

## HIDRODINÁMICA E HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS DE GOTEO DE LA CUEVA DE NERJA

C. Liñán <sup>(1)</sup>, B. Andreo <sup>(2)</sup>, F. Carrasco <sup>(2)</sup> y I. Vadillo <sup>(2)</sup>

(1) Cueva de Nerja. Carretera de Maro s/n. 29787- Nerja (Málaga). cuevanerja@vnet.es

(2) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos s/n. 29071-Málaga. andreo@uma.es, fcarrasco@uma.es, vadillo@uma.es.

### RESUMEN

Desde Marzo de 1991 hasta Diciembre de 1998 se ha realizado un control hidrodinámico e hidroquímico de las aguas de goteo existentes en el interior de la Cueva de Nerja, así como de las aguas de precipitación recogidas en su entorno. Para ello, se ha medido diariamente la cantidad de precipitación caída sobre la Cueva y el caudal de goteo en el Rincón del Órgano (gotero situado en la parte visitable de la cavidad) y se han recogido y analizado 388 muestras de agua, 174 de agua de lluvia y 214 muestras de agua de goteo. Las composiciones química e isotópica de las aguas muestreadas en el interior de la cavidad indican que son aguas de origen meteórico, que caen sobre la superficie de la Cueva y van circulando a través del epikarst hasta su salida a través de los goteros. La evolución temporal del caudal de goteo, junto con la aparición de determinadas "anomalías" hidroquímicas (contenidos muy elevados en  $K^+$  y  $Cl^-$  tanto en el agua de lluvia como en el agua de goteo), pone de manifiesto la existencia de un desfase desde la entrada del agua de lluvia en la Cueva hasta su salida por los goteros del interior. Los altos contenidos en  $K^+$  y  $Cl^-$  son utilizados como trazadores para determinar dicho desfase.

**Palabras clave:** hidroquímica, infiltración, caudal de goteo, trazador hidroquímico

### ABSTRACT

From March of 1991 to December of 1998 it has been carried out an hydrodynamic and hydrochemical control of the drip waters of the Nerja Cave as well as of the rainwaters about the Cavity. It has been measured the quantity of rain fallen above the Cave and the drip water flow at Rincon del Organo drip (situated in the area of the cavity open to the public) and it has been sampled and analysed 388 samples of water, 174 samples of rainwater and 214 samples of drip water. The isotopic and chemical compositions of the waters sampled inside the Cave indicate that they are waters of meteoric origin, which fall above the surface of the cavity and circulate through the epikarst, until they go out through the drips. The temporal evolution of the drip water flow, together with the appearance of certain hydrochemical "anomalies" (very high contents in  $K^+$  and  $Cl^-$ ), make clear the existence of a time lag from the entrance of the rainwater in the Cave until its exit through the drips. The high contents in  $K^+$  and  $Cl^-$  are used as tracers for determining this time lag.

**Key words:** hydrochemistry, infiltration, drip water flow, hydrochemical tracer

## 1. INTRODUCCIÓN

La Cueva de Nerja está situada en el extremo suroriental de la provincia de Málaga, a unos 5 km al Este de la localidad de Nerja y a unos 500 m al Norte del pueblo costero de Maro. Fue descubierta en el año 1959 y abierta al público un año después.

La cavidad tiene un recorrido total de 4.823 m y su desarrollo es prácticamente horizontal, siendo el desnivel máximo de unos 70 m (SEM, 1985). La orientación general de las principales galerías es N-S, de acuerdo con las principales direcciones de fracturación (Sanz de Galdeano, 1993).

En la Cueva se pueden distinguir dos sectores: una zona abierta al público (Galerías Turísticas o Bajas), que ocupa aproximadamente un tercio del volumen total de la cavidad y una zona no visitable (Galerías Altas y Galerías Nuevas), que constituye los dos tercios restantes.

Desde el punto de vista geológico, está situada en materiales pertenecientes al Complejo Alpujarride de la Cordillera Bética, concretamente sobre materiales de la denominada Unidad de Almirajara (Sanz de Galdeano, 1986, Andreo *et al.* 1993). La serie estratigráfica de esta Unidad está formada por una sucesión metapelítica en la parte inferior (esquistos y cuarcitas) de edad Paleozoico y un conjunto superior carbonatado, en el que se pueden diferenciar dos tramos. El tramo inferior, de edad Trías medio y unos 400 m de potencia, está formado por mármoles dolomíticos de grano medio-grueso, muy diaclasados y con aspecto sacaroideo. El tramo superior, con potencia variable entre 30 y 100 m, está formado por mármoles calizos con intercalaciones de calcoesquistos y su edad es Trías superior. La Cueva de Nerja se desarrolla sobre el conjunto de mármoles dolomíticos.

