

Experiencia de visitas masivas a cavidades en condiciones naturales: la Cueva del Agua de Iznalloz (Granada)

Large-scale visit experience in caves in natural conditions, la Cueva del Agua de Iznalloz (Granada)

F. Sánchez-Martos ⁽¹⁾, J.M. Calaforra ⁽¹⁾, A. Fernández-Cortes ⁽¹⁾ y M.J. González-Ríos ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Hidrogeología, Universidad de Almería, 04120 Almería

⁽²⁾ Diputación de Granada, Área de Cultura, Palacio de los Condes de Gábila, Plaza de los Girones 1, 18009 Granada

ABSTRACT

The regime of visits in the Cueva del Agua is strictly restricted what allows to carry out an environmental control of the cave under natural conditions before the realization of any tourist activity inside. An underground laboratory has settled in the cave with continuous control of a set of environmental variables. In the framework of this environmental control we have been carried out several controlled visits with the purpose to determine the affection that massive visits could have on the stability of the cave. The initial knowledge of the cave environment variations in natural conditions has been used to identify possible anthropic affections, so that they could be separated from the variations directly related to natural changes; especially the relative influence of the external climatology, the thermal modification caused by the visit and the later thermal recovery of the cave after the visit.

Key words: Geospeleology, Environmental control, Show caves, Human impact.

Geogaceta, 31 (2002), 23-26

ISSN:0213683X

Introducción

La protección ambiental de los recursos geológicos es una cuestión con interés creciente, como muestra el desarrollo de una serie de figuras de protección cuya importancia está asociada a los recursos geológicos (monumentos naturales, geoparques, etc...). El ejemplo más extendido de explotación turística de los recursos geológicos lo constituyen las cavidades, lo que requiere conocer sus características ambientales para plantear estrategias de conservación y gestión ambiental asociadas a su uso turístico. En este sentido está comprobado que la iluminación y la presencia de visitantes entre otras variables, modifica las condiciones ambientales de las cavidades, lo que produce una progresiva degradación e incluso favorece la destrucción de los espeleotemas (Andrieux, 1988; Mangin y D'Hulst, 1995; Baker y Genty, 1998). Estas variaciones ambientales se corresponden con cambios de humedad relativa y temperatura del aire, concentración de CO₂ y proliferación de algas. Todos estos cambios están relacionados con las características de las visitas, la iluminación y

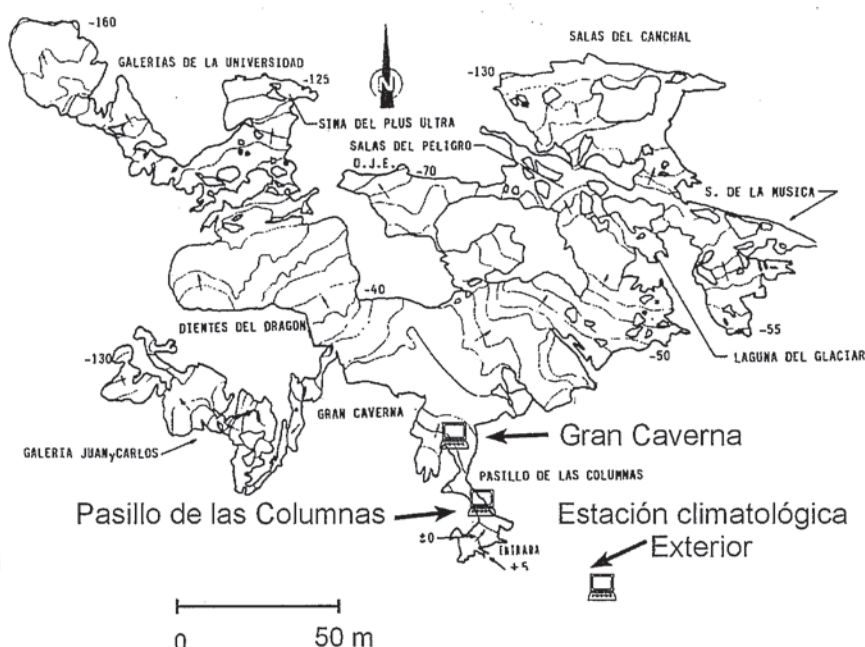


Fig. 1.- Planta de la Cueva del Agua donde se sitúan los sensores de temperatura utilizados en la experiencia. Pasillo de las columnas y Gran Caverna en el interior de la cavidad y la estación climatológica en el exterior

Fig. 1.- Cave map of the Cueva del Agua showing the situation of the temperature sensors for the period of the experiment. Pasillo de la Columnas and Gran Caverna sensors are located into the cave and one climatologic station outside.

