

# Características geoquímicas de las aguas de infiltración de la Cueva de Nerja (Málaga)

## Geochemical characteristics of the infiltration water in the Nerja Cave (Malaga)

F. Carrasco-Cantos y B. Andreo-Navarro

Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. 29071 Málaga

### ABSTRACT

152 water samples have been collected in three sites of the Nerja Cave aquifer system: (a) inside the cave, (b) in a nearby pumping well, and (c) in the Maro spring which is the aquifer's main discharge point. The analytical results have allowed us the physico-chemical characterization of the water samples as well as to assess differences between water families according to their origin.

**Key words:** hydrochemistry, infiltration, Nerja Cave.

*Geogaceta*, 14 (1993), 9-12

ISSN: 0213683X

### Introducción

La Cueva de Nerja está situada al Este de la localidad del mismo nombre, en el extremo oriental de la provincia de Málaga, cerca del límite con la de Granada (Fig. 1). Desde el punto de vista geológico está enclavada en los mármoles que constituyen el borde Sur de la Unidad de Alpujarra (Sanz de Galdeano, 1986), perteneciente al complejo Alpujárride de la Cordillera Bética. Dichos mármoles tienen carácter acuífero, debido al alto grado de fisuración y diaclasado que presentan, fundamentalmente según la dirección NNW-SSE, que es precisamente la orientación de la Cueva. Es por ello por lo que forman parte de la Subunidad Hidrogeológica de Las Alberquillas, incluida en la Unidad Hidrogeológica Tejada - Alpujarra - Guájares (ITGE, 1983).

La Cueva de Nerja, que en su día debió constituir el principal punto de descarga de la Subunidad de Las Alberquillas, actualmente está "colgada" por encima de la zona saturada, debido a los levantamientos tectónicos sufridos por este borde de Sierra Alpujarra. Las partes más bajas de la Cueva se encuentran, aproximadamente, unos 5-10 m por encima de la zona saturada.

La cavidad presenta un desarrollo espeleológico total próximo a los 5 km, de los cuales, aproximadamente, la tercera parte es visitable, y ocupa un volumen del orden de 850.000 m<sup>3</sup> (S.E.M., 1985). Constituye, por tanto, un lugar privilegiado para el estudio de la infil-

tración, dada su accesibilidad, aunque lógicamente, puede ser poco representativo a escala de todo el afloramiento de la Subunidad de Las Alberquillas y, además, está afectada por fenómenos locales.

### Objetivos

Con el presente trabajo se pretende, por una parte, dar a conocer nuevos datos sobre las características físico-químicas de las aguas de infiltración recogidas en diez puntos del interior de la Cueva, tanto de la parte visitable como de la no visitable, desde Mayo de 1991 hasta Mayo de 1992. En un trabajo previo, Romero *et al.* (1991) realizaron un

estudio microbiológico y químico, fundamentalmente a partir de muestras tomadas en la parte visitable. Por otra parte, se trata de diferenciar estas aguas de la zona no saturada, de aquellas otras procedentes de la zona saturada, tomadas en el manantial de Maro y en el sondeo que abastece las instalaciones de la Cueva, durante el mismo intervalo de tiempo.

### Los caudales de goteo

En general son muy bajos en toda la Cueva, pues varían entre los 0'38 cm<sup>3</sup>/minuto y 1'63 cm<sup>3</sup>/min, con un valor medio de 0'95 cm<sup>3</sup>/min. Ello se debe a que las diaclasas de los mármoles su-

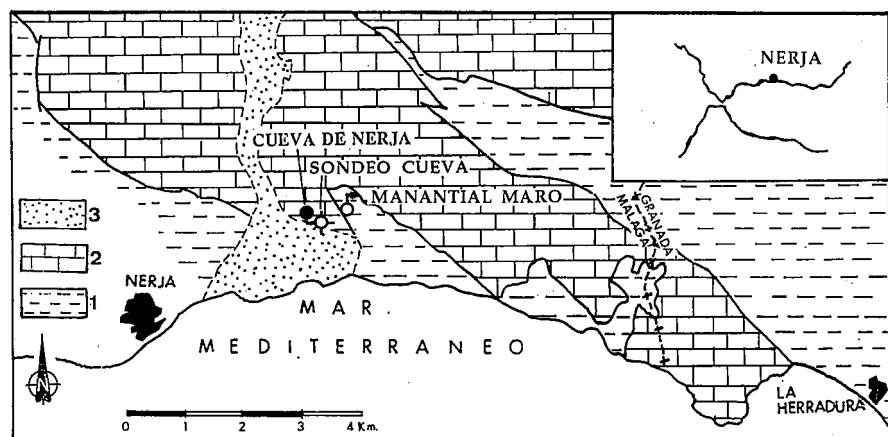


Fig. 1.— Localización geográfica y geológica de la Cueva de Nerja. Leyenda: 1 = metapelitas alpujárrides, 2 = mármoles alpujárrides, 3 = materiales neógeno-cuaternarios.

