Estudios Ambientales en la Cueva del Agua, Iznalloz (Granada): 1.- Control hidroquímico y control ambiental *

Environmental study of the Cueva del Agua (Iznalloz, Granada) (Hidrochemistry and environmental monitoring)- 1st contribution

Sánchez-Martos, F.[1,2]; *Calaforra, J.M.*[1,2]; *Aguilera, P.A..*[3]

(1) Departamento de Hidrogeología y Química Analítica. Universidad de Almería
(2) Espeleo Club Almería
(3) Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Almería

(*) Trabajo financiado por la Diputación Provincial de Granada

Abstract

The "Cueva del Agua" of Iznalloz is located in Sierra Harana mountains, northern to Granada city (Spain). The cave is just in the overthrust contact between a dolomite brechia and white massive limestones corresponding to the unit domain of the "Dorsal Bética". Its depth is 165 m with a complex development formed by spacious chambers and spectacular speleothems.
The cavern remains locked by the Council of the "Cueva del Agua", with the aim of avoiding degradation of the cave. Before its possible touristization a laboratory of control of some environmental variables has been settled (relative humidity, air temperature, conductivity and water temperature). Climatology and hydrogeology of the cave in equilibrium with its natural conditions will be characterized by this control. It is really significant that this control has been started before any anthropic activity of possible impact into the cave has been made, because of that the obtained data suppose the reference basis on which evaluate any deviation due to its possible tourist use in the future.
With the purpose of detecting external influence in the stability of the cave three seriated stations of continouos measurement have been placed inside reflecting variations in space and time fundamentally linked to temperature variability outside the cave. Two stations more *(Twater-Cond)* have also installed measuring temperature and conductivity of water. They are located in a small lake in the deepest zone of the cave and in the water leakage over an antistalagmite *(conulite)*. In the first situation the variations seem to be subjected to the snowfalls regime of the area, but in the case of the speleothems the conductivity oscilations is linked to antropic action.
At the same time, a hydrochemistry contro of water in the cave has been carried out. This control has allowed to streess the diferencial characteristics between dripping water, perennial lakes and the areas where anthropioc water pollution has been detected, essentially related to high nitrate cotents.

Key words: cave use and management, environmental monitoring show caves, karst hidrochemistry.

Resumen

La Cueva del Agua de Iznalloz se localiza en los relieves de Sierra Harana, al norte de la ciudad de Granada (España). La cavidad se desarrolla justo en el contacto de cabalgamiento entre una brecha tectónica dolomítica y calizas masivas correspondientes al dominio de la Dorsal Bética. La profundidad de la cavidad es de 165 m con desarrollo muy complejo y presencia de grandes salas y espectaculares espeleotemas.
La cavidad permanece cerrada por decisión de la Comisión de la Cueva del Agua (Diputación Provincial de Granada) con el propósito de impedir la degradación de la cueva. Antes de la realización de cualquier actividad turística en la cavidad se ha decidió instalar un laboratorio subterráneo en el interior (con mediciones en continuo de temperatura del aire, humedad relativa, temperatura del agua y conductividad). Conocer la climatología e hidrogeología de la cueva, en equilibrio con sus condiciones naturales, es el principal propósito de el control que se está realizando, siendo realmente muy significativo que este control se haya iniciado previamente a cualquier actuación antrópica de cierta relevancia sobre la cavidad. Por esta razón, los datos que se han obtenido representan la base de referencia para evaluar cualquier desviación debida a futuras actuaciones turísticas sobre la cavidad.
Con la idea de detectar las influencias externas en la estabilidad de la cueva, se instalaron tres estaciones de medida continua en su interior que han reflejado unas variaciones temporales y espaciales esencialmente ligadas a las variaciones detectadas en el exterior. Dos estaciones más fueron instaladas para la medida de la conductividad y de la temperatura del agua. En éstas, localizadas en un lago en la zona más profunda de la cavidad y en el agua de goteo en una antiestalagmita (conulito), se detectó una variación aparentemente ligada al régimen nival del areal en el primer caso y variaciones debidas a acciones antrópicas en el segundo.
Paralelamente se ha realizado un control hidroquímico de las aguas existentes en la cavidad. Este control ha permitido remarcar las características diferenciales entre las aguas de goteo directo por infiltración, los lagos presentes en la cavidad y las zonas donde se ha detectado una contaminación antrópica, esencialmente relacionada con altos contenidos en nitratos.

Palabras clave: Uso de cavidades, control ambiental, cavidades turísticas, hidroquímica karst.

INTRODUCCIÓN

La Cueva del Agua, situada en el término municipal de Iznalloz, en la cabecera de la Cañada Larga (Sierra Harana), a 1700 m. de altitud, se encuentra actualmente en vías de estudio por parte de un equipo interdisciplinar. Este estudio está enfocado tanto al conocimiento de la fauna, puesto que la cavidad presenta un elenco de especies muy completo y constituye uno de los mejores modelos de fauna ligada con las cavidades (Tinaut, en prensa) como al estudio de las variables ambientales de la cavidad (Calaforra et al., 1995) con vistas a una futura apertura al turismo. Con esta idea se inició la instalación de un laboratorio en el interior de la cavidad, ya que el estudio de los parámetros climatológicos a través de redes de control ambiental constituye una herramienta muy utilizada en numerosas cavidades turísticas para obtener información sobre algunos de los procesos que aparecen en las diferentes áreas de la misma (Bertolani y Cigna, 1994)

El trabajo que aquí se presenta recoge los primeros datos obtenidos sobre las condiciones de la cavidad en su estado natural, sin una afección antrópica previa notable, tanto desde el punto de vista climático como hidrogeoquímico. Los datos corresponden al primer año de muestreo por lo que las conclusiones derivadas deben tomarse como totalmente preliminares.

ESQUEMA GEOLÓGICO DEL ENTORNO DE LA CUEVA DEL AGUA

La Sierra Harana constituye un relieve calizo cuyos materiales, de edad Lías-Cretácico, forman parte de la Unidad de Sierra Harana, pertenecientes a las zonas externas de las cordilleras Béticas (Pérez López, 1986a).

La geología de este relieve es bastante compleja, con una estructura muy plegada y numerosas fracturas. En el entorno de la Cueva del Agua los materiales aflorantes corresponden a dos formaciones una de carácter calizo-dolomítico y otra correspondiente a calizas grises con sílex (foto 1).