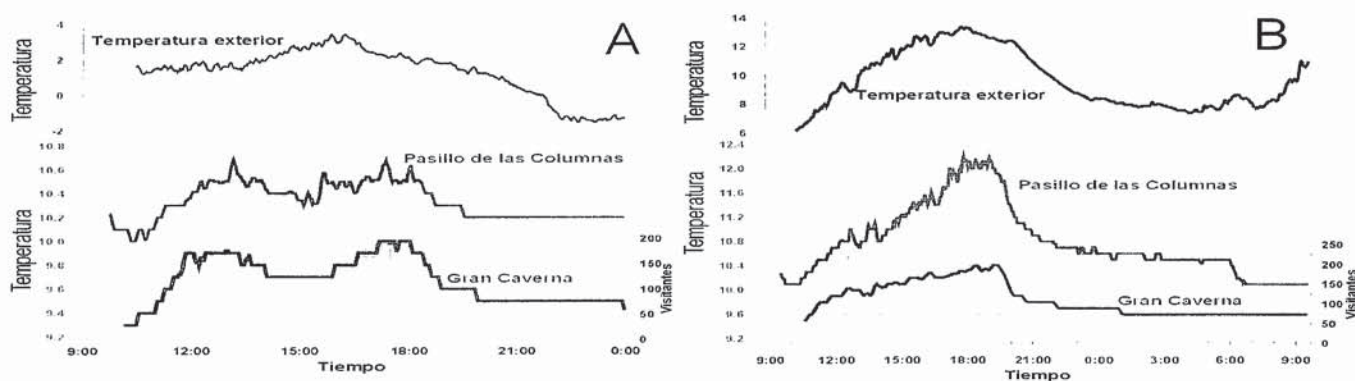


Fig. 2.- Variación temporal de la temperatura en el exterior e interior de la cavidad y distribución de los visitantes el día 22 (A) y el 29 de Abril (B).

Fig. 2.- Temperature time series outside and the cave and visitors during 22 April (A) and April 29 (B)

la propia naturaleza de la cavidad. Recientemente se han estudiado estas modificaciones antrópicas en numerosas cavidades, situadas en diversos ámbitos y con muy diferente volumen de visitantes; baste señalar algunos ejemplos en nuestro entorno más cercano: Cueva de Nerja (Hoyos y Soler, 1993 y Carrasco et al., 1999) Gruta de las Maravillas (Pulido Bosh et al., 1997) y Cuevas de Altamira (Fernández et al., 1986; Sánchez Moral, et al., 1999). Estos estudios se refieren a cavidades visitables actualmente y donde no se tienen datos de sus características ambientales en condiciones naturales, lo que hace difícil cuantificar la magnitud exacta de la perturbación ambiental que se ha producido, con respecto a las condiciones naturales y como consecuencia de la explotación turística.

En la experiencia realizada en la Cueva del Agua de Iznalloz (figura 1) se pretendió determinar el efecto que tendría la realización de visitas masivas sobre la cavidad, tal y como cabría esperar en el caso de que fuera acondicionada para atender una demanda turística tradicional. Para ello se partió del conocimiento inicial del funcionamiento de la cavidad en condiciones naturales. Sobre estos datos se ha realizado un estudio correlatorio y espectral para cuantificar el impacto producido por dos visitas masivas a la cavidad, e intentar separar las variaciones directamente motivadas por cambios naturales, con respecto a las posibles afecciones antrópicas. Esta experiencia ha podido realizarse ya que la Cueva del Agua constituye un laboratorio subterráneo en el que se controlan un conjunto de parámetros para caracterizar su climatología, y además el régimen de visitas está muy restringido, lo que permite un control ambiental en condiciones naturales (Calaforra y Sánchez Martos, 1995).