La estructura geológica de la Unidad de Almirajara es bastante compleja, aunque en el sector de la Cueva es mucho más simple, prácticamente tabular, buzante al sur 15-20°. Esta estructura está limitada al sur por fallas de desgarre dextrosas, de dirección NW-SE, que han provocado movimientos verticales durante el Plioceno y el Cuaternario, levantando el relieve carbonatado en el que se encuentra la Cueva.

Los mármoles de la Unidad de Almirajara son permeables por fisuración y karstificación, por lo que forman parte de la Unidad Hidrogeológica Tejada-Almirajara-Guájares (IGME, 1983; SGOP, 1991). La recarga se produce a través de las precipitaciones y la descarga tiene lugar a través de manantiales y de algunos sondeos. Actualmente, la Cueva está situada en la zona no saturada del acuífero, por encima del nivel piezométrico pero durante el Plioceno, fue probablemente el principal punto de descarga del acuífero. En la actualidad, la descarga natural más próxima tiene lugar a través del manantial de Maro (120 m.s.n.m.), situado a menos de 1 Km al Este de la Cueva y con un caudal medio de 300 l/s.

En este trabajo se pretende mostrar la evolución temporal del quimismo de las aguas recogidas en el interior y en el exterior de la Cueva de Nerja. A partir del estudio de estos datos hidroquímicos, junto a los datos hidrodinámicos, se tratará de establecer el funcionamiento de la zona no saturada del acuífero en el que se encuentra la Cueva.

## 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Desde Marzo de 1991 hasta Diciembre de 1998 se ha realizado un muestreo sistemático en dos puntos de agua, uno situado en el interior de la Cueva de Nerja y otro en el exterior. Las aguas recogidas en el exterior de la cavidad corresponden al agua de lluvia de la estación meteorológica de la Cueva. Las aguas recogidas en el interior corresponden a un gotero situado en la parte visitable de la cavidad (Rincón del Órgano). La periodicidad

de muestreo en el interior de la Cueva ha variado a lo largo del período de estudio: ha sido mensual desde el año 91 hasta Diciembre de 1993, quincenal desde Enero de 1994 hasta Octubre de 1995 y semanal a partir de Noviembre de 1995. Al mismo tiempo que se recogían las muestras se midieron, in situ, la conductividad eléctrica, la temperatura y el pH del agua. En total se han recogido 214 muestras de agua subterránea y 174 muestras de agua de lluvia.

Se ha medido diariamente la cantidad de precipitación registrada en la estación meteorológica de la Cueva de Nerja y el caudal de goteo en el Rincón del Órgano.

Las muestras de agua recogidas han sido analizadas posteriormente en el laboratorio, para determinar los componentes químicos mayoritarios:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , T.A.C.,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SiO}_2$ . Mediante el programa AQUA se ha calculado la presión parcial equilibrante de  $\text{CO}_2$  ( $P_{\text{CO}_2}$ ) y los índices de saturación en calcita y dolomita (dpH e IsDol).

### 3. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN

#### 3.1. Pluviometría

La precipitación media del área de estudio es de unos 490 mm/año (Fig. 1A), calculada a partir de una serie temporal de 23 años (Andreo y Carrasco, 1993a). Durante el período de investigación, las precipitaciones registradas han estado comprendidas entre 773 mm (año hidrológico 96/97) y 145 mm (año 94/95). Los años hidrológicos 91/92, 92/93, 93/94 y 94/95 han sido secos, con precipitaciones anuales inferiores a 350 mm, mientras que los años 95/96, 96/97 y 97/98 pueden considerarse húmedos, con precipitaciones superiores a 500 mm.

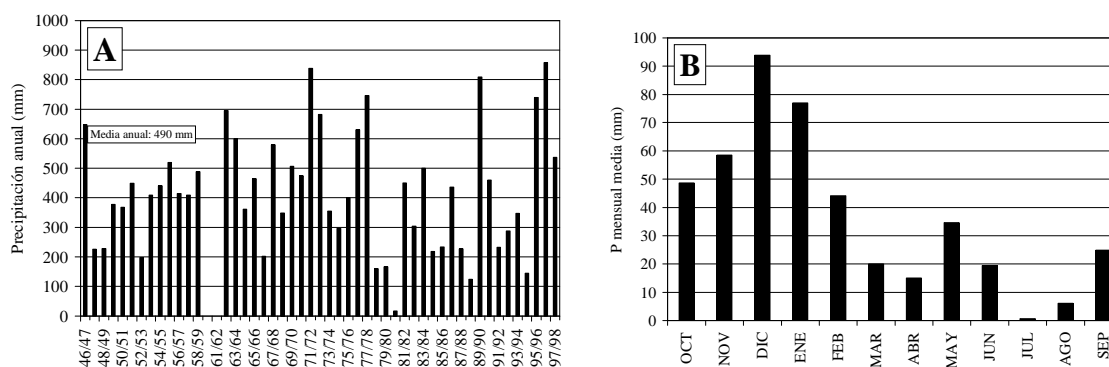


Fig. 1. (A) Precipitaciones anuales correspondientes al período 1946-1998. (B) Precipitaciones mensuales medias correspondientes al período 1991-1998.