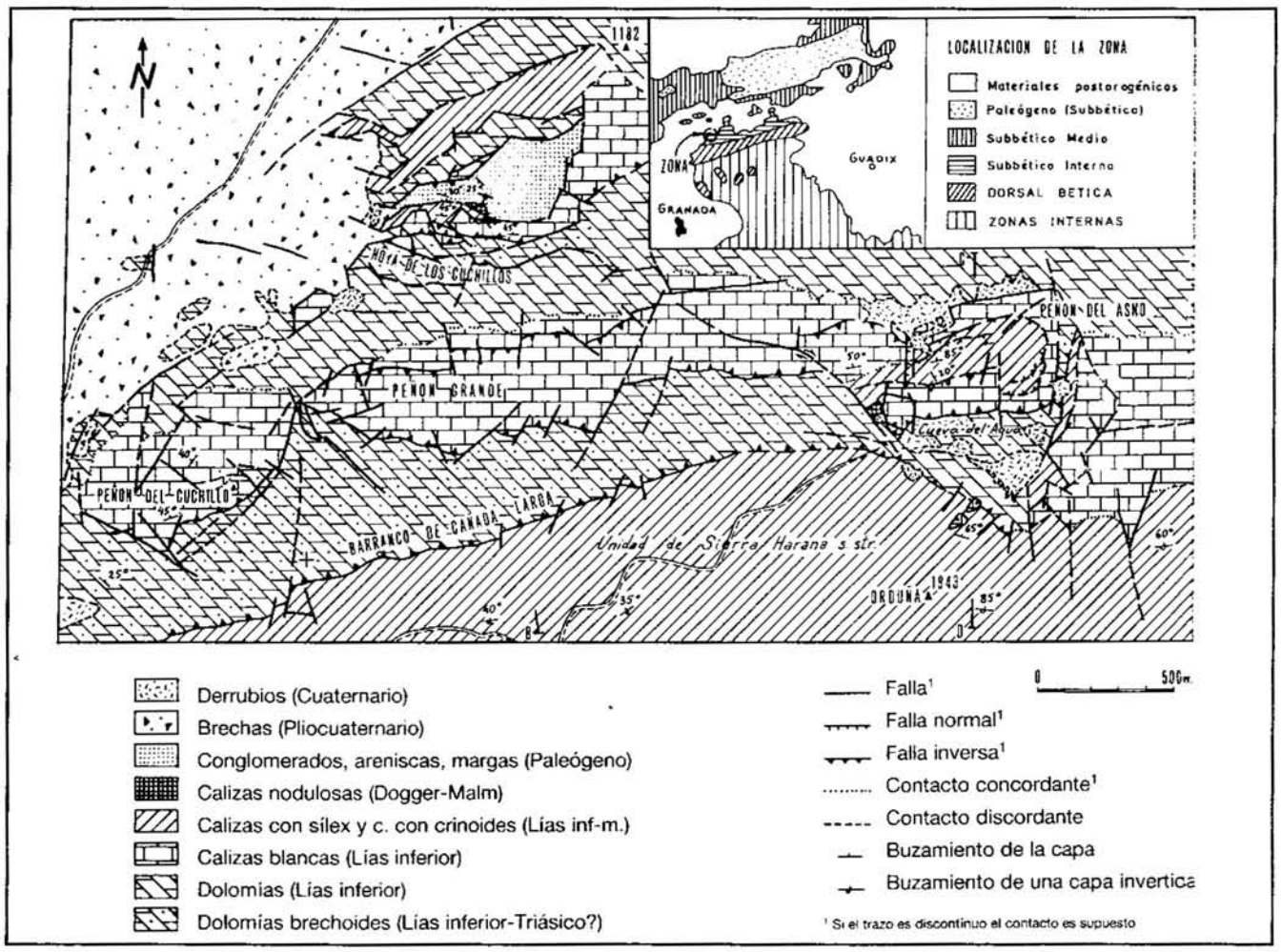

Figura 1. Mapa geológico del área de la Cueva del Agua (Pérez-López, 1986)

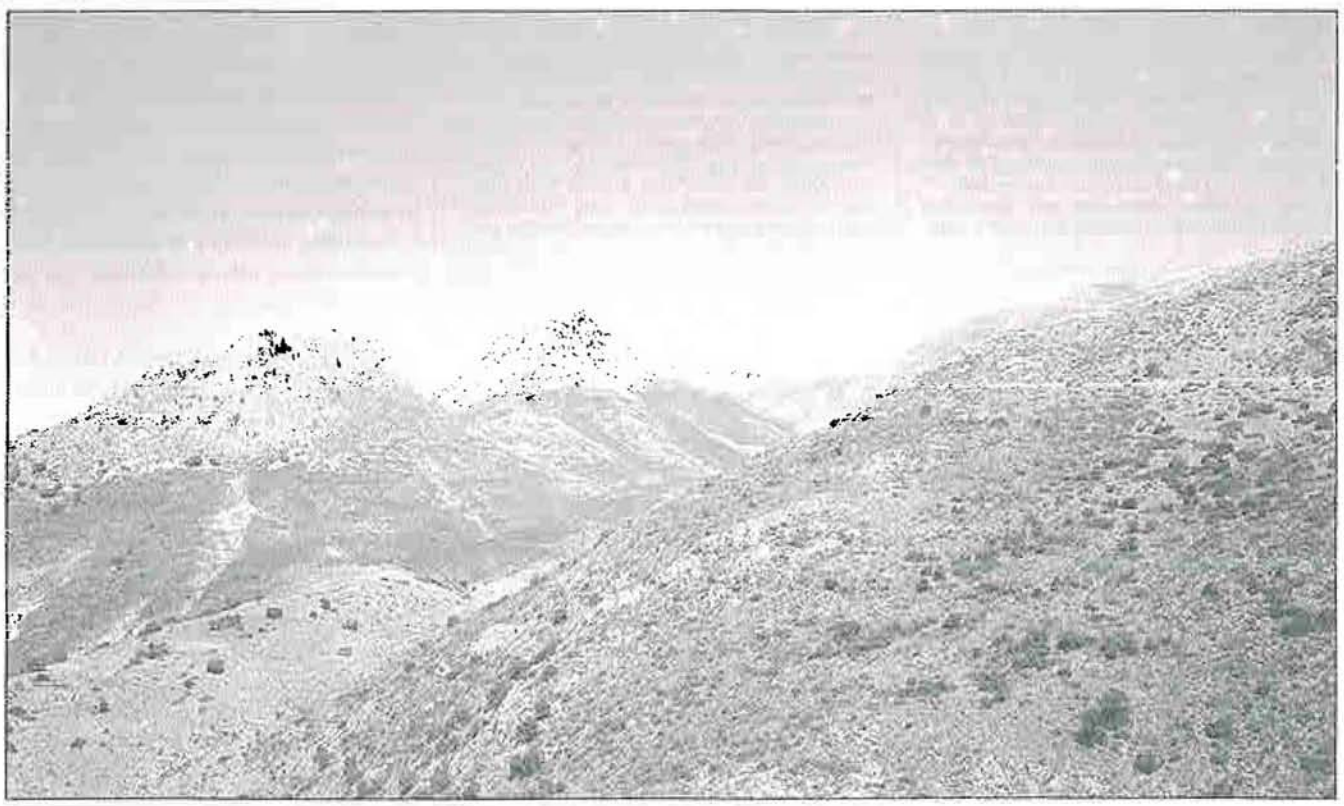

Foto 1. Entorno de la Cueva del Agua (Iznalloz) en la vertiente sur del barranco de la Canada Larga. Se observa el contacto tectónico entre las calizas micríticas (relieves estructurales y las dolomías brechoides inferiores. Justo a favor del contacto se desarrolla la cavidad. Foto: J.M. González-Ríos