Métodos

La experiencia realizada consistió en abrir la cavidad durante dos días: el 22 y 29 de Abril de 1995. El régimen de visitas era controlado mediante la identificación horaria de la entrada y salida de cada uno de los visitantes, por lo que en todo momento se conocía el número de personas que estaban en el interior. La cavidad se mantuvo abierta desde las 10 de la mañana hasta las 7 de la tarde. En esta experiencia se han utilizado tres estaciones de medida que controlan la temperatura y humedad relativa del aire; una en el exterior y dos en el interior: el Pasillo de las Columnas, situado a unos 30 m de la entrada y La Gran Caverna, a unos 100 m de la entrada (Fig. 1) El control de la temperatura y humedad relativa del aire se realizó durante la visita con una cadencia de medida de 1 minuto.

Resultados y discusión

Durante la primera experiencia la cavidad fue visitada por 980 personas (figura 2A). La temperatura aumentó en el sector cercano a la entrada 0.7 °C, sin notarse ninguna relación con el ligero aumento registrado en el exterior. Dicho aumento debió producirse directamente por los visitantes, ya que coinciden los máximos de temperatura con los máximos de visitantes. En el sector más interno (Gran Caverna) el aumento fue del mismo orden de magnitud y su distribución también fue bimodal. La cavidad se recuperó térmicamente en un 70 % con respecto a la temperatura inicial en unas 6 horas después del cierre. Sin embargo, permaneció un exceso de temperatura de 0.2 °C, que la cavidad no puede asimilar con facilidad.

En la segunda visita el número de visitantes fue superior, con 2088 personas

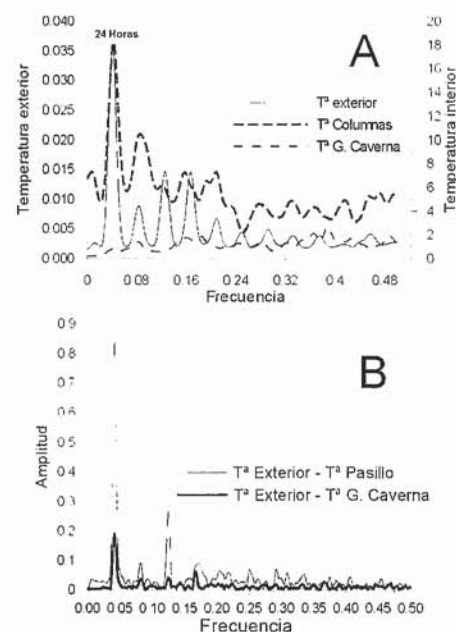


Fig. 3.- Espectro de densidad de la varianza (A) y Función de Amplitud cruzada (B) de la temperatura en el exterior e interior de la cavidad en condiciones naturales

Fig. 3.- Spectral density of the variance (A) and cross-amplitude function of the outside and inside cave temperature widen natural conditions.

(figura 2B). El rango de la temperatura exterior (6 - 13.5 °C) fue mayor que durante la primera experiencia, lo que ha permitido conocer el funcionamiento de la cavidad en dos condiciones climatológicas muy diferentes. La temperatura inicial en el interior de la cavidad fue 0.1 °C más elevada que la registrada al inicio de la experiencia anterior, su tendencia fue creciente en casi todo momento y mostró una buena correlación con el número de visitantes. El incremento de la temperatura fue mayor que en la primera visita; en el Pasillo de las Columnas aumentó 2.2 °C y