Fig. 1.— Geographical and geological location of the Nerja Cave. Key: 1 = alpujarride metapelites, 2 = alpujarride marbles, 3 = neogene-quaternary materials.

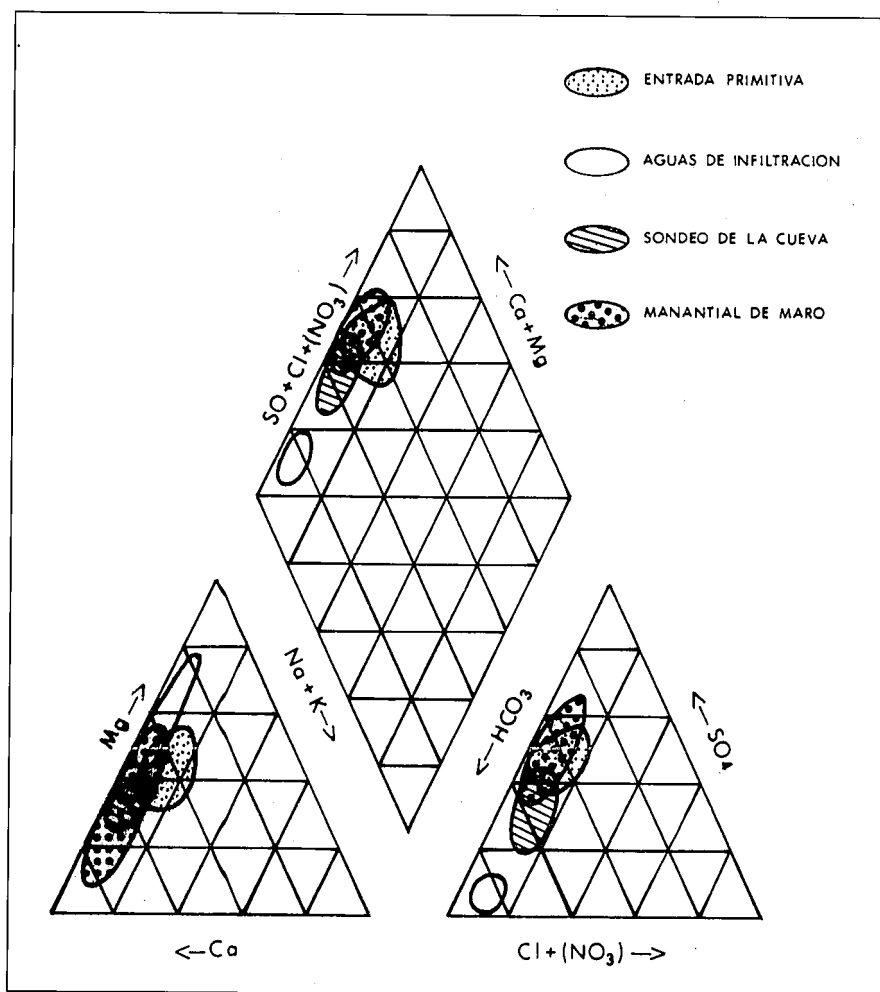


Fig. 2.— Diagrama de Piper que muestra las facies hidroquímicas de las distintas clases de aguas analizadas.

Fig. 2.— Piper diagram showing the different hydrochemical facies of the analysed samples.

prayerentes están, en buena parte, obstruidas por la precipitación de carbonato cálcico y/o sedimentos arcillosos, tal y como se puede apreciar en numerosos puntos de las galerías no visitables. Mientras tanto, el manantial de Maro, principal punto de descarga natural de la Subunidad de Las Alberquillas, presenta un caudal medio del orden de los 168 l/s. Ello pone de manifiesto que la alimentación a la zona saturada se realiza desde otros puntos del vasto afloramiento marmóreo que constituye Sierra Almirajara. Es decir, la Cueva es un punto de drenaje antiguo, hoy situado por encima del manantial de Maro, prácticamente inactivo, no funcional.