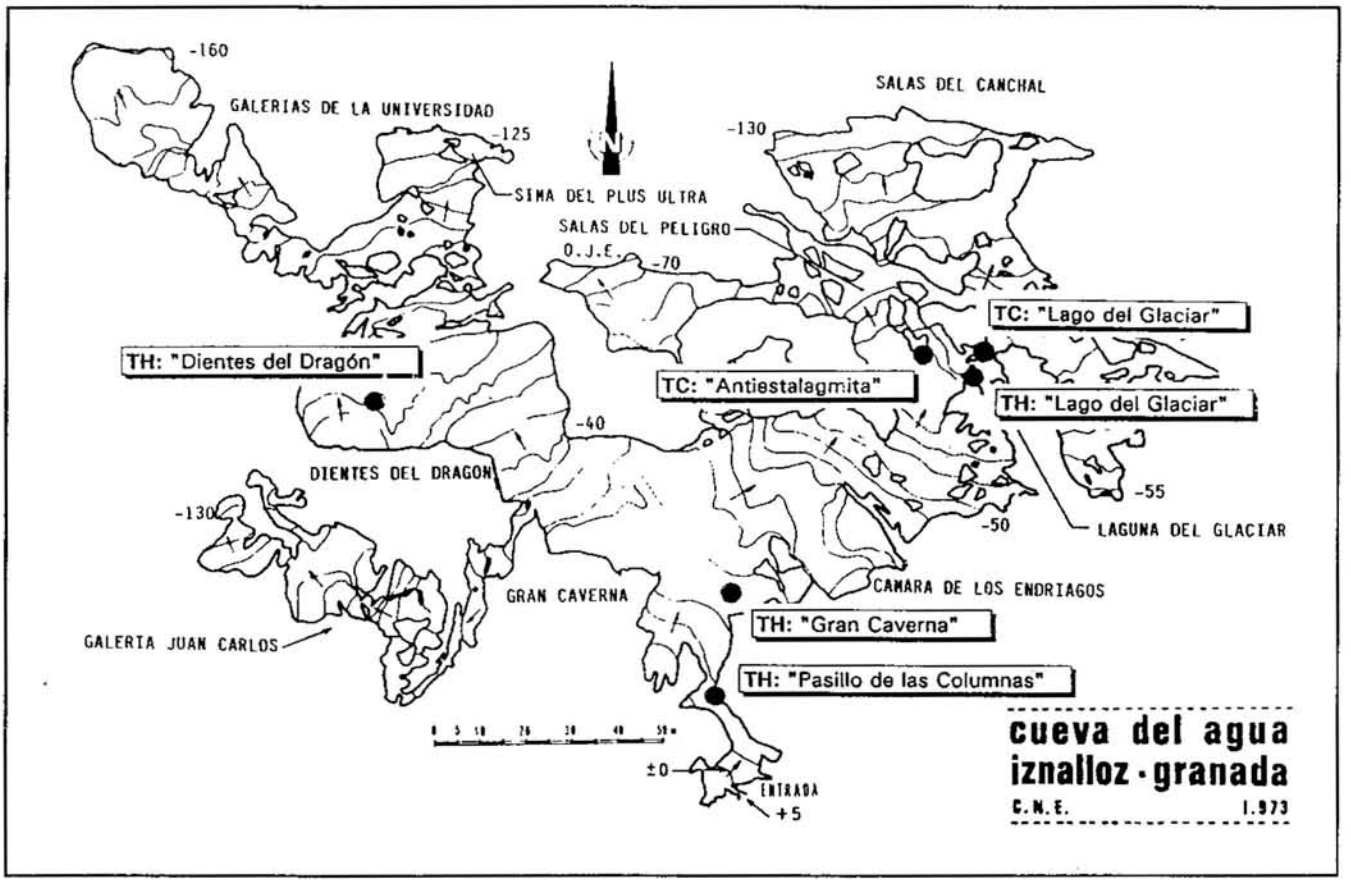

Figura 2. Esquema topográfico de la Cueva del Agua de Iznalloz. Situación de las estaciones donde se han ubicado los instrumentos de medida continua (TH: temperatura del aire y humedad relativa, TC: temperatura del agua y conductividad). y las áreas de muestreo hidrogeoquímico.Topografía: Marín et al. (1983)

La formación calizo-dolomítica, más potente, está ampliamente representada en el área. Consta de dos términos, uno basal dolomítico y otro superior de calizas blancas, con algunos niveles de transición que corresponden a calizas parcialmente dolomitizadas. Las dolomías masivas, presentan un aspecto brechoide, y afloran a lo largo de la vertiente norte del Barranco de La Cañada Larga. Las calizas micríticas poseen color grisáceo y blanco y son los responsables de los resaltes morfológicos tan característicos del área (Díaz de Neira et al., 1992). Afloran a lo largo de la cresta que forman el Peñón del Cuchillo-Peñón Grande-Peñón del Asno (fig. 1).

En el Pico de Orduña y en la vertiente sur del Barranco de La Cañada Larga afloran unas calizas grises de aspecto masivo con oolitos y niveles estratiformes de sílex. Estos materiales tiene una gran continuidad a lo largo de la sierra y definen unos resaltes muy significativos.

La estructura del área es compleja y se ha interpretado como un pliegue anticlinal vergente al sur, muy fracturado con fallas inversas muy tendidas y oblicuas entre sí que cortan ambos flancos del pliegue (Pérez López, 1986b). Con este esquema, se distingue en el entorno de la Cueva del Agua una falla inversa, con dirección ENE muy tendida y de vergencia sur a lo largo del Barranco de La Cañada Larga que pone en contacto las dolomías brechoides con las calizas grises. Al sur de la Cueva del Agua existen algunas fallas inversas subverticales que cortan a la anterior. Es necesario mencionar la fractura (N120E) de salto en dirección que separa el Peñón del Asno del Peñón Grande. Finalmente señalar un conjunto de fracturas normales, generalmente oblicuas a las fallas inversas que modifican todos los contactos anteriores.

CONTROL DE LAS VARIABLES AMBIENTALES

Se ha diseñado un control de una serie de variables ambientales dentro de la cavidad, con el fin de caracterizar la climatología de la cavidad, que permita el estudio de las variaciones en su microclima y el análisis de la posible influencia de las futuras visitas a la misma, si ésta llega a adecuarse a un uso turístico. En la climatología subterránea hay que considerar que generalmente las cavidades si sitúan en la zona de infiltración de un acuífero, y que son el resultado de transferencias gaseosas, térmicas e hídricas en el seno del acuífero (Mangin y D'Hulst,1995). Por ello, es conveniente se realiza un seguimiento de las características hidrogeoquímicas de las aguas de infiltración y de la temperatura y humedad relativa del aire a través de un control hidrogeoquímico y climatológico en diferentes puntos de la cavidad, lo que requiere establecer un esquema sobre las relaciones entre la cavidad, el medio exterior,y la zona epikárstica en la que se ubica.

Control hidrogeoquímico

La Cueva del Agua no presenta una circulación continua de agua, aunque en algunas antiestalagmitas (Fernández-Rubio y Eraso, 1975) en el *Lago del Glaciar* y en unos pequeños lagos en la *Cámara de los Endriagos*, que corresponden a unos gours remodelados en la época ibérica (González y Marín, 1994) existe agua durante todo el año (Foto 2).