En general, la distribución de las precipitaciones a lo largo del año hidrológico (Fig. 1B) sigue una tendencia descendente, con un máximo en los meses de Noviembre a Enero y un mínimo en los meses de verano (Andreo y Carrasco, 1993a).

Durante el período investigado, las mayores precipitaciones se registraron en Diciembre de 1995, Enero y Mayo de 1996, Enero, Noviembre y Diciembre de 1997 y Febrero de 1998.

### 3.2. Composición química

La facies hidroquímica del agua de lluvia es muy variable (Fig. 2). Los contenidos químicos medios de las muestras recogidas, ponderados con respecto a la cantidad de precipitación, quedan recogidos en la siguiente tabla.

	C ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	$\text{Mg}^{2+}$ (mg/l)	$\text{Na}^+$ (mg/l)	$\text{K}^+$ (mg/l)	$\text{Cl}^-$ (mg/l)	TAC (mg/l)	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)	$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	$\text{SiO}_2$ (mg/l)
n	158	98	97	170	174	147	105	71	102	77
max	443	37,70	16,90	38,80	49,20	61,06	137,90	90,53	38,25	96,60
min	12	0,48	0,00	0,30	0,00	1,56	2,44	0,00	0,00	0,00
med.p	63	3,31	2,40	2,53	1,24	8,00	18,24	10,77	0,66	1,32
v	91	130,57	82,21	126,72	221,71	86,71	95,76	120,09	274,70	387,51

Tabla. 1. Parámetros estadísticos de los componentes químicos mayoritarios del agua de precipitación.

La variabilidad hidroquímica es muy alta, según indican los altos coeficientes de variación obtenidos para todos los componentes químicos analizados (mayores al 80%).

La conductividad eléctrica varía entre 12 y 443  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un valor medio ponderado de 63  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Se observa que los mayores valores de conductividad corresponden a lluvias caídas durante el período estival, generalmente poco cuantiosas, mientras que las lluvias menos mineralizadas corresponden a las registradas durante períodos de abundante pluviometría. (Fig. 3).

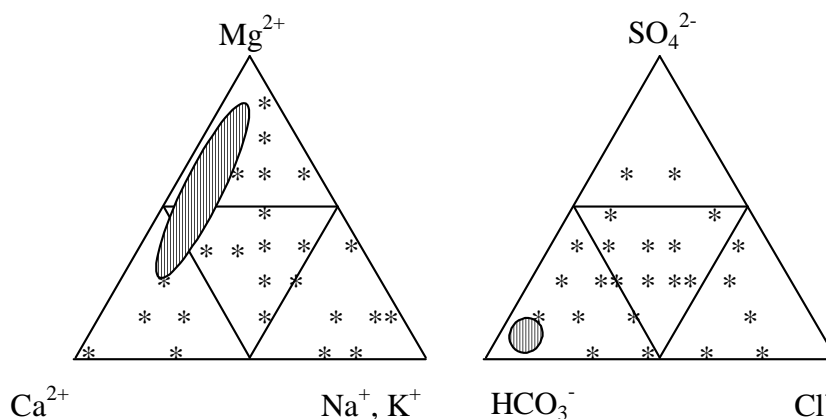


Fig. 2. Diagrama de Piper simplificado correspondiente a las muestras de agua de lluvia y de agua de goteo recogidas durante el período de investigación. Los asteriscos corresponden al agua de lluvia, el tramado corresponde al agua de goteo.

Desde el punto de vista hidroquímico, la característica más señalada de las aguas de precipitación es la aparición de contenidos muy elevados en  $\text{K}^+$ , que suelen ir acompañados de altos contenidos en  $\text{Cl}^-$  y aumentos en el valor de la conductividad (Fig. 3). Ocasionalmente, el aumento en  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y conductividad va acompañado de un aumento en el contenido en  $\text{Na}^+$ . El contenido medio ponderado en  $\text{K}^+$  es, para el período de estudio,

de 1,2 mg/l, apareciendo picos de  $K^+$  comprendidos entre 9,3 mg/l y 49,2 mg/l. Estos altos contenidos suelen corresponder a lluvias de escasa cuantía, generalmente entre 0,2 y 5 mm.

