ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA CUEVA DE NERJA (MÁLAGA)

C. Liñán [1,2], F. Carrasco [1,2], I. Vadillo [2] y A. Garrido [1]

(1) Fundación Cueva de Nerja. Instituto de Investigación. Carretera de Maro s/n, 29787 - Nerja (Málaga). cbaena@cuevanerja.com, agarrido@cuevanerja.com.
(2) Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Campus de Teatinos s/n, 29071- Málaga. fcarrasco@uma.es, vadillo@uma.es.

RESUMEN

En la Cueva de Nerja se realizan estudios hidrogeológicos desde 1991, para caracterizar el agua de goteo existente en el interior de la cavidad desde el punto de vista químico e isotópico, para determinar el funcionamiento de la zona no saturada del acuífero en el que se encuentra inserta la cavidad y para garantizar la adecuada gestión y conservación de la misma. Las aguas de goteo están saturadas en calcita y dolomita durante todo el año, por lo que son formadoras de espeleotemas. El análisis de las respuestas naturales de los puntos de goteo de la cavidad (en particular, de un gotero representativo ubicado en las Galerías Turísticas) revela la existencia de dos modalidades de infiltración a través de los mármoles situados por encima de la cueva y permite establecer el tiempo medio de residencia del agua de infiltración en la zona no saturada del acuífero.

Palabras clave: Cueva de Nerja, hidroquímica, isótopos, hidrodinámica.

ABSTRACT

Since 1991 some hydrogeological studies have been done in Nerja Cave for the chemical and isotopic characterization of the drip water. These studies try to determine the functioning of the non-saturated zone of the aquifer and a better management and conservation of the cave. Drip water points are saturated in calcite and dolomite during all the year, so they form speleothems. The analysis of the natural behaviour of drip water points (mainly one in the tourist galleries of the cave) shows two types of infiltration through the marbles above the cave, as well as the mean residence time of the infiltration water in the non-saturated part of the aquifer.

Key words: Nerja Cave, hydrochemistry, isotope, hydrodynamic.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En las cavidades kársticas el agua de infiltración es, junto con el CO_2, el principal agente que interviene tanto en los procesos de formación de los espacios subterráneos como en los de precipitación/disolución de los espeleotemas que albergan. Además, en cuevas con arte rupestre, como es el caso de la Cueva de Nerja, la precipitación de carbonato cálcico a partir del agua que gotea o fluye sobre las paredes y/o espeleotemas puede provocar la ocultación progresiva de los motivos artísticos, por lo que es importante caracterizar el quimismo del agua de infiltración y conocer cuales son las principales vías de infiltración del agua hacia la cueva y los puntos de goteo en el interior de la misma. La realización de estudios hidrogeológicos en cavidades turísticas se considera, por lo tanto, una pieza clave en la gestión y conservación de las mismas.

La Cueva de Nerja está situada en la provincia de Málaga, unos cinco kilómetros al este del pueblo costero de Nerja, sobre la vertiente meridional de Sierra Almijara. La cavidad tiene tres bocas de acceso, dos torcas subcirculares y una entrada más amplia, habilitada para la visita turística. Su desarrollo es prácticamente horizontal, entre las cotas 123 y 191 m s.n.m. (S.E.M., 1985), y en ella se distinguen dos sectores (Fig. 1): una zona habilitada al turismo (Galerías Turísticas), que ocupa aproximadamente un tercio del volumen total de la cueva y una zona no habilitada (Galerías Altas y Nuevas), que sólo recibe las visitas de investigadores y grupos reducidos de espeleoturistas.

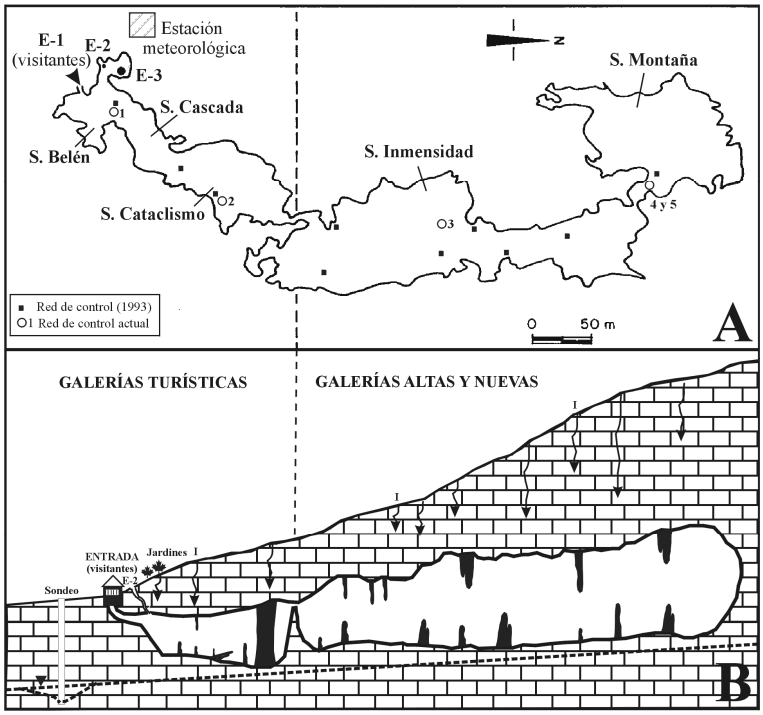

Figura 1. (A) Red de monitorización hidrogeológica en la Cueva de Nerja y (B) marco hidrogeológico en el que se ubica la cavidad. E-1: entrada turística, E-2 y E-3: torcas.