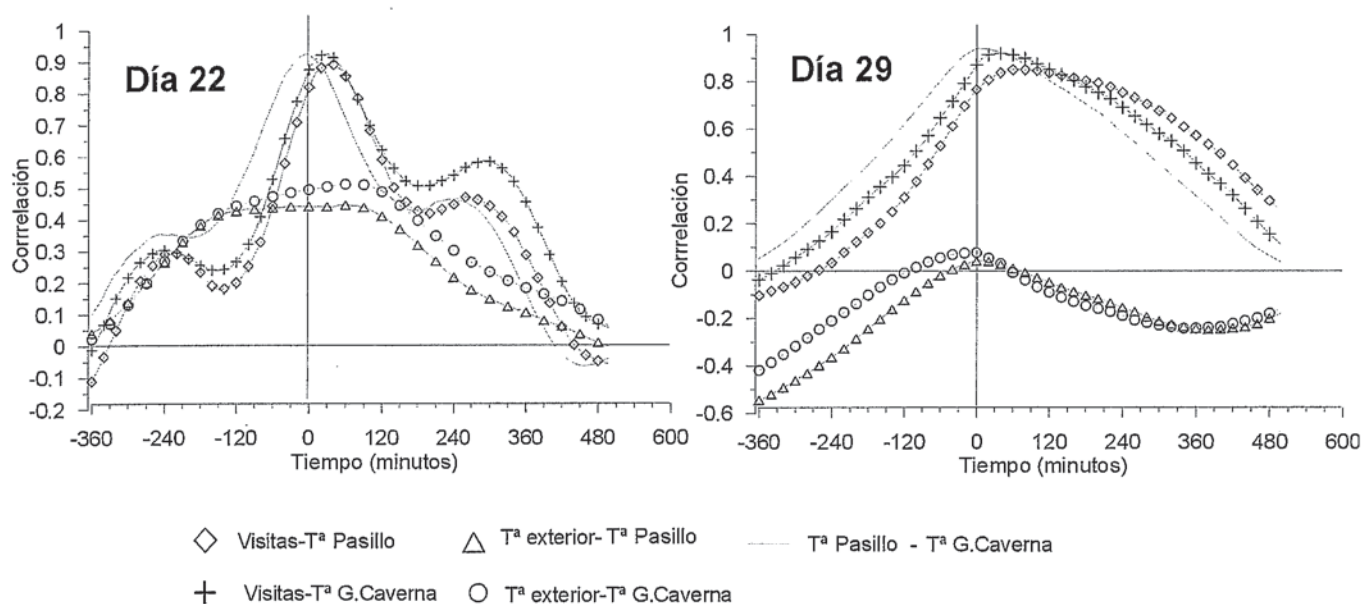


Fig. 4.- Autocorrelación entre temperatura exterior, temperatura interior y visitas en las dos experiencias realizadas

Fig. 4.- Autocorrelation between outside temperature, inside temperature and visitors during the experiences.

en la Gran Caverna ascendió 1.1 °C. La cavidad mostró una pauta de recuperación térmica similar a la observada en la primera experiencia. La mayor parte del exceso térmico producido se recupera rápidamente, pero la temperatura se mantiene 0.2 °C por encima de la temperatura inicial durante un largo periodo. También se detecta que cambios bruscos de temperatura en el exterior influyen positivamente en la recuperación de la cavidad en su zona más externa. Por lo tanto, la restitución de las condiciones iniciales puede estar ligada a variaciones relativas de la temperatura exterior, que modifiquen el régimen de aireación de la cavidad.

Sobre las variables controladas (número de visitantes, temperatura exterior e interior) se ha realizado un análisis correlatorio y espectral. Para ello se asume que el análisis de las condiciones climatológicas en cavidades puede asimilarse a la aproximación funcional en un sistema kárstico (Mangin, 1994). Con esto se pretende analizar la influencia de la temperatura exterior sobre la interior en condiciones naturales, así como la influencia de las visitas sobre el régimen térmico de la cavidad.

Inicialmente se ha analizado la temperatura en condiciones naturales en los dos meses anteriores al desarrollo de las experiencias. En el espectro de densidad de la varianza se observa la periodicidad diaria de la temperatura exterior, ya que su máximo absoluto coincide con 24 horas, y la mayor influencia de ésta sobre la temperatura en el Pasillo de las Columnas, estación de muestreo más cercana a

la entrada (Fig. 3A). La amplitud cruzada entre la temperatura exterior y la interior muestra que la variación de la temperatura del Pasillo de las Columnas está directamente relacionada con los cambios térmicos exteriores, especialmente en periodos de 24 y 8 horas (Fig. 3B).

A partir de los datos generados durante las dos experiencias se observa que durante las visitas tiende a anularse la influencia de la temperatura exterior sobre la temperatura interior, como consecuencia de la dependencia térmica de cada una de las salas con respecto al número de visitantes. Los coeficientes de correlación cruzada entre visitas y temperatura del aire alcanzan valores cercanos 1, mientras que los coeficientes de correlación entre la temperatura exterior y la interior son más bajos en la primera visita, (22 de abril) y casi nulos en la segunda visita (29 de abril) (Fig. 4). En la primera experiencia se observa que la relación entre las visitas y la temperatura de las dos salas tiene carácter bimodal, con un segundo máximo inferior al primero, lo que podría ser consecuencia de la distribución bimodal de las visitas. La cavidad tiene un alto poder de autorregulación térmica, puesto que existen altos valores de correlación cruzada entre la temperatura del aire en el Pasillo de las Columnas y la Gran Caverna (Fig. 4).