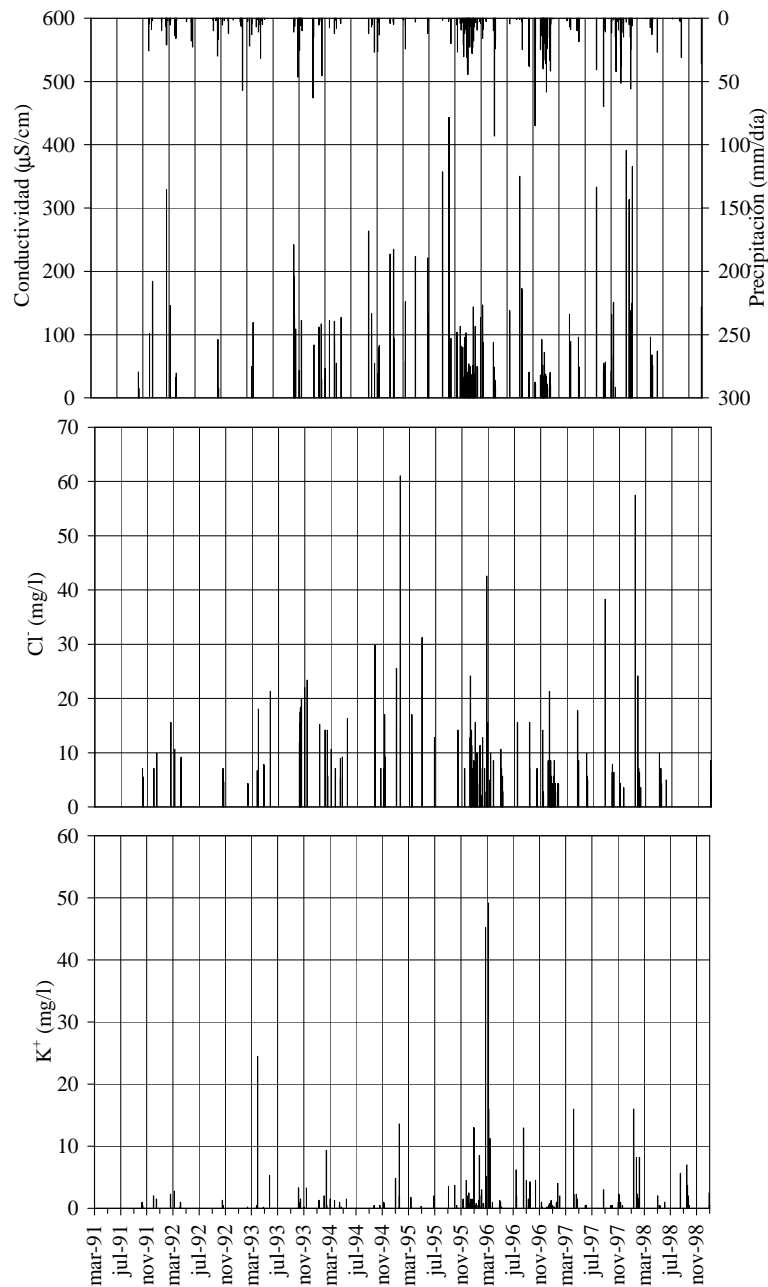


Fig. 3. Evolución temporal de la conductividad, contenido en  $Cl^-$  y contenido en  $K^+$  de las aguas de precipitación.

#### 4. ANÁLISIS DE LAS AGUAS DE GOTEO

##### 4.1. Caudal de goteo

Durante el período de investigación, los caudales de goteo medidos en el gotero del Rincón del Órgano han estado comprendidos entre 0 y 610  $cm^3/día$ , con un valor medio de 89  $cm^3/día$ .

La coincidencia existente entre la evolución temporal del caudal de goteo y la del régimen de visitabilidad de la Cueva, llevaron a pensar en la posibilidad de que las aguas de goteo procedían, al menos en parte, de la condensación del vapor de agua producido por la respiración de los visitantes, especialmente en verano, cuando la humedad relativa en el interior de la Cueva alcanza valores próximos al 100%. Sin embargo, las aguas de goteo del interior de la Cueva presentan un grado medio de mineralización del agua, contenidos anómalos en  $K^+$  y  $Cl^-$  (componentes típicos de origen meteórico) y contenidos isotópicos propios de aguas meteóricas (Reyes *et al.*, 1994). Los datos experimentales (ausencia de condensación sobre placas metálicas colocadas en el interior de la Cueva) refuerzan aún más esta idea.