Con el fin de identificar los posibles procesos que afectan a las aguas en cada uno de las áreas se ha efectuado un control hidroquímico sobre tres sectores principales: *Lago del Glaciar*, *Antiestalagmita*, *Cámara de los Endriagos*

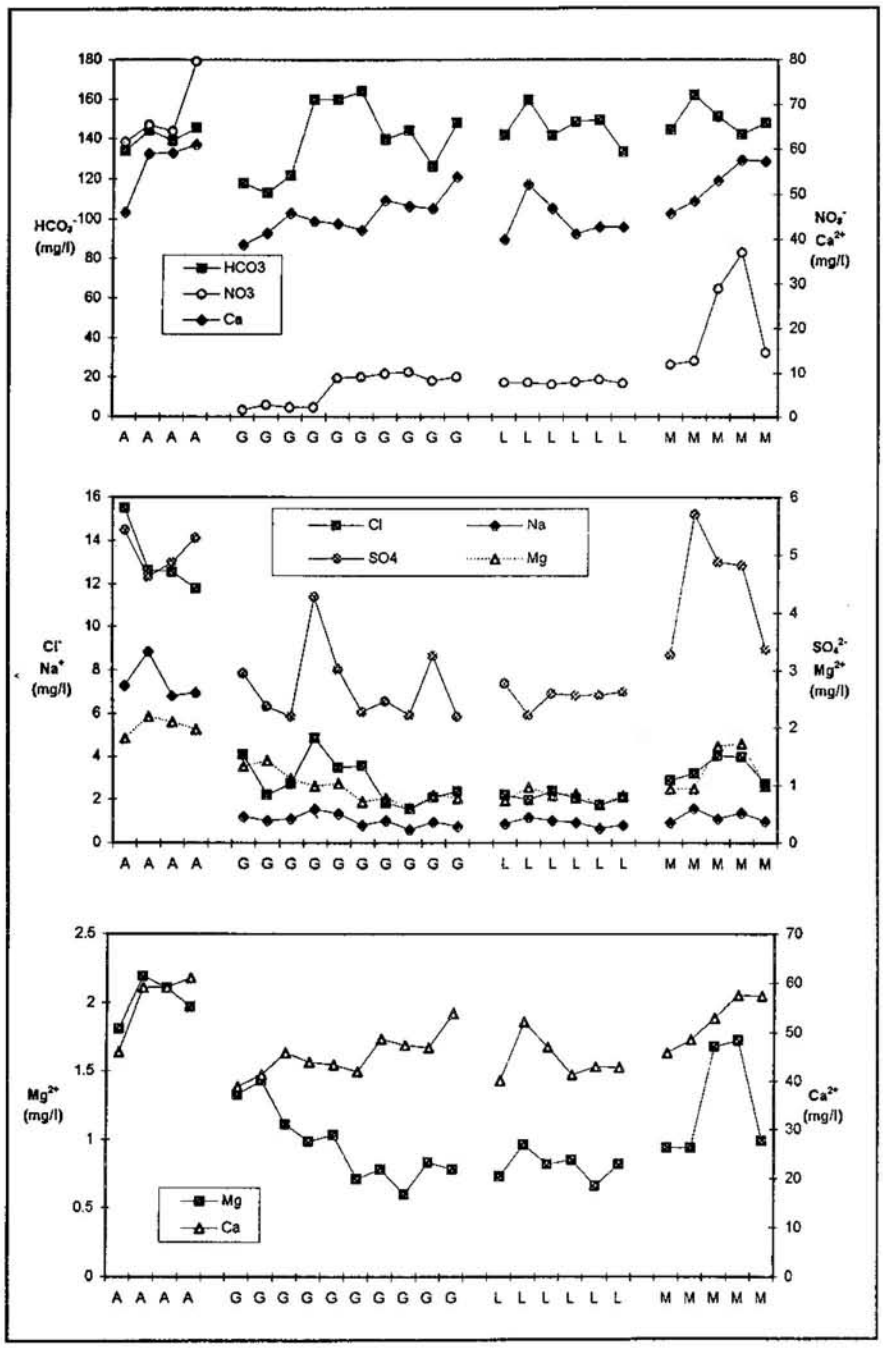

Figura 3 Concentraciones iónicas de las aguas muestreadas en los diferentes sectores de la cavidad.A: *Antiestalagmita*. L: *Lago del Glaciar*, M: *Cámara de los Endriagos*, G: Goteo

y algunos goteos en dos sectores (*Dientes del Dragón* y *Lago del Glaciar*). Para ello se han efectuado medidas de conductividad eléctrica, pH y temperatura de las aguas analizándose los iones Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, NO_3^-, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, con periodicidad bimestral y un total de 29 análisis.

Se efectúa también un control continuo de la conductividad eléctrica y temperatura del agua en el *Lago del Glaciar* y en una *Antiestalagmita* con el objetivo de detectar la evolución de las salinidad del agua para obtener información sobre la dinámica de las aguas de la cavidad. Estos parámetros permiten detectar las épocas de infiltración, puesto que implican una dilución de las aguas y por tanto la reducción en los valores de la conductividad y su acción sobre la cavidad y espeleotemas en general.

Control climatológico

La red de control climatológico de la cavidad, que permite el estudio de las variaciones en su microclima. se ha diseñado en tres sectores de la cavidad: *Pasillo de las Columnas*, *Dientes de Dragón* y *Lago del Glaciar*, mediante un seguimiento de la temperatura y humedad relativa del aire (fig. 2).

Se han utilizado cinco equipos suministrados por DIGITAL ANALOG SYSTEMS (D.A.S, 1993), que básicamente constan de un sistema de almacenamiento de datos que permite transmitirlos posteriormente a un ordenador personal. Junto a este sistema se utilizan dos tipos de sensores en función del parámetro a medir:

Temperatura: El sensor es de tipo resistivo, con un rango de medida entre -25 °C y +100 °C y una precisión de 0.1 °C en el intervalo 0 - 70 °C. El valor de la medida se expresa en décimas de grado.

Humedad relativa: Es un sensor de tipo capacitivo que opera en el rango de 0 a 100 %, con una precisión de 0.2 % entre 0 - 75 %. La medida se expresa en unidades 0.1 %.

RESULTADOS

Datos hidrogeoquímicos

En la tabla 1 se presenta los resultados analíticos obtenidos a lo largo de 1994. Se han separado cuatro grandes grupos según el área de muestreo (*Antiestalagmita*, *Lago del Glaciar*, *Cámara de los Endriagos* y *Goteos*). Las aguas más mineralizadas de la cavidad corresponden a las muestreadas en la antiestalagmita (420 µS/cm), y coinciden con los contenidos más altos en los iones Cl^- SO_4^{2-}, Mg^{2+} y Ca^{2+}, y altas concentraciones en NO_3^- (60 mg/l).

Las aguas muestreadas directamente en los goteos, presentan mineralizaciones más bajas inferiores a 150 µS/cm. Pueden diferenciarse dos grupos según el área de muestreo: un primer grupo en las aguas recogidas en el entorno de los *Dientes del Dragón* que presentan contenidos comparativamente más altos en Mg^{2+} (1.5 mg/l) y más bajos en HCO_3^- (120 mg/l)) con relaciones rMg^{2+}/rCa^{2+} más elevadas (0.4 - 0.6) (fig. 3). En el resto de puntos, recogidos en las proximidades del *Lago del Glaciar*, se alcanzan valores más altos de HCO_3^- (140 - 160 mg/l) y algo más bajos de Mg^{2+}(algo inferiores 1 mg/l), con relación rMg^{2+}/rCa^{2+} bastante más baja (0.2 - 0.4) que en el grupo anterior.

