

# Caracterización hidrodinámica e hidroquímica del manantial de Maro (Sierra Almirajara, provincia de Málaga)

*Hydrodynamic and hydrochemical characterization of the Maro spring (Sierra Almirajara, province of Malaga)*

C. Liñán (\*), B. Andreo (\*\*) y F. Carrasco (\*\*)

(\*) Instituto de Investigación Cueva de Nerja. Carretera de Maro s/n. 29787-Nerja (Málaga).

(\*\*) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, s/n. 29071-Málaga.

## ABSTRACT

*The study of the hydrochemical and hydrodynamic data of the Maro spring, from 1995 to 1998, makes clear the typically karstic behaviour of the spring, with rapid and important increases in the outflow accompanied by generalised dilution phenomena, in response to the rapid infiltration of the rainfall. The higher piezometric elevation of the Maro spring, with regard to regional piezometric elevation in this sector of the carbonate aquifer, reveals its actual evolution state in the karstic system of Sierra Almirajara.*

**Key words:** hydrodynamic, hydrochemistry, karstic aquifer, Maro spring.

*Geogaceta*, 27 (1999), 95-98  
ISSN: 0213683X

## Introducción

El manantial de Maro, con un caudal medio histórico de unos 250 l/s, constituye uno de los principales puntos de descarga visible del borde meridional de Sierra Almirajara (Fig. 1). En este sector afloran materiales alpujárrides, cuya serie estratigráfica está formada por una sucesión metapelítica paleozoica sobre la que se dispone una sucesión carbonatada triásica (Andreo *et al.*, 1993). Discordantes sobre los materiales alpujárrides afloran sedimentos detríticos del Plio-Cuaternario.

La estructura geológica en el sector de la surgencia es relativamente sencilla, mostrando una geometría prácticamente tabular, buzante al sur unos 15-20°. Esta estructura ha sido afectada por importantes fallas de desgarre y/o normales, de dirección NO-SE, que constituyen el límite meridional del acuífero carbonatado y que han provocado movimientos verticales durante el Cuaternario. Los efectos de la neotectónica también quedan reflejados en el basculamiento existente en los materiales Pliocenos, así como en la ubicación actual (por encima del nivel piezométrico) de la cercana Cueva de Nerja, situada a unos 700 m de distancia al oeste del manantial.

La recarga del acuífero carbonatado de Sierra Almirajara se produce por infiltración del agua de lluvia y del agua de escorrentía que circula por los cauces

aluviales, mientras que la descarga tiene lugar, de forma visible, a través de manantiales y sondeos situados en su borde meridional y, subterráneamente, hacia los sedimentos Plio-Cuaternarios y hacia el mar.

Las cotas piezométricas descienden desde el NW hacia el SE y de N a S (Fig. 1), indicando que el flujo subterráneo regional se realiza hacia el mar (Ollero Robles *et al.*, 1988; SGOP, 1991; Fernández del Río *et al.*, 1992). En el contexto de este sistema general de flujo, es difícil justificar la posición de la surgencia de Maro, cuya cota (120 m.s.n.m.) es más elevada que las registradas en sectores más occidentales, como es el caso del Río Chillar. En el informe del SGOP (1991), se plantea la posible existencia de un sistema de flujo profundo, que alimentaría al manantial de Maro a través de una importante fractura, y que explicaría su cota, así como su peculiar quimismo y la temperatura de sus aguas.

El presente trabajo pretende, a través del estudio de datos hidrodinámicos e hidroquímicos, caracterizar el comportamiento hidrogeológico del manantial de Maro y realizar una nueva interpretación del funcionamiento hidrogeológico en este sector del acuífero.

## Hidrograma del manantial

En la figura 2 se representa el hidrograma del manantial de Maro desde no-

viembre de 1995 hasta diciembre de 1998, elaborado a partir de datos de aforos periódicos realizados con micromolinetete.

En dicho período, los caudales varían entre 20 y 1600 l/s (este último dato, estimado), con un valor medio de 358 l/s. Como se observa en el hidrograma, se producen bruscos e importantes aumentos de caudal en Febrero, Junio y Noviembre del 96 y en Enero y Febrero del 98, en respuesta a los diferentes períodos lluviosos registrados previamente. La magnitud de las crecidas no sólo depende de la cantidad de precipitación caída, sino también de la intensidad de ésta. Este comportamiento hidrodinámico pone de manifiesto una infiltración rápida del agua de lluvia a través de una red de conductos kársticos.

## Hidroquímica

Las aguas drenadas por el manantial de Maro son de facies variable, desde bicarbonatada a sulfatada cálcico-magnésica. Los altos contenidos en sulfatos parecen estar relacionados con la existencia de evaporitas en la serie carbonatada alpujárride, ya que se observa una estrecha relación entre los contenidos en  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , principales condicionantes de la mineralización del agua. La temperatura media de surgencia es de 18.8°C, similar a la temperatura ambiente de la región (18,5°C). Los valores de  $\text{pCO}_2$  del agua (Tab. 1) son perfec-