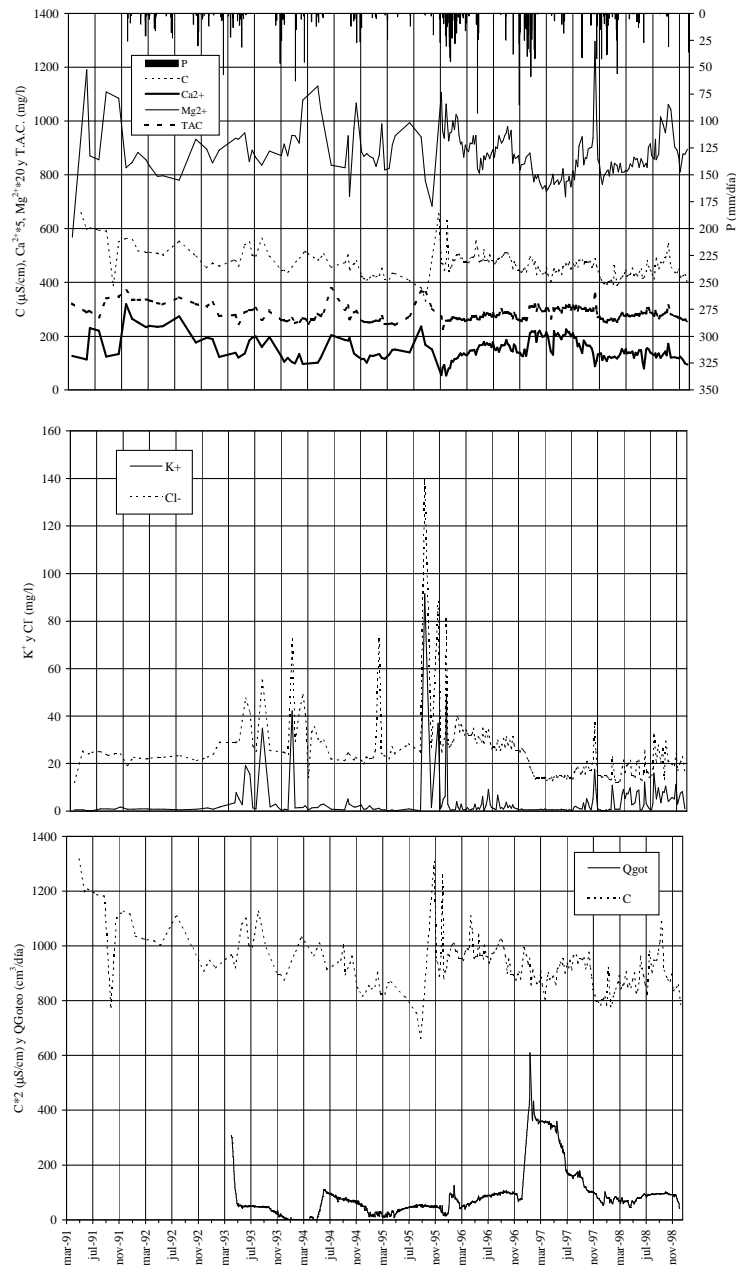


Fig. 4. Evolución temporal de la conductividad, del caudal de goteo y de los contenidos en  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y T.A.C. del agua recogida en el gotero del Rincón del Órgano.

La evolución temporal del caudal de goteo presenta una forma ondulante, con valores máximos durante los meses de verano y valores mínimos en invierno (Fig. 4). Por lo tanto, de acuerdo con la distribución de precipitaciones comentada anteriormente, existe un desfase desde que el agua de lluvia entra en el acuífero hasta que aparece en el interior de la Cueva. Esta tendencia es constante a lo largo de todo el período investigado, tanto en años húmedos como en años secos, si bien en estos últimos está más amortiguada. Además de esta tendencia, en épocas en las que la recarga es importante (en magnitud o en intensidad), se produce un claro y rápido aumento del caudal de goteo en el interior de la Cueva, cuya magnitud va a depender del estado hidrodinámico previo de la zona no saturada situada por encima de la Cueva, es decir, de la mayor o menor cantidad de agua almacenada en el epikarst antes de producirse la precipitación.