**Características físico-químicas de las aguas analizadas**

En la tabla 1 se muestran los valores medios de los parámetros analizados y

en la figura 2 una representación gráfica de los mismos (diagrama de Piper).

La mayor parte de las aguas de goteo son de facies bicarbonatada magnésico-cálcica, probablemente, debido a una doble causa: en primer lugar, a la naturaleza dolomítica de los mármoles por los que circulan y, en segundo lugar, a que parte del calcio puede precipitar como carbonato cálcico (espeleotema) antes de recoger la muestra.

Las aguas procedentes de la zona saturada del acuífero tomadas en el sondeo de la Cueva son de facies bicarbonatada cálcica, mientras que las del manantial de Maro varían entre bicarbonatada y sulfatada cálcico-magnésica.

Hay un gotero ubicado próximo a la entrada (Entrada Primitiva), cuyas aguas presentan una facies mixta entre bicarbonatada y sulfatada cálcico-magnésica. Ello se debe a que proceden del sondeo de la Cueva y son utilizadas para regar el jardín antes de caer en el inte-

rior. Nótese que en el diagrama de Piper (Fig. 2) las muestras del sondeo de la Cueva ocupan una posición intermedia entre las de la Entrada Primitiva y el resto de las aguas de infiltración.

**Las distintas clases de agua**

Se ha utilizado el Análisis de Componentes Principales (ACP), para agrupar las aguas que presentan caracteres químicos comparables, posibilitando así su clasificación y relación con las formaciones geológicas. El ACP se efectuó con todos los datos disponibles, tanto de la zona saturada como de la no saturada. La matriz de correlación se recoge en la tabla 2, donde puede apreciarse que  $Cl^-$  y  $Na^+$  se correlacionan muy bien entre sí, lo cual quiere decir que ambos proceden de la reconcentración del agua de lluvia a nivel del epikarst (Schoeller, 1962; Bakalowicz, 1979). Además, tanto  $Cl^-$  como  $Na^+$ , presentan una buena correlación con los  $SO_4=$  ( $r = 0'7$ ), algo menor con los  $NO_3^-$  ( $r = 0'4$ ), lo que pone de manifiesto que las concentraciones de estos iones obedecen, al menos en parte, al mismo origen. El  $Mg^{2+}$  presenta también una cierta correlación con los componentes meteóricos ( $Cl^- = 0'5$  y  $Na^+ \sim 0'5$ ), puesto que es un ión característico de los flujos lentos que se producen en el epikarst de la Cueva y con la TAC ( $r \sim 0'5$ ), como es lógico esperar, dada la naturaleza dolomítica de los mármoles acuíferos. Las correlaciones del  $Ca^{2+}$ , con los  $SO_4=$  y la  $SiO_2$  ( $r = 0'8$  y  $0'7$ , respectivamente), sugieren la existencia de evaporitas (probablemente yesos) en medio de la serie carbonatada, así como de silicatos cálcicos (tremolita, fundamentalmente) en la composición mineralógica de los mármoles.

El ACP realizado da cuenta del 70% de la varianza muestral, concretamente el 60% es explicado por los dos primeros factores. La representación de las variables en el plano I-II indica que el factor I está dominado por la mineralización (conductividad), los componentes de origen meteórico ( $Cl^-$  y  $Na^+$ , esencialmente) y otros procedentes de la disolución de los materiales acuíferos ( $Ca^{2+}$  y  $SO_4=$ ). El factor II está claramente condicionado por el índice de saturación en calcita (dpH) y la presión parcial equilibrante de  $CO_2$  ( $pCO_2$ ).

En el campo de las unidades estadísticas (muestras tomadas) pueden distinguirse tres grupos fundamentales de