Las aguas del *Lago del Glaciar* presentan una mineralización algo más elevada y en general bastante constante (300 - 325 µS/cm.), con contenidos iónicos similares al agua de goteo, únicamente algo más bajos en Cl^- (2 mg/l) y Na (0.7 - 0.8 mg/l). En los gours de la *Cámara de los Endriagos* las aguas presentan una mineralización semejante a

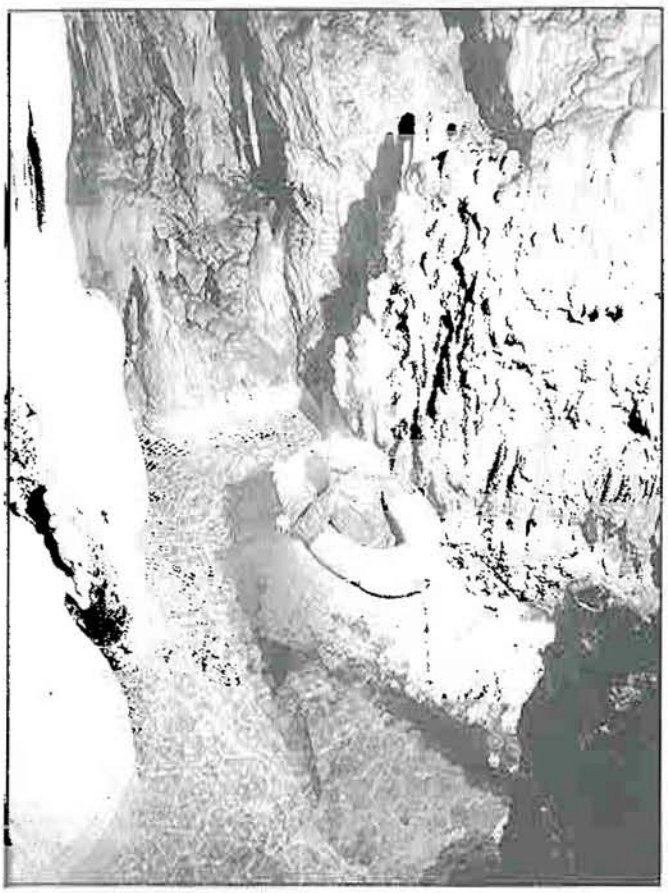

Foto 2. El Lago del Glaciar, situado en uno de los sectores más profundos de la cavidad. Aquí, se realiza el control, en contínuo de la temperatura del Agua y conductividad. Foto: M.J. González-Ríos

Foto 3. La Cámara de los Endriagos. en este sector se realiza el control hidroquímico de las aguas de goteo de la cavidad y de algunos pequeños lagos contaminados con abundante materia orgánica. Foto: M.J. González-Ríos

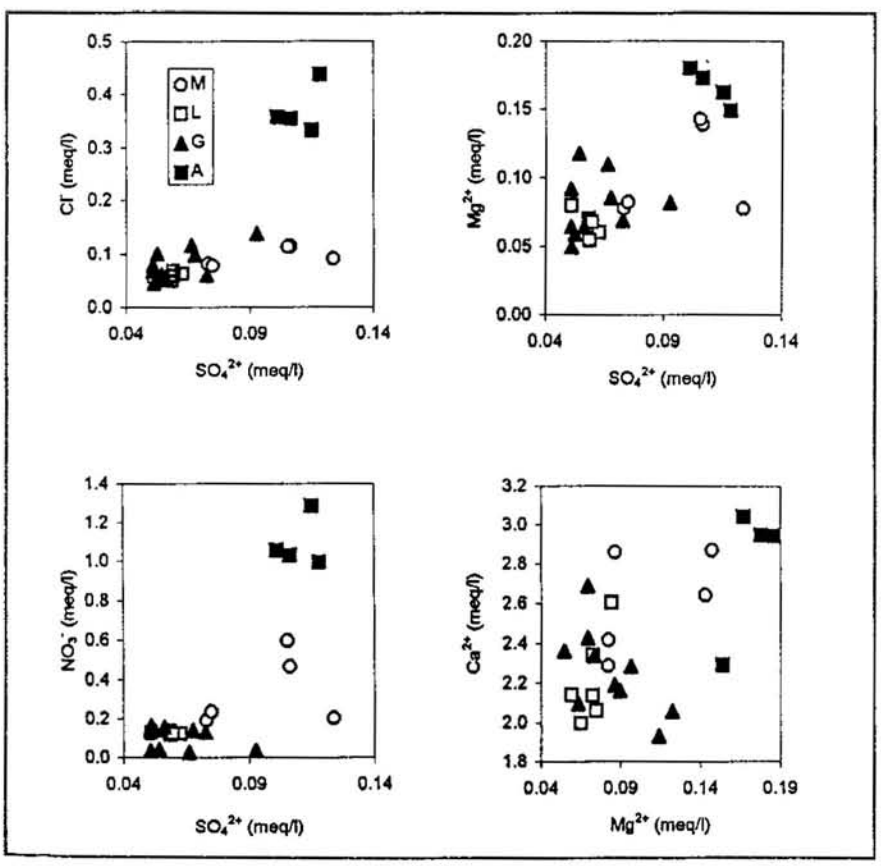

Figura 4. Relaciones iónicas de las aguas muestreadas en los diferentes sectores de la cavidad. A: *Antiestalagmita*. L: *Lago del Glaciar*, M: *Cámara de los Endriagos*, G: Goteos

la anterior, aunque con elevados contenidos en NO_3^- (10 - 40 mg/l) y concentraciones más altas en Cl^- (2.7 - 3.7 mg/l) y SO_4^{2-} (3 - 6 mg/l)

Un estudio inicial de estos datos permite diferenciar aquellos sectores con influencia directa de la infiltración (lago y goteos) de aquellos otros en que existe alguna modificación externa al sistema y varía claramente al quimismo de las aguas. En la figura 4 se han representado algunas relaciones iónicas que permiten separar estas cuatro agrupaciones. En ellas se muestra la similitud del quimismo entre las aguas del *Lago del Glaciar* y las correspondientes al goteo, aguas con los contenidos salinos más bajos de toda la cavidad que están directamente en relación con la infiltración. En los otros dos sectores se detectan situaciones bien distintas. En la *Cámara de los Endriagos* existen abundantes acumulaciones de restos de cenizas y restos vegetales, relacionados con el uso antiguo de la cavidad para abastecerse de agua, lo que obligaba iluminarla con antorchas. El lavado de estos depósitos que recubren las paredes y suelos debe ser el responsable de que las aguas muestreadas en este área presentan concentraciones más altas en sulfatos

