

Impacto Antrópico en las Aguas de Goteo de la Cueva de Canelobre (Alicante)

/ ELENA GARCÍA-ANTÓN (1), JAIME CUEVAS-GONZÁLEZ (1,2), ANGEL FERNÁNDEZ-CORTES (3), DAVID BENAVENTE (1,2*), SERGIO SÁNCHEZ-MORAL (3), JOSE MIGUEL ANDREU (1), JUAN CARLOS CAÑAVÉRAS (1,2)

(1) Dpto. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Universidad de Alicante. 03080, Alicante (España)

(2) Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada CSIC-UA. Universidad de Alicante. 03080, Alicante (España)

(3) Dpto. Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. 28006, Madrid (España)

INTRODUCCIÓN.

Los ambientes subterráneos son considerados como sistemas físicos de moderada a alta estabilidad debido a un intercambio relativamente bajo de energía con el exterior, en respuesta a la baja conductividad térmica de las rocas (Heaton 1986).

En general, bajo condiciones naturales las cuevas presentan una gran estabilidad microclimática a lo largo del ciclo anual (Cigna, 2004) excepto en las zonas próximas a una conexión directa con el exterior. Esta gran estabilidad contrasta con las fuertes variaciones que experimenta la concentración de CO₂ en la atmósfera y el agua de infiltración de muchas cavidades. Dichas variaciones influyen decisivamente en el sistema geoquímico subterráneo provocando el desarrollo de los procesos de disolución y precipitación mineral.

Por su parte, en las cuevas turísticas los visitantes producen un incremento diario del CO₂, vapor de agua y T del aire que en un ambiente con humedad próxima a la saturación pueden provocar modificaciones sustanciales del estado de saturación de las aguas de goteo, especialmente las de flujo más lento. Todo ello puede traducirse en el desarrollo de procesos de microcorrosión de los espeleotemas activos, además de activar los procesos metabólicos de los microorganismos que colonizan los distintos soportes (roca y espeleotemas).

La cueva del Canelobre (Busot, Alicante) constituye un claro ejemplo de uso turístico de un recurso natural. Esta cueva es una de las más visitadas del

país, con una afluencia anual cercada a los 60000 visitantes. Se sitúa en la ladera sur de la Sierra del Cabeçó d'Or, a una altitud de unos 700 msnm. El acceso a la cueva se realiza mediante un túnel con doble puerta excavado de unos 40 m de longitud, por debajo de la entrada natural. Este túnel, como cualquier acceso artificial es un elemento clave en los intercambios energéticos entre la cueva y el exterior, intercambios o flujos principalmente controlados por las diferencias en temperatura y densidad de la atmósfera interior de la cueva y del exterior (Fernández-Cortés et al., 2009).

El régimen de visitas es abierto durante el horario de apertura establecido. En función del número de visitantes el aumento, tanto de la concentración de CO₂ como de la temperatura del aire produce variaciones diferentes en los ciclos climáticos diarios (Cuevas-González et al. 2009). Esporádicamente la cueva se usa para la celebración de eventos, como conciertos musicales, que se realizan en horario nocturno. Estos episodios, de más de tres horas de duración modifican notablemente las oscilaciones cíclicas diarias del microclima de la cueva. El objetivo de este trabajo es registrar el efecto de estos eventos de larga y masiva visita en la atmósfera y en la química del agua de goteo de la cueva.

MÉTODOS.

Se han registrado las variaciones microclimáticas (temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂) en el aire de la cueva en diferentes puntos de la misma, durante los días 28 de Abril a 2 de Mayo de 2010, cuando se celebraron dos conciertos en su interior

(30 de abril y 1 de Mayo) con una asistencia media por evento de 200 personas durante 7 horas. Asimismo se han analizado *in situ* los principales parámetros hidrogeoquímicos (pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, Concentración del ión HCO₃⁻ y pCO₂) de las aguas de goteo de la cueva durante el mismo periodo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Durante los 5 días de control la temperatura media exterior fue de 17,6°C (oscilando entre 14 y 22°C), con una media diaria tendente al descenso, mientras que la temperatura media en el interior de la cueva fue ligeramente inferior (17,2°C) con progresivo ascenso debido al impacto de las visitas masivas.

En la figura 1 se puede observar como la relación térmica exterior-interior condiciona el grado de ventilación de la cavidad y cómo esta ventilación, que puede oscilar a lo largo de un ciclo anual, puede verse modificado por actuaciones derivadas de la gestión turística de dicha cavidad. En los 5 días monitorizados en función de la relación térmica exterior-interior, la apertura de la puertas del túnel de acceso puede provocar la entrada de aire frío y seco (activación matinal de la ventilación natural de la cavidad por circulación convectiva) o aire caliente y seco (tendencia al establecimiento de un gradiente térmico que induce la estratificación del aire de la cavidad cuando la apertura se produce por la tarde).

Por otro lado la asistencia masiva y continuada durante los conciertos lleva a provocar aumentos de temperatura del aire de hasta 1,4°C en algunas zonas de la cueva (Figura 1), así como la marcados incrementos de la concentración de CO₂, que

palabras clave: karst, impacto ambiental, espeleotemas, CO₂, interacción agua-roca

key words: karst, environmental impact, speleothems, carbon dioxide, water-rock interaction

prácticamente llega a duplicarse. La química de las aguas de goteo también se ve afectada por estas visitas; se observan ligeros incrementos en el pH, temperatura, y CO_2 disuelto en los dos puntos de aguas de goteo analizados. Los procesos de disolución/precipitación de minerales carbonatados en cavidades kársticas están fuertemente controlados por la relación de concentración de CO_2 en aire y agua, y tiene su reflejo en la química de las aguas de goteo (pH, concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} , entre otros), siendo la temperatura el factor que controla la solubilidad del CO_2 en agua y las transferencias de masa y energía entre las fase vapor y fase líquida.