La cavidad, descubierta en 1959 y abierta al público un año más tarde, recibe unos 500.000 visitantes anuales. Está catalogada como Bien de Interés Cultural (1985) con categoría de Zona Arqueológica (2005) y destaca por su valioso patrimonio arqueológico (Sanchidrián, 1994) y natural (Carrasco *et al*., 1998). La Fundación Cueva de Nerja y su Instituto de Investigación son los encargados de su tutela y gestión y, prácticamente desde su origen, han propiciado la investigación, subvencionando numerosos proyectos científicos. Un Consejo Científico asesora a la Fundación desde el año 1980.

Desde el punto de vista geológico, la cueva se desarrolla en mármoles dolomíticos del Trías medio de la Unidad de Almijara, perteneciente al Complejo Alpujárride de la Cordillera Bética (Andreo *et al*., 1993). Estos mármoles, muy diaclasados y con una potencia de hasta 500 metros, son permeables por fracturación y karstificación y constituyen el acuífero de la vertiente meridional de Sierra Almijara (Pérez y Andreo, 2007).

En la actualidad, la cueva está situada en la zona no saturada del acuífero, varios metros por encima del nivel piezométrico, como consecuencia del levantamiento tectónico sufrido por Sierra Almijara durante el Plioceno y el Cuaternario. El espesor de los mármoles por encima de la gruta es muy variable: en la zona turística está comprendido entre 4 y 50 metros, mientras que en la zona no visitable puede superar los 90 metros. El agua de lluvia y del riego de los jardines situados sobre una pequeña parte de la cavidad se infiltra a través de las fisuras y diaclasas de los mármoles y termina goteando en el interior de la cueva (Fig. 1B).

El principal objetivo de este trabajo es mostrar una recopilación de los resultados obtenidos en diversos estudios hidrogeológicos llevados a cabo en la Cueva de Nerja, iniciados en 1991 y que prosiguen en la actualidad, los cuales han permitido caracterizar el agua de infiltración desde el punto de vista químico e isotópico y los principales procesos hidrogeológicos que tienen lugar en el epikarst y en la zona no saturada del acuífero donde se ubica la cavidad.

2. METODOLOGÍA

Se ha llevado a cabo un muestreo sistemático del agua de lluvia recogida en una estación meteorológica ubicada en el recinto de la Cueva de Nerja. Se ha medido la cantidad de precipitación registrada diariamente y los parámetros físico-químicos del agua de lluvia (conductividad eléctrica, pH y temperatura del agua) y se han tomado muestras para su posterior análisis químico e isotópico (^{18}O, ^{2}H).

El agua de goteo en el interior de la Cueva de Nerja ha sido objeto de muestreo, con diferente periodicidad y detalle a lo largo del tiempo. Los muestreos más frecuentes incluyen medidas del caudal de goteo, conductividad eléctrica, pH y temperatura del agua, aunque también hay medidas de componentes químicos inorgánicos y de isótopos estables (^{18}O, ^{2}H). La red de control inicial (Fig. 1A) estuvo formada por diez puntos de muestreo, tres en las Galerías Turísticas y siete en las galerías no visitables, que se controlaban mensualmente (Andreo y Carrasco, 1993a). La red de control actual está formada por cinco puntos de goteo, en los que se mide el caudal, los parámetros físico-químicos del agua y se recogen muestras de agua para determinar su composición química e isotópica: (1) *Entrada Primitiva*, representativo de los goteros que drenan agua que procede principalmente del riego del jardín; (2) *Rincón del Órgano*, característico de los goteros que drenan agua procedente de la infiltración de las lluvias, es el punto en el que existe un seguimiento más detallado y continuo; los tres puntos restantes (3) *Inmensidad*, (4) *Montaña-rápido* y (5) *Montaña-lento* están situados en la zona no visitable.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Agua de lluvia

La precipitación media anual registrada en la estación meteorológica es de 490 mm/año (Andreo y Carrasco, 1993b; Liñán *et al*., 2007), un tercio de los cuales se infiltra (Mudry *et al*., 2008). Existe una estación seca que comprende el período estival y una estación húmeda, que se corresponde con los meses de septiembre a febrero.

Desde el punto de vista hidroquímico, el agua de lluvia que cae sobre la cavidad es de mineralización relativamente baja, con un valor medio ponderado de la conductividad eléctrica de 128 μS/cm. Presenta una facies hidroquímica mixta, con predominio de las facies clorurada y sulfatada cálcico-magnésica. La característica más significativa del agua de lluvia es la aparición esporádica de contenidos muy elevados en K^+ (Fig. 2), que suelen ir acompañados de altos contenidos en Cl^-, aumentos en el valor de la conductividad eléctrica y, ocasionalmente, de aumentos en el contenido en Na^+. El contenido medio en K^+, para el período de estudio, es de 2,9 mg/l, aunque se han registrado concentraciones de hasta 49,2 mg/l.