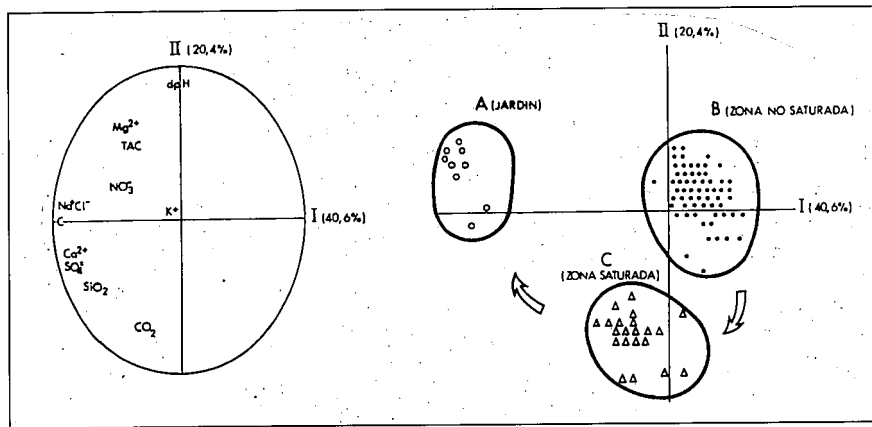


Fig. 3.— Representación de las variables y de todas las muestras analizadas en el plano factorial I-II del ACP realizado.

Fig. 3.— Plot of the variables and the data set in the I-II factor plane of the performed PCA.

agua (Fig. 3), puestos de manifiesto por el diagrama de Piper (Fig. 2):

A) Aguas de infiltración recogidas en el gotero de la Entrada Primitiva, son las más mineralizadas de todas (mayores contenidos en todos los componentes químicos analizados), puesto que realmente son aguas del sondeo de la Cueva, utilizadas para regar el jardín y luego gotean en el interior de la Caverna.

B) Aguas de infiltración sensu stricto, correspondientes al resto de los goteros de la Cueva. Presentan la mineralización más baja de todas, están siempre sobresaturadas en calcita y presentan

una  $pCO_2$  más próxima a la atmosférica. Se trata de aguas procedentes de la lluvia, que han sufrido una infiltración lenta, y difásica (agua y  $CO_2$ ), a través de las fisuras de los mármoles. Ello posibilita, de una parte, la reconcentración de los componentes químicos meteoríticos y, de otra, la disolución de los mármoles acuíferos, hasta el punto de sobresaturarse en carbonato cálcico que luego precipita (espeleotemas).

C) Aguas de la zona saturada, recogidas en el manantial de Maro y en el sondeo de la Cueva. Son más mineralizadas y presentan una  $pCO_2$  más elevada que las del grupo B, puesto que están asociadas a flujos más largos y profundos.

Sin embargo, presentan un índice de saturación en calcita más próximo al equilibrio, como consecuencia de la homogeneización que deben sufrir, a nivel de la zona saturada, antes de salir del acuífero.

**Conclusiones**

El estudio geoquímico realizado ha permitido diferenciar y caracterizar varias clases de agua que se han reconocido en el entorno hidrogeológico de la Cueva de Nerja, dentro del acuífero de Las Alberquillas.

Las aguas propias de la zona no saturada son de facies bicarbonatada magnésico-cálcica, presentan un grado medio de mineralización, están siempre sobresaturadas en calcita y presentan una  $pCO_2$  próxima a la atmosférica. Todo ello se debe a que están asociadas a flujos lentos y de corto recorrido en la parte más superficial del acuífero (epikarst).

La zona saturada está drenada por aguas bicarbonatadas cálcicas (sondeo de la Cueva) y bicarbonatadas a sulfatadas cálcicas (manantial de Maro). La mineralización y la  $pCO_2$  que presentan son más elevadas que las propias de la zona no saturada. Sin embargo, tienen un índice de saturación en calcita próximo al equilibrio. Son aguas que proceden, tanto de la infiltración lenta como de la infiltración rápida, en la vertiente meridional de Sierra Almijara, siguiendo un recorrido más largo, que les per-

		pH	t(°C)	( $\mu S/cm$ )	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	TAC(mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	pCO <sub>2</sub> (%)	dpH	Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>
1	m	8,01	18,6	1185	126,0	67,9	8,1	29,7	64,4	365,8	273,6	14,9	14,5	0,29	0,95	1,1
	v(%)	1,0	5,6	5,0	14,5	7,6	29,7	6,8	5,4	12,0	4,8	17,7	11,0	21,0	14,4	18,6
2	m	8,41	19,3	494	39,0	41,7	7,3	6,3	25,8	291,8	15,5	4,4	8,2	0,11	0,85	0,58
	v(%)	1,5	2,6	10,3	25,8	6,4	18,9	117,0	16,9	10,0	16,7	45,5	15,6	45,8	9,6	29,8
3	m	7,66	19,2	689	99,5	25,1	7,7	2,5	25,2	198,6	195,7	0,8	13,9	0,41	0,31	2,8
	v(%)	2,2	3,4	12,7	17,2	46,0	31,8	30,2	15,9	6,7	25,0	100,7	16,4	36,1	77,2	39,0
4	m	7,26	21,2	659	79,1	28,9	10,8	2,4	33,5	279,9	85,0	11,0	11,4	1,40	0,03	1,8
	v(%)	0,8	4,5	8,5	5,1	26,9	25,7	54,3	25,6	11,5	16,2	50,1	13,3	20,1	234,5	25,5