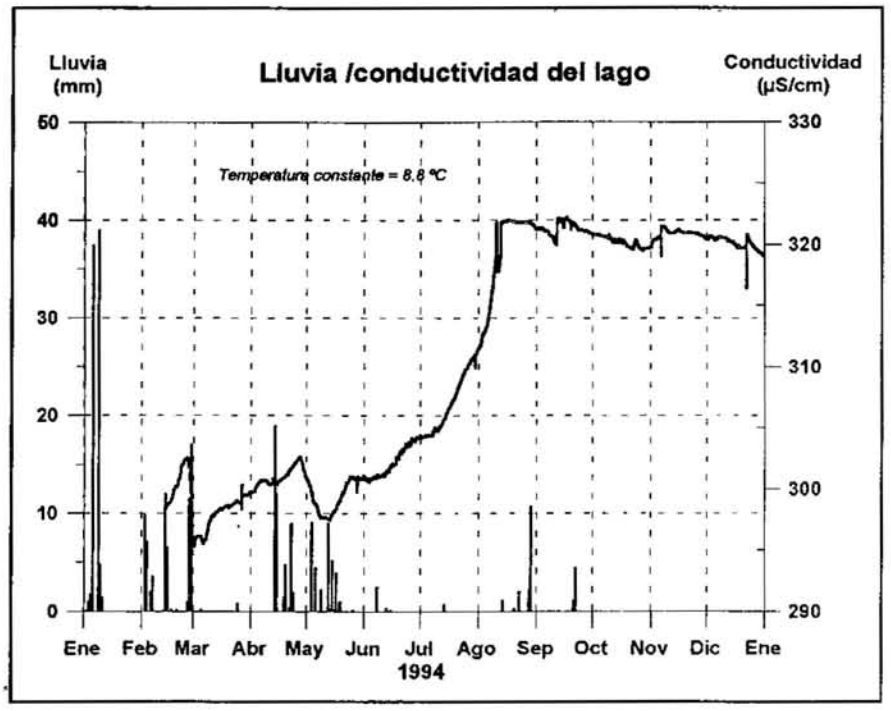

Figura 5. Variación de la conductividad del agua en la estación del *"Lago del Glaciar"*, a una profundidad de - 120 m. Se indican las precipitaciones de la estación más cercana "Pantano Cubillas". Datos pluviométricos del Centro Metereológico Zonal de Málaga recopilados hasta Octubre de 1994

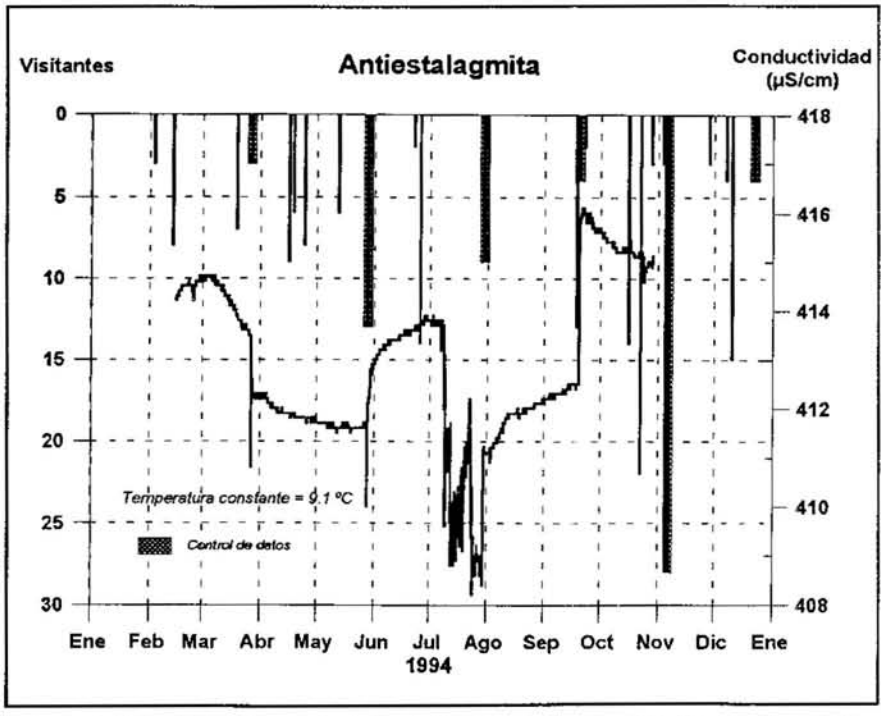

Figura 6. Variación de la conductividad eléctrica en el agua de la *"Antiestalagmita"*. Se indican mediante columnas las visitas, el número de visitantes y la fechas de control de datos

y nitratos. Por otra parte el agua muestreada en la *Antiestalagmita*, representa un ejemplo claro de contaminación en relación con un pequeño vertido de carburo, lo que eleva fuertemente su conductividad eléctrica (420 µS/cm) y duplica los contenidos en cloruros y nitratos mientras que las contenidos en sulfatos permanecen bastantes similares a los que se presentan las aguas de la *Cámara de los Endriagos* (Foto 3).

Evolución de la conductividad y de la temperatura del agua

En el *"Lago del Glaciar"* se ha mantenido un control de la temperatura y conductividad eléctrica de las aguas. El comportamiento de estos dos parámetros es netamente diferente, ya que la temperatura se mantiene muy constante (8.8 °C) en el rango de precisión y la conductividad, con valores muy bajos dada la reducida mineralización de las aguas, oscila en un rango de 295-325 µS/cm (fig. 5).

La evolución temporal de la conductividad muestra una tendencia ascendente, ligada al aumento de la salinidad de las aguas a medida que aumenta el tiempo de contacto agua/roca. Este aumento de salinidad se reduce significativamente cuando existe un aporte de aguas con menor salinidad, lo que produce descensos muy significativos, especialmente claros en Marzo y Mayo.

A lo largo de todo el tiempo de control de la temperatura del agua y de la conductividad se diferencian tres periodos, con unas pautas de evolución distintas. En el primero (Febrero-Mayo) la conductividad posee valores próximos a 300 µS/cm, y una tendencia ascendente muy constante (5 µS/cm mes), tendencia alterada por dos descensos muy claros, en Marzo y Mayo. Estos descensos son perfectamente correlacionables con las precipitaciones y con los descensos de humedad relativa y temperatura del aire en la estación situada en el *Pasillo de las Columnas*. El agua de infiltración no sólo es la responsable de la dilución de las aguas del *Lago del Glaciar*, sino que también influye en las variaciones térmicas de la cavidad, puesto que el agua, con mayor capacidad calorífica que el aire, juega un papel importante en los procesos de termo conducción, de los cuales dependen la temperatura subterránea (Andrieux, 1981). En el segundo periodo (Junio-Agosto) se detecta un incremento continuo de conductividad pero con una relación más elevada que el anterior (20 µS/cm mes), desde valores próximos a 300 µS/cm hasta 320 µS/cm. En el último ciclo registrado (Agosto-Diciembre) la conductividad mantiene un valor constante, próximo a 320 µS/cm, posiblemente indicativo del equilibrio agua/roca particular de la cavidad, lo que supone una estabilización en la salinidad de las aguas. En los primeros días de Agosto se marca un brusco descenso de conductividad, acompañado de un ligero aumento en la temperatura del agua, descenso que posiblemente esté ligado a alguna infiltración con aguas de temperatura algo más alta.