Los valores del $\delta^{18}O$ del agua de lluvia están comprendidos entre -10,4 y +1,2 ‰, con un valor medio de -4,9 ‰, y los valores de $\delta^{2}H$ varían de -69,4 a +13,7 ‰, con un valor medio de -29,6 ‰ (Carrasco *et al*., 2006). En el diagrama $\delta^{2}H$-$\delta^{18}O$ (Fig. 3A) las muestras de agua de lluvia analizadas se alinean según la Línea Meteórica Mundial establecida por Craig (1961), salvo algunas muestras claramente evaporadas que se alinean según una recta de pendiente 5.5 (1 en Fig. 3A) y que no producen infiltración eficaz en el acuífero (Liñán *et al*., 2002). El valor del exceso en deuterio *d* está comprendido entre -4,8 ‰ y +20,8 ‰, con un valor medio de +9,8 ‰. Estos valores están en consonancia con una doble procedencia de las precipitaciones registradas sobre la cavidad, atlántica y mediterránea, si bien predominan las precipitaciones procedentes del Atlántico.

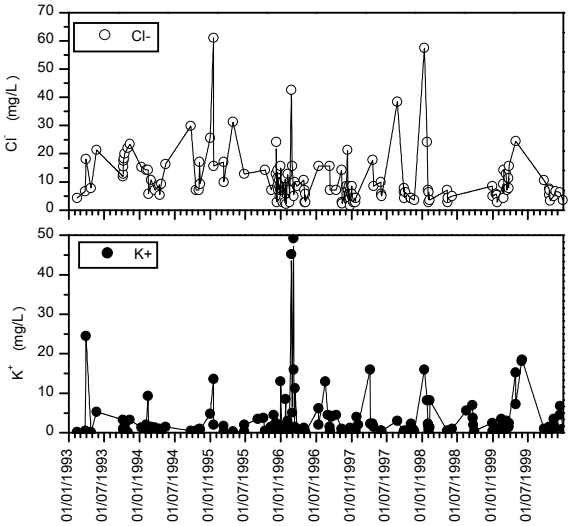

Figura 2. Evolución temporal de los contenidos en Cl^- y K^+ del agua de lluvia muestreada en el entorno de la Cueva de Nerja.

La composición isotópica de las aguas de lluvia varía a lo largo del año hidrológico (Fig. 3B). Por lo general, las lluvias de los meses más cálidos muestran valores menos negativos de $\delta^{18}O$ (> -3 ‰) y de $\delta\,^{2}H$, debido a la menor cantidad de precipitación y a la mayor temperatura del aire. Por el contrario, las precipitaciones de los meses más fríos (que son las más abundantes) presentan valores más negativos de $\delta^{18}O$ (< -4 ‰) y de $\delta^{2}H$. Una distribución similar ha sido observada en las precipitaciones de la región francesa de Avignon por Celle *et al*., (2000).

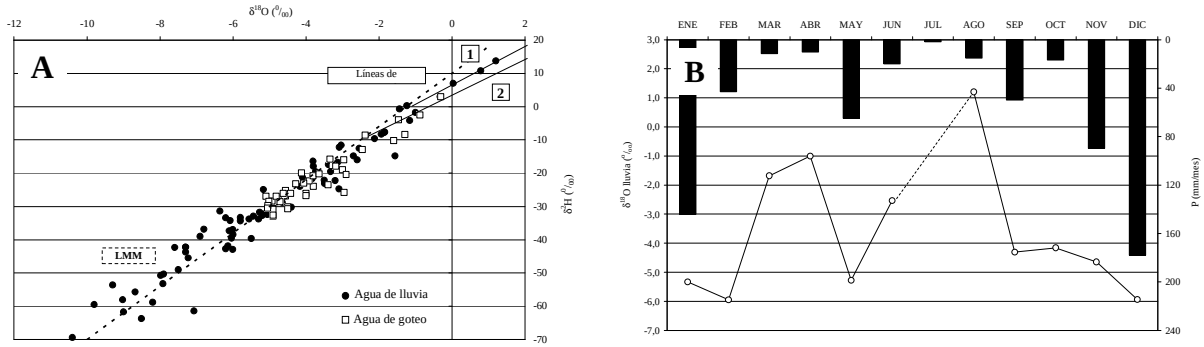

Figura 3. (A) diagrama $\delta^{18}O$-$\delta^{2}H$ del agua de lluvia y del agua de goteo de la Cueva de Nerja. LMM: línea meteórica mundial, 1: línea de evaporación del agua de lluvia, 2: línea de evaporación del agua de goteo. (B) Valores medios de la precipitación mensual y del contenido isotópico del agua de lluvia. Todos los datos corresponden al período diciembre de 1995-diciembre de 1999.

