confianza en qué medida las variaciones de caudal y Mg/Ca reflejan cambios inter-anuales en pluviosidad, y la posible influencia de los cambios interanuales de temperatura en los registros. En segundo lugar, estudiamos en detalle varios registros estalagmáticos recientes con laminación anual, de los que ya se dispone de material merced a un estudio previo. Su comparación con los datos meteorológicos disponibles ha permitido calibrar la sensibilidad de estas estalagmitas ante los cambios de pluviosidad del último siglo, con especial atención a las sequías. Los datos han servido como mínimo para extender el registro de sequías severas en la Cornisa Cantábrica, aportando claves para evaluar la hipótesis de una posible intensificación de las sequías en el siglo XX. Dada la gran influencia de la precipitación previa de calcita (PPC) en la química del agua y calcitas en estas cuevas, las concentraciones de Sr en la calcita como su composición isotópica (especialmente  $\delta^{13}\text{C}$  y  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) son sensibles a los cambios hidrológicos. Por tanto, hemos usado estos indicadores para complementar y matizar los registros de Mg y tasa de crecimiento.

La influencia del cambio climático global en España, y más concretamente en la Cornisa Cantábrica, sólo puede evaluarse con realismo disponiendo de indicadores climáticos fiables del período preindustrial y que abarquen también el último siglo, lo que permite calibrarlos y compararlos directamente con la situación actual. La frecuencia de las sequías severas en el pasado reciente permitirá evaluar mejor si existe una relación con el calentamiento registrado en el último siglo, o bien si son producto de otras fluctuaciones climáticas naturales independientes. Así podrían racionalizarse mejor los recursos económicos destinados a solventar los efectos, a veces devastadores, de las sequías. La transmisión de información al público, mediante la divulgación de resultados científicos, puede por una parte aumentar el bagaje científico-cultural de la sociedad y por otra permitir a la ciudadanía valorar cuáles son las medidas más apropiadas a adoptar. La difusión de estos resultados podría resolver preguntas que interesan y mucho al conjunto de la sociedad como ¿han sido más intensas y/o más frecuentes las sequías en los últimos 100 años que en siglos previos?

### *Despliegue de sensores y monitorización automática*

Los emplazamientos que se han monitorizado están en 3 cuevas, dos de ellas en la sierra de Arnero (Soplao y Torca Ancha) y la restante en la depresión de Udías, todas en Cantabria occidental. Las cuevas están situadas a diferentes altitudes, lo que induce moderadas y deseables diferencias de temperatura. Dos de los emplazamientos en El Soplao presentan influencia antrópica (visitas esporádicas de grupos reducidos) pero a cambio su accesibilidad es óptima. Los otros emplazamientos no presentan influencia antrópica significativa en la actualidad, aunque Torca Ancha y Udías la han presentado durante parte del siglo XX

relacionadas con actividad minera. Los emplazamientos monitorizados presentan pues una variedad de condiciones lo bastante amplia como para poder separar en sus estalagmitas factores locales y/o antrópicos de factores climáticos regionales.

En la cueva de El Soplao se han monitorizado tres emplazamientos. En el resto de cuevas sólo un emplazamiento por cueva (total: 6 emplazamientos). Hemos instalado dos pluviómetros adicionales en el exterior con registradores adicionales de temperatura y humedad, 15 sensores de caudal (stalagmate) adicionales y 5 registradores continuos de conductividad en goteos seleccionados.

#### *Monitorización manual periódica*

Hemos visitado los emplazamientos 6 veces al año. En las visitas hemos descargado los datos de los registradores y hemos verificado su funcionamiento, reemplazando los defectuosos en su caso. En cada emplazamiento hemos medido PCO<sub>2</sub> en el aire. En todos los goteos monitorizados: hemos medido pH, temperatura y conductividad *in situ*; hemos registrado manualmente el intervalo entre gotas y hemos tomado submuestras cronometradas para determinar caudal y volumen de gota; hemos recogido muestras de agua para el análisis de iones, alcalinidad total e isótopos de oxígeno e hidrógeno. En goteos seleccionados, hemos tomado también muestras de agua para el análisis de la relación 87Sr/86Sr.

#### *Análisis hidroquímicos*

Los análisis hidroquímicos se han realizado en parte en los laboratorios del IGME -Tres cantos, y en parte (Mg, Ca, alcalinidad) en el área de Petrología y Geoquímica (APG) de la Facultad de Geología UCM. Las concentraciones de Mg y Ca se han medido con espectrometría de absorción atómica y también con espectrometría de masas con fuente de plasma (ICPMS). Las concentraciones de Sr, U, Pb, Zn, Fe, Mn, Ba, y Al, se han medido con ICPMS. Las concentraciones de Na, K se han medido con espectrometría de absorción atómica, y las de SO<sub>4</sub>, Cl, SiO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, y PO<sub>4</sub> con cromatografía iónica. Las relaciones de isótopos de Sr se han medido en el laboratorio de Geocronología y Geoquímica Isotópica (UCM). Las determinaciones de isótopos estables se han realizado en la Universidad de Michigan.