La ventilación de la cavidad mediante circulación convectiva, provoca la entrada a la cavidad de aire del exterior con menor concentración en CO_2 (aumentando la diferencia entre la pCO_2 del agua de infiltración y del aire). La disminución de CO_2 está atenuada por el aporte antrópico del gas debido a las visitas a la cavidad, de forma que los cambios de CO_2 tras la ventilación no son elevados.

Si los conciertos se realizan en una época, por ejemplo verano, en la que la ventilación no hubiera sido tan efectiva (aunque abrieran puertas) es previsible que los niveles CO_2 de la atmósfera de la cueva hubieran llegado a umbrales de 2400 ppm y sí podría haber influido en el grado de saturación de las aguas de goteo.

CONCLUSIONES.

La afluencia masiva de visitantes a cuevas tiene un potencial desequilibrante notable, ya que ésta puede generar variaciones significativas en la temperatura y concentración de CO_2 del aire de la cueva. Un aumento en el CO_2 implica mayores concentraciones de equilibrio en las aguas de goteo que alimentan los espeleotemas, pudiendo afectar disminuyendo su tasa de crecimiento, incluso provocando microcorrosión e incluso favoreciendo transformaciones minerales y texturales en los espeleotemas activos asociados a goteos de flujo lento. El grado de influencia de los visitantes está controlado por el grado de intercambio energético de la cueva y el exterior, siendo también importante la época del año en la que se produzca la entrada. Cuanto menor sea la tasa de ventilación de la cueva, más sensible es su

microambiente a la presencia masiva de visitantes.

AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto CGL2008-05929/BTE y realizado dentro del marco del proyecto IGCP-513 de la UNESCO.

REFERENCIAS.

- Andreu, J.M., Cañaveras, J.C., Cuevas, J., García Del Cura, M.A., Hernández Bravo, J. A., Muñoz Cervera, M.C., Soler, V. (2007): Caracterización microclimática de la Cueva de Canalobre (Alicante). In: "Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible", J.J. Duran, P.A. Robledo, J. Vázquez, eds. Publicaciones del IGME. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, (24), 105-114.
- Cigna, A.A. (2004): Climate of caves. In: "Encyclopedia of Caves and Karst Science" J. Gunn, ed. Taylor & Francis Books, Inc. New York, 228-230.
- Cuevas-González, J., Fernández-Cortés, A. Andreu, J.M., Cañaveras J.C. (2010): Influence of daily visiting regime in tourist caves at different seasons. In: "Advances in Research in Karst Media", B. Andreo, F. Carrasco, J.J. Durán, J.W. LaMoreaux, eds. Springer Verlag, Berlin, 503-508.

Fernandez-Cortes, A., Sanchez-Moral, S., Canaveras, J.C., Cuevas, J., Cuezva, S., Andreu, J.M., Abella, R. (2009): Variations on seepage water geochemistry induced by natural and anthropogenic microclimatic changes: Implications for the speleothems growth conditions. Geophysical Research Abstracts, **11**, EGU2009-5868 (EGU General Assembly 2009. GM7.2/NH9.4 Karst systems: dynamics, evolution and paleoenvironmental recordings. Vienna, Austria).

Heaton, T. (1986): Caves: a tremendous range of energy environments on Earth. Nat. Speleol. Soc. News, August, 301-304.

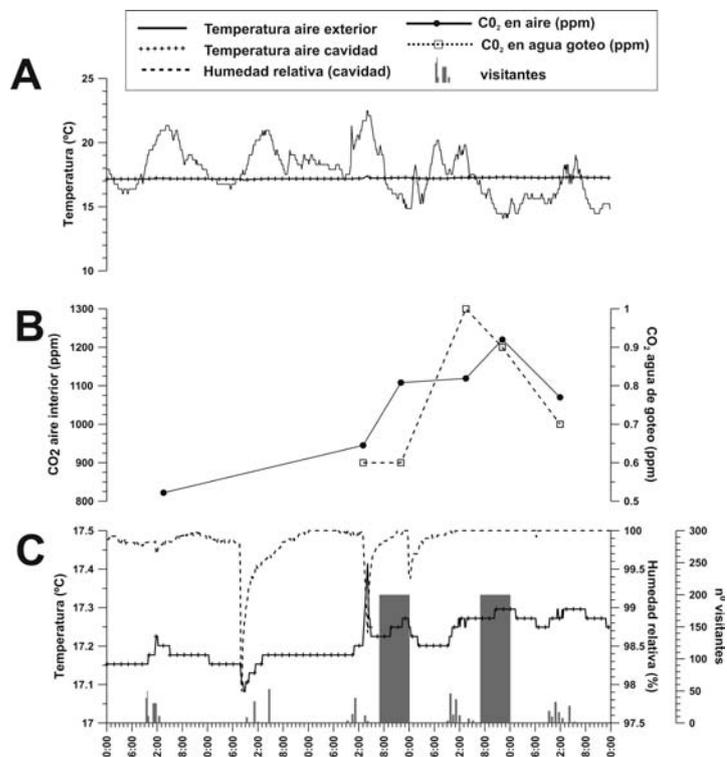


fig 1. Evolución temporal de las condiciones microambientales en la Cueva del Canelobre entre el 28 de Abril y el 2 de Mayo de 2010. A: Relación térmica entre el aire de la cavidad y la atmósfera exterior, B: Relación entre el contenido de CO_2 del aire subterráneo y el disuelto en el agua de goteo; y C: cambios microclimáticos registrados en la cavidad (temperatura y humedad relativa) en relación a la afluencia, diaria y masiva, de visitantes y a la apertura del túnel de acceso.