3.2. Agua de goteo

En las Galerías Turísticas, los puntos de goteo de mayor caudal están relacionados con el riego de los jardines del exterior de la cavidad. En el gotero *Entrada Primitiva* se han medido caudales comprendidos entre 5 y 14 cm^3/min, con un caudal medio de 11 cm^3/min. No se observa variación estacional en la evolución temporal de los datos de caudal en este punto de goteo.

Durante el período comprendido entre abril de 1993 y junio de 2000, en el gotero *Rincón del Órgano* se han medido caudales que varían entre 2 y 610 cm^3/día, con un caudal medio de 89 cm^3/día (0.06 cm^3/min). A partir de julio de 2000, en este último punto de control se incluyen varios puntos de goteo inmediatamente adyacentes al gotero original, por lo que el caudal de goteo en este sector varía entre 117 y 1817 cm^3/día, con un valor medio de 511 cm^3/día (0.35 cm^3/min).

La evolución temporal del caudal de goteo medido en el *Rincón del Órgano* presenta, en general, valores máximos de caudal durante los meses de verano-otoño y valores mínimos en invierno-primavera. No obstante, durante algunos años de precipitación abundante se registran aumentos de caudal después de las lluvias. Esta evolución indica la existencia de dos modalidades de infiltración a través del epikarst y de la zona no saturada de la Cueva de Nerja (Carrasco *et al*., 1995, 1996; Liñán *et al*., 1999), teniendo en cuenta la distribución de las lluvias en la región: (1) infiltración lenta, que predomina a lo largo del año y (2) infiltración rápida, que sólo se produce ocasionalmente, durante períodos de recarga especialmente importantes (por ejemplo, a principios de 1997, figura 4). En este último caso, el aumento de caudal depende de la cuantía de la recarga y de la cantidad de agua almacenada en el epikarst, antes de producirse la precipitación. Las fracturas y diaclasas existentes en los mármoles en los que se desarrolla la cueva son estrechas y, además, están parcialmente rellenas de arcillas y/o carbonatos, por lo que la lluvia normalmente se infiltra lentamente a través de las mismas. La infiltración rápida se produce sólo en respuesta a elevadas cantidades de precipitación, que producen una circulación más rápida del agua a través de diaclasas preferenciales.

Los resultados obtenidos de un análisis correlatorio y espectral (Fig. 4B) realizado con los datos diarios de precipitación y del caudal del citado punto correspondientes a cinco años hidrológicos (Andreo *et al*., 2002a) confirman que, en efecto, el epikarst de la Cueva de Nerja presenta un comportamiento muy inercial, tarda mucho tiempo en responder a las lluvias y presenta un gran poder modulador de la señal de entrada. El efecto memoria es muy importante (del orden de 6 meses), el tiempo de regulación es elevado (85 días), la banda espectral es estrecha, con una frecuencia de corte de 0.10 (10 días) y el desfase entrada-salida, para sucesos de periodicidad anual, es del orden de 6 meses.

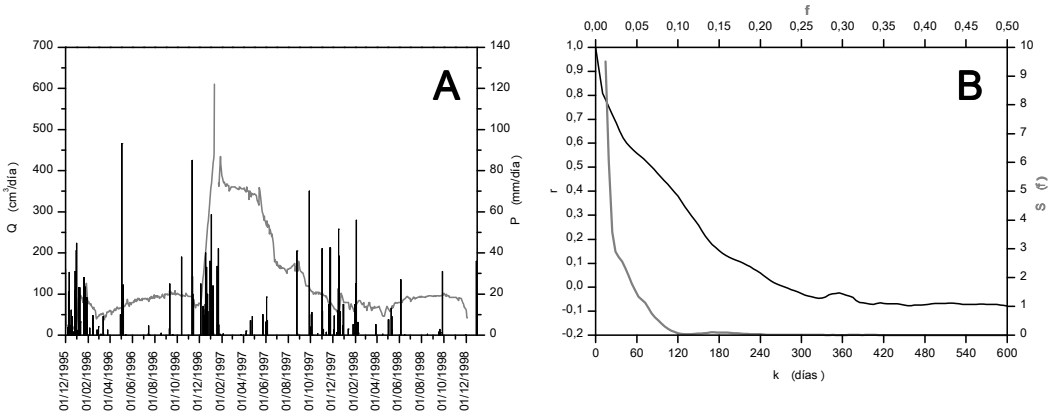

Figura 4. (A) Evolución temporal del caudal de goteo en el *Rincón del Órgano* frente a las precipitaciones. (B) Espectro simple (gris) y correlograma simple (negro) de los caudales de goteo, obtenidos en el análisis correlatorio y espectral.