Mediante la función de correlación cruzada se observa la respuesta de la temperatura en el interior ante la alteración producida por los visitantes. Esta respuesta muestra un desfase, hasta que se produce la máxima correlación, similar

(35 minutos), en las dos experiencias en la Gran Caverna (Fig. 4). Sin embargo, en el Pasillo de las Columnas el desfase en la primera visita es 36 minutos mientras que en la segunda es 70 minutos. Estas diferencias tan notables deben asociarse con la distribución temporal de los visitantes en cada una de las visitas y con la tipología de las dos estaciones de medida; ya que el Pasillo de las Columnas es estrecho, mientras que la Gran Caverna es una sala de grandes dimensiones (Fig. 1).

Consideraciones finales

A partir de los datos aportados por las dos experiencias se observa una serie de efectos similares. La magnitud de la afeción a la cavidad está directamente relacionada con el número y tiempo de permanencia de las visitas en cada zona, anulándose prácticamente la influencia térmica exterior. Mediante el análisis correlatorio se muestra la influencia de la temperatura exterior sobre la temperatura en las estaciones de control más cercanas a la entrada. Durante las visitas esta influencia exterior se anula, como consecuencia de la dependencia térmica con respecto al número de visitantes. Tras las visitas la cavidad se recupera térmicamente, casi en su totalidad, a las pocas horas de efectuada la visita. No obstante la recuperación total no sucede hasta transcurridos unos 4-5 días desde el cierre y es algo más lenta en la parte interna de la cavidad.

La experiencia realizada demuestra que deben tomarse medidas drásticas en cuanto al número de visitantes, ya que la

alteración provocada por los mismos sobre la temperatura del aire es intensa. También se observa la gran inercia que muestra la cueva en su recuperación total, por lo que en la gestión de la cavidad debería considerarse con especial interés el número de visitantes y la cadencia de esas visitas, dado el efecto acumulativo que pueden tener en el caso de efectuarse visitas en días consecutivos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Diputación Provincial de Granada y se ha beneficiado de algunos resultados del proyecto (1FD97-1577) subvencionado por la CICYT y los Fondos FEDER de la Unión Europea, como contribución al IGCP-488 de UNESCO.

Referencias

- Andrieux, C. (1988): *Actes del Journées Trombes, Moulis, Ariège*, 1, 96-122.
- Baker, A. y Genty, D. (1998): *Journal of Environmental Management*, 53, 165-175.
- Calaforra, J.M y Sánchez Martos, F. (1995): *Intern. Symp. Show Caves and environmental monitoring* A. Cigna (ed): 201-208, Frabosa. Italia.
- Carrasco, F.; Andreo, B.; Vadillo, I.; Duran, J.J., y Liñan, C. (1999): *Contribución del estudio de las cavidades kársticas al conocimiento geológico*: 323-334. Patronato de la Cueva de Nerja. Nerja, Málaga.
- Fernández P.L., Gutierrez, I., Quindós, L.S., Soto, J. y Villar, E. (1986): *Nature*, 321, 586-588.
- Hoyos, M. y Soler, V. (1993): La Cueva de Nerja (Málaga). *La protección y conservación del arte rupestre paleolítico*. J. Fortea (ed.), 95-107. Asturias.
- Mangin, A. (1994): Karst hydrogeology. In *Groundwater Ecology*, 13-67, Academic press.
- Mangin A. y D'Hulst, D. (1995): *Intern. Symp. Show Caves and environmental monitoring* A. Cigna (ed): 117-145. Frabosa. Italia.
- Pulido Bosch, A., Martín Rosales, W., López Chicano, M. y Rodríguez Navarro, C.M. (1997): *Environ. Geol.*, 31, 142-149.
- Sánchez-Moral, S., Soler, V., Cañaveiras, J.C., Sanz-Rubio, E., Van Grieken, R. and Gysels, K. (1999). *The Science of the Total Environment* 243/244, 67-84.