#### 4.2. Hidroquímica

Las aguas recogidas en el gotero del Rincón del Órgano son de facies bicarbonatada magnésico-cálcica (Fig. 2), (Andreo y Carrasco, 1993b, Carrasco *et al.*, 1995). Su conductividad varía entre 658 y 331  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un valor medio para el período de estudio de 468  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Están sobresaturadas en calcita ( $\text{dpH}=0,59$ ) y dolomita ( $\text{IsDol}=1,55$ ) y tienen una presión parcial de  $\text{CO}_2$  próxima a la atmosférica (0,15%). Los contenidos medios en los componentes químicos mayoritarios se recogen en la tabla 2.

	pH	T <sup>a</sup> (°C)	C ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	TAC (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	B.I. (%)	P <sub>CO2</sub> (%)	IsDol	dpH
n	212	173	205	207	206	214	214	211	209	193	157	143	197	199	197	198
max	8,82	21,00	658	64,00	64,83	23,30	91,50	382,00	139,16	59,26	17,10	40,96	14,10	1,27	2,42	1,14
min	7,30	16,70	331	10,72	28,40	0,40	0,20	229,60	12,07	0,82	0,00	0,00	-75,43	0,03	-0,15	-0,25
med	8,27	19,13	468	30,73	44,01	9,62	3,63	284,16	25,02	17,26	3,08	9,12	-0,87	0,15	1,55	0,59
v (%)	2,55	4,14	10	28,14	10,16	33,00	238,00	9,34	53,65	53,09	107,22	48,22	-796,96	74,08	30,92	37,27

Tabla. 2. Parámetros estadísticos de los componentes químicos mayoritarios del agua de goteo recogida en el Rincón del Órgano.

En la evolución temporal de la conductividad, a escala plurianual, se observan dos períodos (antes y después de finales del año 95) en los que la conductividad va disminuyendo progresivamente, a la vez que disminuyen los contenidos en Ca<sup>2+</sup> y T.A.C. (Fig. 4). La aparición de esta tendencia parece estar relacionada con la cantidad de precipitación registrada, de manera que en períodos pluviométricos secos se produce menor disolución de la roca, el agua tiene menos componentes químicos disueltos y la conductividad eléctrica disminuye.

A escala anual, se observa que la composición química del agua de goteo está condicionada, fundamentalmente, por los contenidos en Ca<sup>2+</sup> y T.A.C. y, en menor medida, por los contenidos en K<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>. Además, se observa que la evolución temporal de la conductividad coincide con la del caudal de goteo (Fig. 4), de manera que las aguas con mayor conductividad corresponden a las de los meses de verano y las aguas menos mineralizadas corresponden a los meses de invierno.

A su vez, los contenidos en Ca<sup>2+</sup> y T.A.C. están condicionados por el grado de saturación en calcita y dolomita del agua de goteo. Así, aunque durante todo el año las aguas de goteo están sobresaturadas en calcita y dolomita (Fig. 5), en los meses de verano,

al aumentar la  $P_{CO_2}$ , las aguas de goteo están menos sobresaturadas que en invierno (tienen menores índices de saturación en calcita y dolomita).

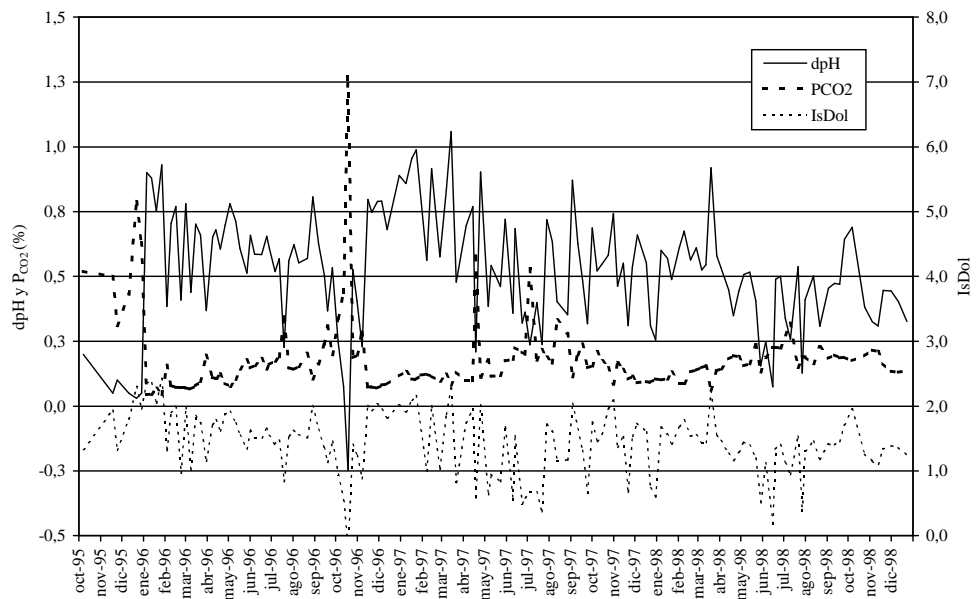


Fig. 5. Evolución temporal de los parámetros calcocarbónicos del agua de goteo durante el período 1995-1998.