En las Galerías Altas y Nuevas no existe una serie tan continua de datos de caudal, dado el difícil y laborioso acceso a este sector de la cavidad. En el punto de goteo denominado *Inmensidad*, el caudal ha variado entre 1 y 81 cm^3/min, con un valor medio de 24 cm^3/min. El caudal del gotero *Montaña-rápido* ha variado entre 7 y 1145 cm^3/min, con un valor medio de 198 cm^3/min. El caudal del *Montaña-lento*, mucho menor, ha variado entre 0 y 30 cm^3/min, con un valor medio de 6 cm^3/min. La evolución del caudal es similar en todos los puntos de goteo (Fig. 5): sigue una tendencia descendente desde el inicio de la serie de datos hasta que se registra un episodio lluvioso de cierta importancia, que provoca un incremento del caudal. Se observa, por tanto, una evolución diferente a la de las Galerías Turísticas, con máximos valores de caudal en otoño-invierno y mínimos en primavera-verano. La circulación del agua de infiltración a través del epikarst y de la zona no saturada parece ser más rápida que en el sector turístico, al menos en estos puntos de control. De hecho, ante un evento pluviométrico excepcional acontecido el 21 de septiembre de 2007 (188 mm registrados en tan sólo 4 horas), la respuesta hidrodinámica de los goteros de las Galerías no visitables es inmediata (4 días según la periodicidad del control) mientras que la del gotero *Rincón del Órgano* se produce al cabo de 37 días.

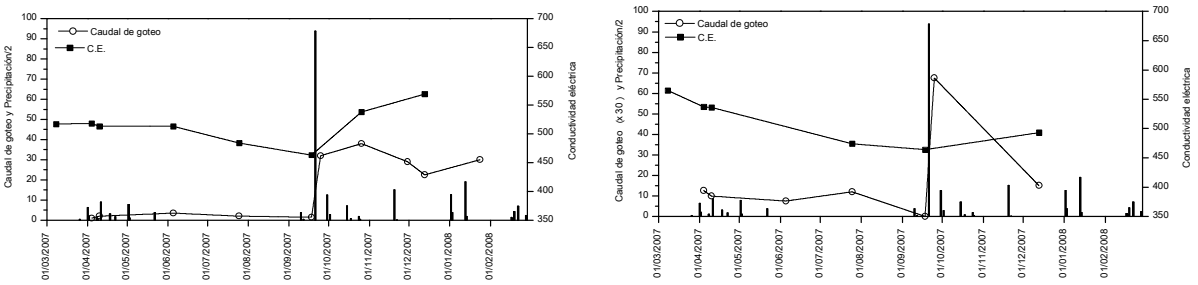

Figura 5. Evolución temporal del caudal de goteo (en cm^3/min) y de la conductividad eléctrica (en µS/cm) del agua drenada por los goteros *Inmensidad* (punto 3, izquierda) y *Montaña- lento* (punto 5, derecha) en relación a las precipitaciones (en mm/día).

Desde el punto de vista hidroquímico, en el interior de la Cueva de Nerja se diferencian dos tipos principales de agua de goteo, las recogidas en las zonas más próximas a la entrada, procedentes del riego de los jardines, y las muestreadas en el resto de la cavidad, de origen meteórico (Andreo *et al*., 1993a y b; Liñán *et al*., 1999). Las primeras (gotero *Entrada Primitiva*) son de facies bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica y su conductividad eléctrica media es de 1170 µS/cm. Las segundas son de facies bicarbonatada magnésico-cálcica. Su conductividad eléctrica media varía según el punto de goteo que se considere, y es menor en las Galerías Turísticas (480 µS/cm en el gotero *Rincón del Órgano*) que en la zona no visitable (529 µS/cm en *Inmensidad*, 606-607 µS/cm en los goteros de la Sala de la Montaña). Las aguas del sector turístico tienen menores contenidos en Ca^{2+} y valores más bajos de alcalinidad (TAC) que las aguas de las Galerías Altas y Nuevas.

Las aguas de goteo están sobresaturadas en calcita durante todo el año, por lo que precipitan carbonato cálcico (Andreo y Carrasco, 1993a; Liñán *et al*., 1999). El carácter incrustante de las aguas de infiltración justifica la realización de canalizaciones del agua de puntos de goteo próximos a los paneles de arte rupestre, para evitar la ocultación de los mismos por precipitación del carbonato.

Del punto de goteo denominado *Rincón del Órgano* se dispone de una evolución temporal de la composición química del agua. A escala anual, ésta está condicionada, fundamentalmente, por el contenido en Ca^{2+} y por la TAC y, en menor medida, por el contenido en K^+ y Cl^- (Fig. 6). La conductividad eléctrica del agua de goteo aumenta en verano, cuando mayor es el caudal de goteo y el agua está menos sobresaturada, tiene menor relación Mg^{2+}/Ca^{2+}, mayor contenido en Ca^{2+} y TAC y mayores valores de P_{CO2} (Fig. 6). La conductividad eléctrica disminuye progresivamente en otoño, coincidiendo con el descenso del caudal de goteo. Estas variaciones estacionales de la conductividad eléctrica se relacionan con el grado de saturación en calcita y dolomita, el cual, a su vez, se relaciona con la P_{CO2} del agua de goteo. En invierno, el agua está más sobresaturada en calcita y dolomita, se produce mayor precipitación de carbonato cálcico, la relación Mg^{2+}/Ca^{2+} aumenta y disminuye la conductividad eléctrica. En verano, la diferencia entre los valores de P_{CO2} del agua de goteo muestreada y los de la P_{CO2} del aire del interior de la cueva es menor que en invierno, produciéndose una menor desgasificación en el agua y, por consiguiente, una menor precipitación de carbonato cálcico, que trae consigo un aumento de la conductividad eléctrica y una disminución de la relación Mg^{2+}/Ca^{2+}.