En una *Antiestalagmita* que posee agua a lo largo de todo el año se mantiene un control de la temperatura y conductividad del agua con el objeto de detectar alteraciones sobre las con-

	ANTIESTALAGMITA			
PUNTO	2MA	2JA	4SA	3DA
FECHA	may-94	jul-94	sep-94	dic-94
TEMP	9.1	9.1	9.1	9.1
C.E.	431	442	431	425
pH	7.7	8.2	7.9	8.1
Cl	15.5	12.6	12.6	11.8
SO4	5.4	4.6	4.9	5.3
HCO3	133.9	144.2	139.1	145.7
NO3	61.6	65.4	63.9	79.6
Na	7.3	8.8	6.8	7.0
Mg	1.8	2.2	2.1	2.0
Ca	46.0	59.0	59.1	61.0
K	3.5	6.1	4.3	4.2

GOTEO									
3NC	6DC	4FG	4MG	1SG	2NG	4DCH	2DG	7DGE	2FGE
nov-94	dic-94	feb-95	may-94	sep-94	nov-94	dic-94	dic-94	dic-94	feb-95
8.6	8.4	8.3	8.4	8.1	8.8	8.1	8.1	7.5	7.9
150	141	132	129	135	172	125	129	130	131
7.8	8.1	8.7	8.4	8.5	8.2	8.1	8.3	8.1	8.3
4.1	2.2	2.8	4.9	3.5	3.6	1.8	1.6	2.1	2.4
3.0	2.4	2.2	4.3	3.0	2.3	2.5	2.2	3.3	2.2
117.9	113.0	122.0	159.8	159.9	164.0	139.8	144.2	126.4	148.1
1.6	2.7	2.2	2.2	8.8	9.0	9.7	10.2	8.2	9.0
1.2	1.0	1.1	1.6	1.4	0.8	1.0	0.6	1.0	0.8
1.3	1.4	1.1	1.0	1.0	0.7	0.8	0.6	0.8	0.8
38.7	41.2	45.8	43.9	43.4	42.0	48.7	47.3	46.9	53.9
0.7	0.0	0.3	0.3	0.4	1.8	0.3	0.0	0.6	0.6

	LAGO DEL GLACIAR					
PUNTO	3ML	3JL	2SL	4NL	1DL	1FL
FECHA	may-94	jul-94	sep-94	nov-94	dic-94	feb-95
TEMP	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
C.E.	295	290	320	322	325	324
pH	8.1	8.2	7.8	7.9	8.1	8.7
Cl	2.2	2.0	2.4	2.0	1.7	2.1
SO4	2.8	2.2	2.6	2.6	2.6	2.6
HCO3	142.0	159.6	141.8	148.8	149.6	133.7
NO3	7.8	7.9	7.3	7.9	8.6	7.7
Na	0.9	1.2	1.0	0.9	0.7	0.8
Mg	0.7	1.0	0.8	0.9	0.7	0.8
Ca	40.0	52.2	47.0	41.3	42.9	42.8
K	0.1	0.2	0.3	0.3	0.0	0.3

CÁMARA DE LOS ENDRIAGOS				
1MM	1JM	3SM	5DM	3FM
may-94	jul-94	sep-94	dic-94	feb-95
9.4	9.6	9.5	9.4	9.3
340	335	325	325	328
8.0	8.7	8.4	8.5	8.3
2.9	3.2	4.0	4.0	2.8
3.3	5.7	4.9	4.8	3.4
144.5	162.1	151.3	142.5	148.0
11.9	12.8	28.9	37.0	14.6
1.0	1.6	1.1	1.4	1.0
0.9	0.9	1.7	1.7	1.0
45.9	48.5	53.0	57.5	57.4
1.0	2.6	5.1	6.0	2.4

Tabla 1. Datos analíticos de los muestreos realizados en la Cueva del Agua. Los valores se expresan en: temperatura (°C). conductividad eléctrica (µS/cm) y concentraciones iónicas (mg/l)

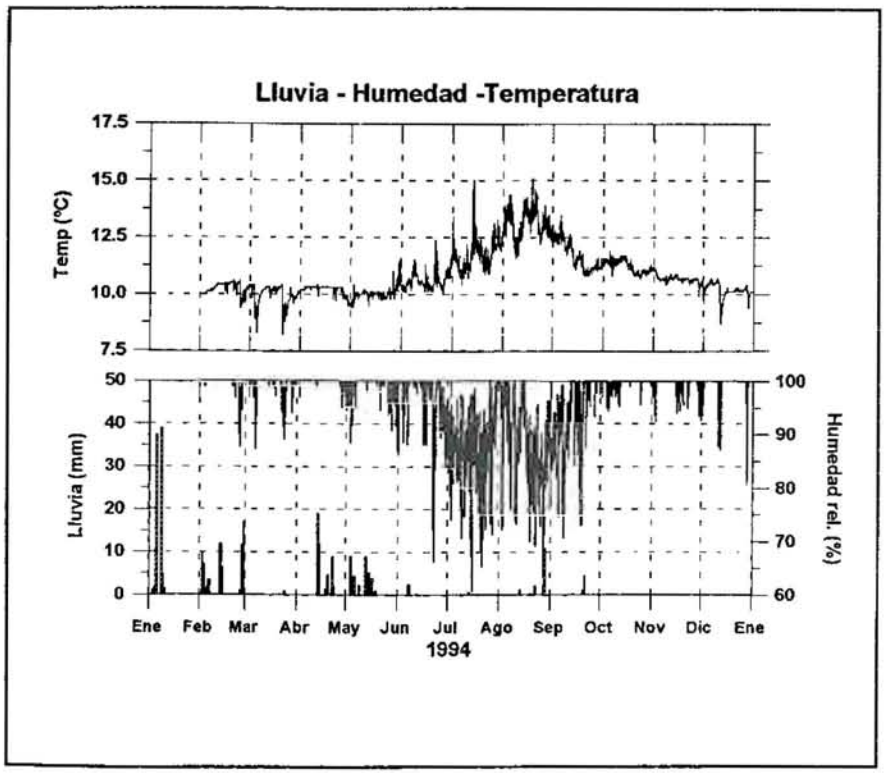

Figura 7. Temperatura y humedad relativa del aire en la Estación *Pasillo de las Columnas*. Se indican las precipitaciones de la estación más cercana "Pantano Cubillas". Datos del Centro Metereologico Zonal de Málaga recopilados hasta Octubre de 1994

diciones de formación de los espeleotemas. Al igual que en el *Lago del Glaciar* la temperatura mantiene valores constantes (9.1 °C). En la figura 6 se representa evolución de la conductividad eléctrica junto a las visitas y le fechas de toma de datos .Los valores oscilan entre 405 - 420 µS/cm pero las oscilaciones más irregulares e intensas se producen siempre en relación con las fechas en que se efectúa el control de datos, que suponen solamente pequeñas movimientos en el agua de la antiestalagmita. Estas oscilaciones reflejan claramente la fragilidad del medio subterráneo, y en concreto de los espeleotemas, puesto que las modificaciones que aparecen no se recuperan posteriormente.

Evolución ambiental

Tras un año de control a lo largo de la cavidad se constata la ausencia de variación en la temperatura y humedad relativa del aire en las estaciones de control más alejadas de la entrada (*Dientes del Dragón* y *Lago del Glaciar*), el aire está siempre saturado, con la humedad relativa próxima al 100 % y la temperatura del aire muy constante, que oscila entre 9.3 °C y 9.4 °C.

En la estación situada en el *Pasillo de las Columnas*, a unos 25 m de la entrada, las variaciones son importantes y claramente relacionadas con la evolución climática exterior. La temperatura oscila entre 8 °C y 15 °C. De acuerdo con la evolución temporal se distinguen tres ciclos de características diferentes (fig. 7). El primer ciclo, Febrero-Mayo, presenta oscilaciones reducidas, inferiores a 2 °C, que siempre suponen descensos con respecto a los 10.2 °C, temperatura que se mantiene

como "base" a lo largo de este periodo. Estas oscilaciones, con descensos muy bruscos y recuperaciones algo más lentas, son correlacionables con días de intensa infiltración relacionados, en esta época del año, con fuertes nevadas y precipitaciones.