Es decir, en verano, las aguas recogidas en el interior de la Cueva están menos sobresaturadas en calcita y dolomita, de manera que se produce menor precipitación de carbonato cálcico, aumentando los contenidos en  $Ca^{2+}$  y T.A.C. y, por tanto, la conductividad eléctrica. Por el contrario, en invierno, las aguas de goteo son menos mineralizadas porque están más sobresaturadas, de manera que se produce mayor precipitación de carbonato cálcico, disminuyendo así los contenidos en  $Ca^{2+}$  y T.A.C. y la conductividad y aumentando de manera relativa el contenido en  $Mg^{2+}$ .

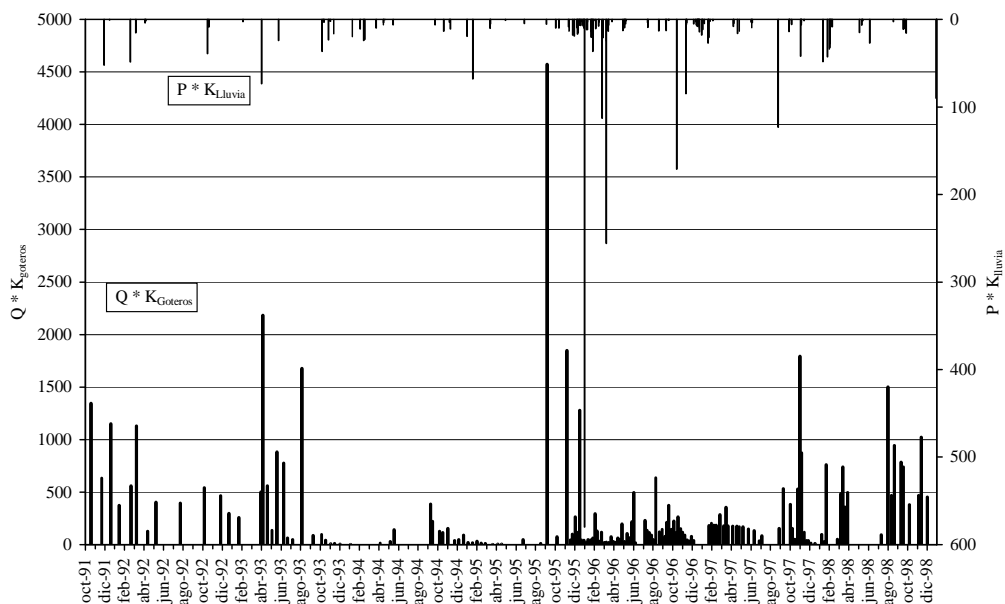


Fig. 6. Flujos de entrada y de salida de  $K^+$  en la Cueva de Nerja



Al igual que sucede en el agua de precipitación, esporádicamente se registran en el gotero contenidos anómalamente altos en  $K^+$  y  $Cl^-$ . En este caso, los contenidos medios en  $K^+$  y  $Cl^-$  son 3.63 y 25.02 mg/l, apareciendo contenidos en  $K^+$  de hasta 92 mg/l y en  $Cl^-$  de hasta 139 mg/l. Analizando los flujos de entrada y de salida de  $K^+$  (Fig. 6) se puede intentar establecer el tiempo de tránsito desde que el agua de lluvia cae en la superficie hasta que llega al interior de la cavidad. Así, el tiempo de tránsito calculado varía entre 5 a 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 siga ésta a través de las fisuras de los mármoles.

## 5. CONCLUSIONES

Desde el año 1991 hasta el 1998 se ha realizado un control sistemático de las aguas de precipitación caídas sobre la Cueva de Nerja y de las aguas de goteo existentes en el interior de dicha cavidad. Se ha medido diariamente la cantidad de precipitación en una estación meteorológica situada en las inmediaciones de la Cueva y el caudal de goteo en un gotero situado en la parte visitable del interior de la cavidad, que se considera representativo de todo el conjunto. Se han recogido muestras de agua de lluvia y de agua de goteo para estudiar su composición química y las variaciones temporales de la misma.

En el período estudiado se reconocen, desde el punto de vista pluviométrico, dos períodos: un período seco (desde el año hidrológico 91/92 hasta el 94/95), con precipitaciones anuales inferiores a 350 mm y un período húmedo (desde el año hidrológico 95/96 hasta el 97/98), con precipitaciones anuales superiores a 500 mm.