En este punto de goteo se registran, esporádicamente, contenidos muy elevados en K^+ y Cl^-, detectados previamente en el agua de precipitación. El análisis de los flujos de entrada y salida de K^+ (Liñán *et al*., 1999) ha permitido estimar, de forma aproximada, el tiempo de tránsito desde que el agua de lluvia cae sobre la superficie hasta que llega al interior de la cavidad. Dicho tiempo varía entre 2 y 8 meses, dependiendo de la cantidad e intensidad de la precipitación registrada antes, durante y después de la caída de la lluvia rica en K^+ y del camino que sigue ésta a través de las diaclasas de los mármoles, lo cual corrobora la existencia de las dos modalidades de infiltración (lenta y rápida), deducidas del estudio hidrodinámico.

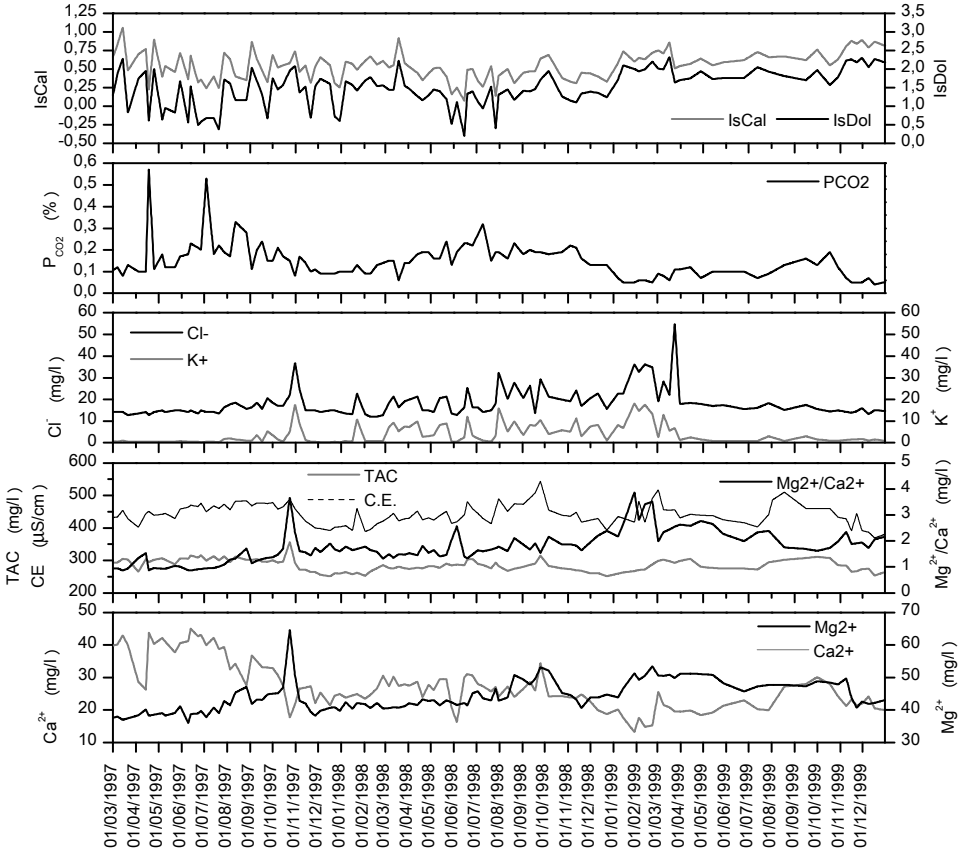

Figura 6. Evolución temporal de la conductividad eléctrica, la composición química y los parámetros del sistema calcocarbónico del agua de goteo del *Rincón del Órgano*.

Los valores de $\delta^{18}O$ del agua del *Rincón del Órgano* están comprendidos entre -5,1 y -0,3 ‰, con un valor medio de -3,8 ‰, mientras que los valores de $\delta^{2}H$ varían de -32,9 a +3,0 ‰, con un valor medio de -23,1 ‰ (Carrasco *et al*., 2006). El diagrama $\delta^{2}H$-$\delta^{18}O$ demuestra el origen meteórico de agua de goteo, ya que las muestras se alinean según la Línea Meteórica Mundial (Fig. 3A). Los valores de $\delta^{18}O$ en el agua de goteo son menores en verano-otoño que en invierno-primavera. La comparación efectuada entre los flujos de entrada y salida de $\delta^{18}O$ corroboran, una vez más, la existencia de dos modalidades de infiltración a través del epikarst-zona no saturada de la cueva (Fig. 7): infiltración lenta, con una duración de unos 8 meses e infiltración rápida, con un tiempo de tránsito de 1 a 3 meses (Andreo *et al*., 2002b; Liñán *et al*., 2002).