Tabla 1.— Datos estadísticos de los parámetros físico-químicos y de los componentes químicos mayoritarios, correspondientes a los goteros de la Cueva y a los puntos de agua relacionados con el drenaje de la zona saturada. Leyenda: 1 = Entrada Primitiva, 2 = media de los valores medios obtenidos en 10 puntos del interior de la Cueva, 3 = manantial de Maro, 4 = sondeo de la Cueva; m = media aritmética, s = coeficiente de variación.

Table 1.— Statistical values of physico-chemical parameters and of the major chemical constituents of waters collected both inside the cave (seepage) and in points related to the drainage of the saturated zone. Key: 1 = Original Entrance, 2 = average of the mean values obtained in ten points inside the cave, 3 = Maro spring, 4 = well near the Cave; m = arithmetic mean, s = variation coefficient.

	T	C	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	TAC	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	dpH
T	1,000												
C	-0,167	1,000											
Ca <sup>2+</sup>	-0,038	0,844	1,000										
Mg <sup>2+</sup>	-0,153	0,456	0,145	1,000									
Na <sup>+</sup>	-0,024	0,811	0,662	0,497	1,000								
K <sup>+</sup>	0,039	0,020	0,012	0,041	0,083	1,000							
Cl <sup>-</sup>	0,003	0,801	0,633	0,531	0,965	0,167	1,000						
TAC	0,002	0,389	0,288	0,475	0,399	0,008	0,389	1,000					
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	-0,146	0,877	0,840	0,191	0,713	0,011	0,700	0,060	1,000				
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,052	0,438	0,252	0,472	0,422	-0,003	0,417	0,253	0,238	1,000			
SiO <sub>2</sub>	0,052	0,648	0,711	0,040	0,542	0,036	0,529	0,032	0,752	0,139	1,000		
CO <sub>2</sub>	0,407	0,273	0,401	-0,236	0,173	-0,053	0,150	-0,027	0,292	0,194	0,390	1,000	
dpH	-0,223	-0,005	-0,064	0,479	-,121	0,053	0,139	0,549	-0,226	0,141	-0,334	-0,703	1,000

Tabla 2.— Matriz de correlación del ACP realizado con todos los datos obtenidos.

Table 2.— Correlation matrix of the PCA from the overall data.

mite estar más tiempo en contacto con los mármoles acuíferos.

Finalmente hay un tipo de aguas que, aunque gotean en el interior de la cavidad, proceden del sondeo de la Cueva y presentan una facies mixta entre bicarbonatada y sulfatada cálcico-magnésica. De todas las analizadas son las de mayor mineralización, ya que presentan los contenidos más elevados en todos los componentes determinados. Como el resto de las aguas de infiltración están sobresaturadas en calcita y presentan una pCO<sub>2</sub> baja. Las características físico-químicas de estas aguas son una con-

secuencia de la combinación de los procesos descritos para los dos tipos anteriores.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado por el Patronato de la Cueva de Nerja.

#### Bibliografía

- Bakalowicz, M. (1979): Thèse Doct. Sci. Nat., Paris 6, Geol. Dyn., Labo. Sout. CNRS, 269 pp.  
I.T.G.E. (1983): Informe técnico nº 10 so-

bre el Sistema Acuífero nº 41 (calizas y dolomías triásicas de la sierra Almijara-Sierra de Lújar).

- Romero, P.; Borrego, J.J.; de Vicente, A.; Moriñigo, A.; Martínez-Manzanares, E.; Arrabal, F.; Florido, J.A.; Avilés, M.; Cornax, R.; Codina, J.C. y Arcos, M.L. (1991): Trabajos sobre la Cueva de Nerja, 2, 45-109.  
Sanz de Galdeano, C. (1986): Estudios Geol., 42, 281-289.  
Schoeller, H. (1962): Les eaux souterraines. Masson, 642 pp.  
Sociedad Excursionista de Málaga (1985): La Cueva de Nerja. Sociedad grupo de espeleólogos granadinos, 87 pp.