Las lluvias recogidas presentan una conductividad media ponderada de 63  $\mu S/cm$  y una alta variabilidad hidroquímica. Su característica química más señalada es la aparición de contenidos muy elevados en  $K^+$  (entre 9,3 mg/l y 49,2 mg/l), generalmente en lluvias de escasa entidad, que después se registran en el gotero del interior de la Cueva.

Los caudales de goteo medidos en el Rincón del Órgano varían entre 0 y 610  $cm^3/día$ , con un valor medio de 89  $cm^3/día$ . Su evolución temporal, con valores máximos durante los meses de primavera y verano y valores mínimos en otoño e invierno, pone de manifiesto la existencia de un desfase desde que el agua de lluvia entra en el acuífero hasta que sale por el interior de la Cueva.

Desde el punto de vista hidroquímico, las aguas de goteo tienen una conductividad media de 468  $\mu S/cm$  y son de facies bicarbonatada magnésico-cálcica. La conductividad del agua está determinada fundamentalmente por los contenidos en  $Ca^{2+}$  y T.A.C. y, en menor medida, por los contenidos en  $K^+$  y  $Cl^-$ . A escala anual, la evolución temporal de la conductividad está condicionada por el grado de saturación en calcita y dolomita del agua de goteo, de manera que en invierno, cuando las aguas están más sobresaturadas, se produce mayor precipitación de carbonato cálcico y la conductividad del agua disminuye mientras que, en verano, las aguas están menos sobresaturadas de manera que se produce menor precipitación de carbonato cálcico y la conductividad del agua aumenta.

Al igual que sucedía en el agua de lluvia, aparecen contenidos en  $K^+$  y  $Cl^-$  anómalamente elevados (hasta 92 y 139 mg/l), que pueden ser utilizados como trazadores, para estimar el tiempo de tránsito del agua de lluvia desde que entra en el acuífero hasta

que se registra en los goteros del interior de la Cueva. El valor de este tiempo de tránsito depende del estado hídrico de la zona no saturada situada por encima de la Cueva; es inferior a un mes en el caso de períodos en el que las precipitaciones son muy abundantes y continuas y varía entre 5 y 8 meses en el caso de precipitaciones más escasas y espaciadas temporalmente.

#### Agradecimientos

Al Patronato de la Cueva de Nerja y al Grupo de Investigación nº 4021 (Recursos Hídricos) de la Junta de Andalucía, por la subvención proporcionada para la realización de este trabajo.

#### REFERENCIAS

Andreo B., Carrasco F. y Sanz de Galdeano C. (1993): *Estudio geológico del entorno de la Cueva de Nerja*. En: Carrasco F. (ed) *Geología de la Cueva de Nerja*. Trabajos sobre la Cueva de Nerja, 3: 25-50.

Andreo B. y Carrasco F. (1993a): *Estudio hidrogeológico del entorno de la Cueva de Nerja*. En: Carrasco F. (ed) *Geología de la Cueva de Nerja*. Trabajos sobre la Cueva de Nerja, 3: 163-187.

Andreo B. y Carrasco F. (1993b): *Estudio geoquímico de las aguas de infiltración de la Cueva de Nerja*. En: Carrasco F. (ed) *Geología de la Cueva de Nerja*. Trabajos sobre la Cueva de Nerja, 3: 299-328.

Carrasco F. y Andreo B. (1993): Características de las aguas de infiltración de la Cueva de Nerja (Málaga). *Geogaceta*, 14: 9-12.

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

IGME (1983): *Sistema Acuífero nº 41, calizas y dolomías triásicas de la Sierra Almirajara-Sierra de Lújar*. Informe técnico nº 10. Memoria y anejos.

Reyes E., Caballero E., Jiménez de Cisneros C., Delgado A., Mirasol M.D. y Núñez R. (1994): *Estudio isotópico de las aguas de infiltración de la Cueva de Nerja*, 26 p.

Sanz de Galdeano C. (1986): Structure et stratigraphie du secteur oriental de la Sierra Almirajara (Zone Alpujarride, Cordillères Bétiques). *Estudios Geol.*, 42: 281-289.

Sanz de Galdeano C. (1993): *La fracturación en el entorno de la Cueva de Nerja*. En: Carrasco F. (ed) *Geología de la Cueva de Nerja*. Trabajos sobre la Cueva de Nerja, 3: 95-114.

S.E.M. (1985): *La Cueva de Nerja*. Sociedad grupo de espeleólogos granadinos, 87 p.

SGOP (1991): *Estudio hidrogeológico de las Sierras Tejeda, Almirajara y Guájares (Málaga y Granada)*. Servicio Geológico de Obras Públicas. 2 tomos y anejos.