En el segundo ciclo, Junio-Septiembre, la temperatura no presenta un nivel de "base" constante, sino que adopta una evolución ascendente hasta alcanzar el máximo en Agosto, y desde este punto descender gradualmente. Es significativa la disposición subcíclica con oscilaciones de unos 2 ° C en periodos de 10-12 días, especialmente en el ciclo con temperatura ascendente (Junio-Agosto). A menor escala puede distinguirse también una oscilación diaria.

Se detecta un tercer ciclo en el periodo Septiembre Diciembre caracterizado por un rápida atenuación de las oscilaciones térmicas, (10 °C -12 °C), con una tendencia claramente descendente, hasta alcanzar en Diciembre valores próximos a 10 °C, nivel de temperatura muy cercano a la que se mantienen en el primer ciclo. La morfología de este ciclo es bastante lineal con una tendencia escalonada, especialmente visible si se consideran las temperaturas medias diarias,obtenidas a partir de los datos horarios, donde se refleja la anulación de los ciclos marcados en el verano en los que se presentaban oscilaciones de 2 °C en cinco días.

En cuanto a la humedad relativa la situación es semejante a la comentada para la temperatura, puesto que todas las estaciones se encuentran con valores próximos al 100 %, excepto la más próxima a la entrada. En ésta, los valores adoptan una gran variabilidad, oscilan entre 100 % y 65 %. Pueden diferenciarse también tres ciclos (Febrero-Junio, Junio- Septiembre y Septiembre Diciembre). El primer ciclo, más amplio que el seleccionado para la temperatura, presenta la mayor parte del tiempo una humedad del 100 %, con algunos intervalos en los que desciende ligeramente hasta el 90 %. Intervalos de escasa duración, 2-4 días, en Febrero y Marzo y algo más amplios, 8-10 días, en Mayo y Junio.

En el segundo ciclo siempre existen valores inferiores a 100 % con los mínimos cercanos a 65 %. La evolución temporal adopta una disposición ligeramente sinusoidal separada en tres grandes subciclos diferentes. El primero (mitad de Junio y Julio) supone una tendencia descendente hasta alcanzar valores de humedad próximos al 80 %. El segundo, (Agosto), presenta las variaciones más significativas,con un ciclo completo de humedad creciente -decreciente y variaciones importantes que suponen oscilaciones de 20 % en apenas dos días. El tercer subciclo (Septiembre) supone una tendencia ascendente, desde valores de 80 % hasta el 100 % . Esto también se refleja claramente representando los valores medios diarios.

El último ciclo anual (Octubre- Diciembre), al igual que se ha comentado para la temperatura representa la tendencia descendente hasta alcanzar una curva semejante al ciclo inicial de invierno-primavera, con valores de humedad próximos al 100 % y pequeños descensos, siempre superiores al 90 %.

El análisis conjunto de estos dos parámetros (temperatura y humedad relativa del aire) refleja dos dinámicas diferentes, según la época del año que se considere, Febrero-Mayo (Invierno-Primavera) y Junio-Septiembre (Verano). En Invierno y Primavera los descensos de temperatura se corresponden con descensos de humedad relativa. Descensos ligados con la entrada de aire frío, o bien con aumentos de infiltración, con aguas frías, relacionadas con nevadas y/o precipitaciones. Durante el verano esta situación se invierte, los descensos de humedad relativa coinciden con las máximas temperaturas. En este caso la entrada de aire más caliente y seco debe ser la responsable de esta situación. En el Otoño, desde Octubre, representa el final del ciclo anual, con una evolución similar a la que existe en Primavera, con estabilización de la humedad relativa y el descenso de la temperatura

CONSIDERACIONES FINALES

El control de las variables ambientales de la Cueva del Agua (Iznalloz, Granada) está facilitando el conocimiento del funcionamiento de la cavidad en su estado natural, sin afecciones antrópicas notables. Los datos obtenidos, que deberán ser ampliados con registros temporales más amplios, deben considerarse como una secuencia alterada esencialmente por fenómenos naturales. Consideramos que es el paso previo a cualquier habilitación turística de la cavidad, de modo que las alteraciones que pueda sufrir el registro base puedan ser atribuibles facilmente a determinada actuación futura sobre la cavidad, con lo que su identificación y correción puede llegar a ser relativamente sencilla.

El estudio de los procesos que modifican el quimismo de las aguas de la cavidad puede ser util para la identificación de la afección de las aguas de goteo a los espeleotemas. La utilización de diferentes metodologías de modelización hidrogeoquímica junto al analisis de las variables ambientales constituye una parte esencial en el estudio y control de todos los procesos que influyen en la conservación de la Cueva del Agua.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRIEUX, C.(1981). *Climatologie souterraine*. Monumets historiques, 18: 49-53

BERTOLANI, M. y CIGNA, A. (1994). *Activity of the scientific commission of Grotta Grande del Vento (Cenga, Ancona, Central Italy)*. Int. Jour, of Speleol.. Vol 23 (1-2): 51-60

CALAFORRA, J.M..y SÁNCHEZ-MARTOS. F. (1995). *An example of environmental monitoring programme of a cave before its posible tourist use: "Cueva del agua" (Granada, Spain)*. Intern. Symp. "Show Caves and environmental monitoring" A. Cigna ed. Frabosa. Italia: 201-208

DIGITAL ANALOG SYSTEMS (1993) *Manuale d'uso del Thermos Data*. 25 p.

DÍAZ DE NEIRA, J.A..; ENRILE, A.; HERNÁIZ; LÓPEZ-OLMEDO, F. (1992) *Hoja geológica de Iznalloz y memoria (Mapa geológico de España Escala 1:50 000)*. ITGE: 84 p. .

FERNÁNDEZ-RUBIO, R.; ERASO, a. (1975) *Nuevas formas kársticas de erosión precipitación en la Cueva del Agua (Granada, España)*. Ann. Speleol. XXX, 4: 655-663

GONZÁLEZ-RÍOS, M.J. (1992) *Grandes cavidades de la provincia de Granada*. Espeleotemas, 2: 19-40

GONZÁLEZ-RÍOS, M.J y MARÍN J.C.(1994). *La Cueva del Agua*. Ed. Diputación Provincial de Granada. 100 p..

MANGIN, A. y D'HULST (1995). *Frenquentation des grottes touristiques et conservation. Methode d'approche pour en etudier les effets et proposere une reglamentation*. Intern. Symp. "Show caves and environmental monitoring . A. Cigna Ed. Fabrosa.:117-146

MARÍN J.C.; GONZÁLEZ-RÍOS, M.J.; DAZ-GONZLEZ, M. (1983) *Cavidades del sector Cabezo del Asno. Sierra Harana (Granada)*. Spes, 3: 75-91

PÉREZ LÓPEZ, A (1986 a). *Nuevos datos sobre la estratigrafia y evolcuión sedimentaria del Mesozoico de la unidad de Sierra Harana (Subbético interno, Cordillera Bética)*. Estudios Geológicos, 42:397-405.

PÉREZ LÓPEZ, A (1986 b). *Estratigrafia y estructura del sector noroccidental de Sierra Harana (Subbetico Interno, Cordillera Bética)*. Mediterránea. Ser. Est. Geol. 3:145-156.

TINAUT, A. (en prensa). *Contribución al conocimiento de la artropodofauna de la Cueva del Agua de Iznalloz*. Bol Asoc. Española de Entomología vol. 19.