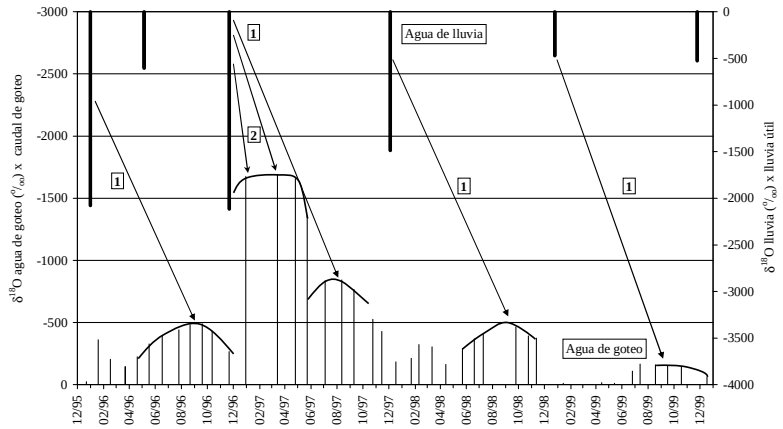

Figura 7. Flujos de entrada y salida de $\delta^{18}O$. 1- flujo lento; 2- Flujo rápido.

4. CONCLUSIONES

Los estudios hidrogeológicos realizados en la Cueva de Nerja han permitido caracterizar el funcionamiento hidrodinámico de la zona no saturada del acuífero en el que se ubica. El análisis de las respuestas naturales (caudales de goteo, hidroquímica e isótopos) de uno de los puntos de goteo de las Galerías Turísticas, en relación a la caída de las precipitaciones, revela la existencia de dos tipos de infiltración a través del epikarst y de la zona no saturada en este sector de la cavidad: (1) infiltración lenta, predominante a lo largo del año y (2) infiltración más rápida, que se produce puntualmente, en respuesta a períodos de recarga importantes en magnitud o en intensidad. El tiempo de residencia del agua de infiltración en el epikarst-zona no saturada hasta su aparición por los puntos de goteo del sector turístico es de 2 a 8 meses, según se deduce del hidrograma obtenido en el punto de goteo, de los resultados del análisis correlatorio y espectral y del desfase observado entre los flujos de entrada y flujos de salida de K^+ y $\delta^{18}O$.

La evolución de los caudales en puntos de goteo de las Galerías Altas y Nuevas muestra una variación estacional diferente a la observada en el sector turístico, con máximos valores de caudal en otoño-invierno y mínimos en primavera-verano. Del análisis de los hidrogramas se deduce un menor tiempo de residencia del agua de infiltración en el epikarst y en la zona no saturada y una respuesta más rápida frente a las lluvias en este sector de la cavidad.

Desde el punto de vista químico, se diferencian dos tipos principales de agua de goteo en el interior de la cueva: (1) las recogidas en las zonas más próximas a la entrada, procedentes del riego de los jardines, y (2) las muestreadas en el resto de la cavidad, de origen meteórico. Las primeras son de facies bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica, su conductividad eléctrica media es de 1170 μS/cm y proceden de un sondeo perforado en el entorno de la cueva, por lo que se trata de aguas pertenecientes a la zona saturada del acuífero. Las segundas son de facies bicarbonatada magnésico-cálcica y su conductividad eléctrica media varía según el punto de goteo que se considere, siendo menor en las Galerías Turísticas (480 μS/cm) que en la zona no visitable (entre 530 y 610 μS/cm). Las aguas de goteo del sector turístico tienen menores contenidos en Ca^{2+} y valores más bajos de alcalinidad (TAC) que las aguas de las Galerías Altas y Nuevas.

Las aguas de goteo de la Cueva de Nerja están sobresaturadas en calcita durante todo el año, por lo que precipitan carbonato cálcico. El carácter incrustante de las aguas de infiltración justifica la realización de canalizaciones del agua de puntos de goteo próximos a los paneles de arte rupestre, para evitar la ocultación de los mismos por precipitación del carbonato.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por la Fundación Cueva de Nerja. Constituye una contribución a la Acción Integrada hispano-francesa HF02-158, al Grupo RNM 308 de la Junta de Andalucía y a los proyectos REN2002-1797/HID de la DGI e IGCP-513 de la UNESCO.

REFERENCIAS

Andreo B. y Carrasco F. (1993a): Estudio hidrogeológico del entorno de la Cueva de Nerja. In: Carrasco F. (ed) Geología de la Cueva de Nerja. In: Carrasco, F. (Ed.) *Trabajos sobre la Cueva de Nerja nº 3, Geología de la Cueva de Nerja*, Patronato de la Cueva de Nerja, Málaga, 163-187.

Andreo, B. y Carrasco, F. (1993b): Estudio geoquímico de las aguas de infiltración de la Cueva de Nerja. In: Carrasco, F. (Ed.) *Trabajos sobre la Cueva de Nerja nº 3, Geología de la Cueva de Nerja*, Patronato de la Cueva de Nerja, Málaga, 299-328.

Andreo, B., Carrasco, F. y Sanz de Galdeano C. (1993): Geología de la Cueva de Nerja. In: Carrasco, F. (Ed.) *Trabajos sobre la Cueva de Nerja nº 3, Geología de la Cueva de Nerja*, Patronato de la Cueva de Nerja, Málaga, 25-50.