#### *Procesado y análisis de los datos hidroquímicos*

Control de calidad de los datos hidroquímicos mediante análisis de la regresión alcalinidad conductividad y alcalinidad-Ca, y por balance de cargas. Identificación de valores anómalos y eliminación o replicado de los mismos. Para todos los goteos y campañas, hemos calculado los índices de sobresaturación usando PHREEQC. El análisis de los parámetros hidroquímicos se ha calculado por regresión bivariante, especialmente en series temporales.

#### *Procesado y análisis de los datos hídricos*

Se ha realizado la comparación gráfica de los hidrogramas de pluviosidad y de caudal de los goteos y se ha realizado el análisis de los tipos de respuestas hídricas así como la comparación gráfica de los hidrogramas con el resto de parámetros físico-químicos monitorizados y en gráficos bivariantes y la detección de anomalías y tendencias.

#### *Análisis integrado de los datos hídricos e hidroquímicos*

Hemos obtenido el tipo de variaciones que están registrando para los goteos que nutren estalagmitas en las que nos conste la presencia de laminación anual (por muestreo de sus ápices), para identificar con certeza los principales controles en su composición química,

particularmente de las relaciones Mg/Ca y Sr/Ca y la sobresaturación. También hemos identificado los goteos que mejor capturan las señalesquímicas ligadas a cambios en pluviosidad.

#### *Muestreo y replicado de estalagmitas*

Durante las campañas del primer año, hemos muestreado una parte del ápice de las estalagmitas que están formándose bajo los goteos monitorizados (que no hayan sido muestreadas previamente). Una vez analizados los datos de monitorización correspondientes al primer año, hemos seleccionado para su muestreo completo estalagmitas calcíticas con láminas anuales y que son sensibles a registrar los cambios hidrológicos directamente ligados con el clima. Estas estalagmitas se suman a las estalagmitas con láminas anuales ya disponibles y datadas. En todos los casos, el muestreo se ha realizado respetando al máximo el medio ambiente subterráneo, y las estalagmitas muestreadas se han duplicado fielmente en resina, restituyendo las réplicas a sus emplazamientos originales en la siguiente campaña.

#### *Preparación de las muestras sólidas*

Hemos obtenido una (caso de las muestras de ápices de estalagmitas) o dos (caso de las estalagmitas completas) rodajas axiales usando cortadoras de diamante (Laboratorios del IGME en Tres Cantos y APG). Después hemos desbastado, pulido y eliminado de restos de abrasivos con ultrasonidos, para poder escanear las superficies y recortar convenientemente las submuestras (4cmx2.5cmx1cm) para confeccionar láminas delgadas alta calidad (con doble pulido e impregnación previa al vacío y con presión)

#### *Análisis petrográficos y geoquímicos en las estalagmitas*

Hemos realizado el estudio petrográfico con epifluorescencia de las láminas delgadas y también hemos elaborado mosaicos de imágenes de fluorescencia utilizando microscopía confocal en las instalaciones del Centro de Microscopía de la UCM. Tras el recuento de láminas fluorescentes y la medida de las tasas de acreción, hemos realizado la medida de las concentraciones de elementos traza siguiendo la dirección axial de máxima extensión, primero con microsonda de electrones (CNME, Madrid) y después con mucha más precisión usando LA-ICP-MS. Hemos extraído submuestras con microtaladro para isótopos estables y radiogénicos, usando los mismos bloques de muestra de los que se cortaron las láminas delgadas y siguiendo el mismo transepto empleado para los análisis de elementos traza. En el caso de los isótopos estables, la resolución ha sido de un orden de magnitud menor que la de los elementos traza, y en el caso de los radiogénicos, dos órdenes de magnitud menos. Hemos realizado el submuestreo selectivo de horizontes de 1 mm de espesor (correspondiente típicamente a ~10 años de precipitación de calcita en muchas muestras) para su datación U-Th, para verificar el carácter anual de la laminación. En precipitados de CaCO<sub>3</sub> recientes, hemos analizado los cationes con las mismas condiciones empleadas en las aguas.

#### *Muestreo final*

En la última campaña de campo, hemos muestreado el carbonato precipitado de los goteosestudiados al menos durante el tiempo de monitorización, sobre portaobjetos de vidrio dotados de semillas de nucleación y colocados previamente al efecto. Hemos aplicación los mismos métodos de análisis empleados en las estalagmitas, incluyendo la separación de submuestras para análisis de isótopos estables. Hemos realizado los cálculos de la composición isotópica teórica en función de la temperatura y la composición del agua, que verifican el crecimiento del carbonato espeleotémico próximo al equilibrio isotópico

### *Difusión y divulgación*

Finalmente, hemos desarrollado actividades divulgativas simultáneas a la obtención de resultados perfeccionando los protocolos de trabajo que minimicen el impacto de la investigación en el medio ambiente subterráneo. Se han presentado en el X Congreso Geológico de España los resultados de la formación de los guías de la cueva El Soplao (Educación y divulgación geológica en la cueva El Soplao, Cantabria).

Rafael Pablo Lozano