Andreo, B., Liñán, C., Carrasco, F. y Vadillo, I. (2002a): Funcionamiento hidrodinámico del epikarst de la Cueva de Nerja (Málaga), *Geogaceta*, 31: 7-10.

Andreo, B., Carrasco, F., Liñán, C. y Vadillo I. (2002b): Epigenic CO_2 controlling the drip water chemistry and speleotheme growth in a Mediterranean karst area (Nerja Cave, southern Spain). In: Daoxian, Y., Cheng, Z. (Eds.) *Karst processes and the carbon cycle*, 51-64.

Andreo, B., Liñán, C., Carrasco, F., Batiot, C., Emblanche, C. y Durán, J.J. (2005): Infiltration in the dolomitic karstic system of nerja cave (southern Spain). In: *Final Programme and Abstract Book of the 14th Internacional Congress of Speleology*, Atenas, 154.

Carrasco, F., Andreo, B., Benavente, J. y Vadillo, I. (1995): Chemistry of the Nerja Cave system (Andalusia, Spain). *Cave and Karst Science*, 21 (2): 27-32.

Carrasco, F., Andreo, B., Liñán, C. y Vadillo, I. (1996): Consideraciones sobre el funcionamiento hidrogeológico del entorno de la Cueva de Nerja (provincia de Málaga). In: *Jornadas sobre Recursos Hídricos en regiones kársticas*, Vitoria, 249-263.

Carrasco, F., Andreo, B., Durán, J.J., Vadillo, I. y Liñán, C. (1998): La Cueva de Nerja como elemento geológico del patrimonio natural andaluz. In: Durán, J.J. y Vallejo, M. (Eds) *Comunicaciones de la IV Reunión Nacional de la Comisión del Patrimonio Geológico*, Miraflores de la Sierra (Madrid), 51-55.

Carrasco, F., Andreo, B., Liñán C. y Mudry, J. (2006): Contribution of stable isotopes to the understanding of the unsaturated zone of a carbonate aquifer (Nerja Cave, southern Spain). *C.R. Geoscience* 338: 1203-1212.

Celle, H., Daniel, M., Mudry, J. y Blavoux, B. (2000): Signal pluie et traçage par les isotopes stables en Méditerranée occidental. Exemple de la région avignonnaise (Sud-Est de la France), *C.R. Acad. Sci. Paris. Sciences de la terre et des planetes*, 331: 647-650.

Craig, H. (1961): Standard for reporting concentration of deuterium and oxygen-18 in natural waters, *Science*, 133: 1702-1703.

Liñán C., Andreo B., Carrasco F. y Vadillo I. (1999): Hidrodinámica e hidroquímica de las aguas de goteo de la Cueva de Nerja. In: Andreo B., Carrasco F. and Durán J.J (Eds.) *Contribución del estudio científico de las cavidades kársticas al conocimiento geológico*, 393-402.

Liñán, C., Andreo, B., Carrasco, F. y Vadillo, I. (2000): Consideraciones acerca de la influencia del CO_2 en la hidroquímica de las aguas de goteo de la Cueva de Nerja (Provincia de Málaga). *Geotemas*, 1(3): 341-344.

Liñán, C., Carrasco, F., Andreo, B., Jiménez de Cisneros C. y Caballero E. (2002): Caracterización isotópica de las aguas de goteo de la Cueva de Nerja y de su entorno hidrogeológico (Málaga, Sur de España). In: Carrasco, F., Durán, J.J., y Andreo, B. (Eds.) *Karst and Environment*, 243-249.

Liñán, C., Carrasco, F., Andreo, B., Jiménez de Cisneros, C. y Caballero, E. (2002): Caracterización isotópica de las aguas de goteo de la Cueva de Nerja y de su entorno hidrogeológico (Málaga, Sur de España). In: Carrasco, F., Durán, J.J. y Andreo, B. (Eds.) *Karst and environment*, 243-249.

Liñán, C., Simón, M.D., del Rosal, Y. y Garrido, A. (2007): Estudio preliminar del clima en el entorno de la Cueva de Nerja (Andalucía, provincia de Málaga). In: Durán, J.J., Robledo, P.A. y Vázquez, J. (Eds.) *Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible*, Publicaciones del IGME, Serie: Hidrogeología y aguas subterráneas, nº 24, 159-167.

Mudry, J., Andreo, B., Charmoille, A., Liñán, C. y Carrasco, F. (2008): Geochemical and isotopic techniques in hydrogeology of caves with some examples from the Jura Mountains (France) and the Betic Cordillera (Spain). *International Journal of Speleology*, 37 (1): 67-74.

Pérez, I. y Andreo, B. (2007): Sierra Almijara y Alberquillas. In: Durán, J.J. (Ed.) *Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga*, IGME-DPM, 2: 144-148.

Sanchidrián, J.L. (1994): *Arte rupestre de la Cueva de Nerja*, Patronato de la Cueva de Nerja, Málaga, 332 p.

S.E.M. (1985): *La Cueva de Nerja*. Grupo de Exploraciones Subterráneas de la Sociedad excursionista de Málaga, Málaga, 87 p.