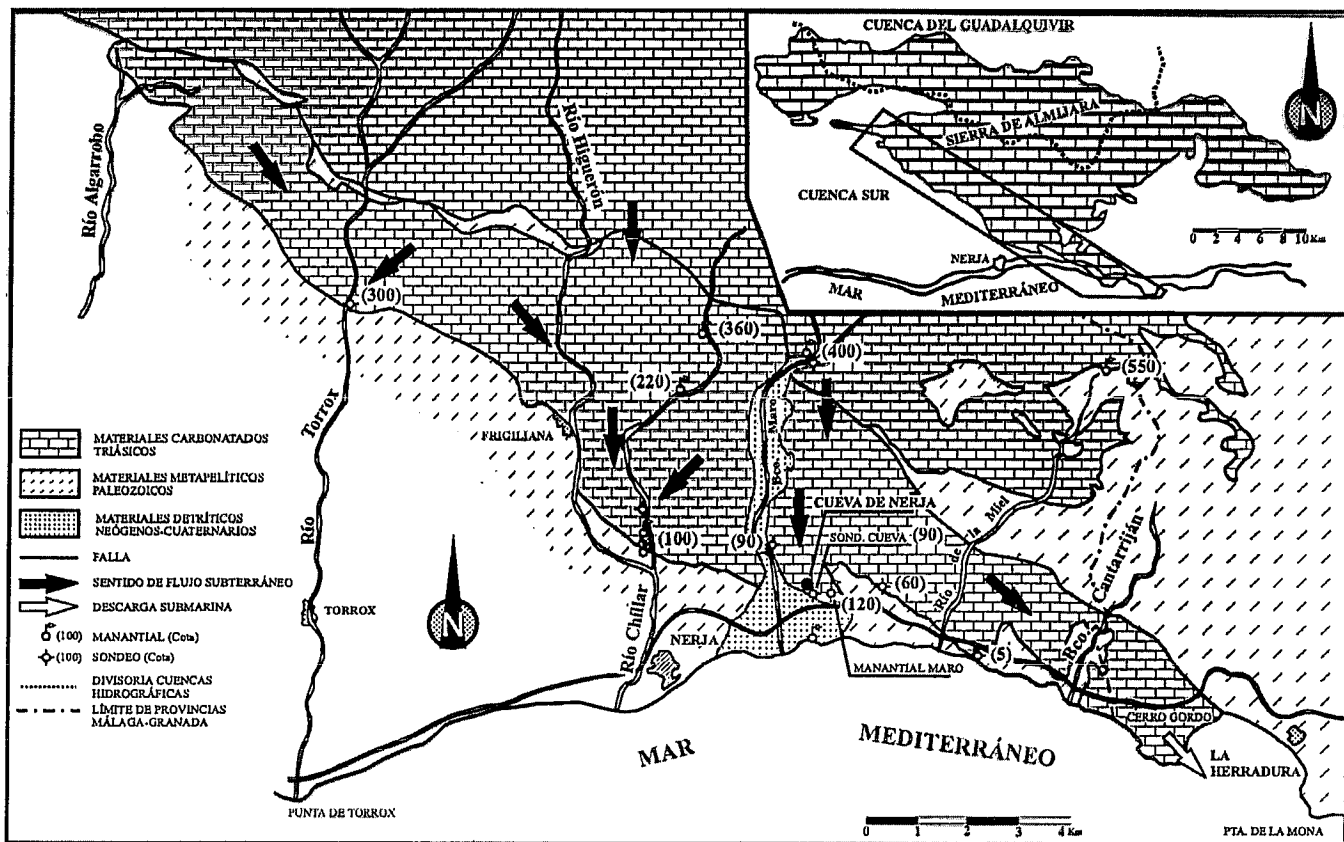


Figura 1.-Esquema geológico-hidrogeológico del área de estudio (modificado de SGOP, 1991).

Figure 1.- Geological-hydrogeological sketch of the study area (modified from SGOP, 1991).

tamente explicables por un origen biogénico, sin invocar un origen profundo. Además, los datos isotópicos previos <sup>18</sup>O y <sup>2</sup>H del agua (Caballero *et al.* 1996) y <sup>13</sup>C y <sup>18</sup>O de los travertinos asociados (Durán, 1996) tampoco justifican el pretendido termalismo del manantial de Maro. Todos los parámetros químicos presentan, por lo general, altos coeficientes de variación (Tab. 1).

Las curvas de frecuencia suelen ser plurimodales, lo que se traduce en un alto grado de karstificación funcional (Bakalowicz, 1979). En los diagramas de la figura 3 se pueden observar tres picos: el primero, con menor frecuencia y menores valores de conductividad eléctrica, Ca<sup>2+</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, correspondería a las aguas drenadas por el manantial durante los períodos de aguas altas; el tercer pico, con los mayores valores de conductividad eléctrica, Ca<sup>2+</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y la frecuencia más alta, correspondería a las aguas drenadas por la surgencia durante los períodos de aguas bajas; el segundo pico representa un estadio intermedio entre los dos anteriores.

La evolución temporal de algunos de los parámetros analizados pone de mani-

fiesto un importante efecto de dilución, especialmente marcado en la conductividad y los contenidos en Ca<sup>2+</sup> y en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, coincidiendo con el aumento del caudal de la surgencia (Fig. 2). Así, durante la crecida registrada en febrero del

96, la conductividad del agua pasó de 850 μS/cm a 396 μS/cm y el contenido en Ca<sup>2+</sup> disminuyó de 132 a 68 mg/l, por lo que casi la mitad del agua drenada por la surgencia en ese momento era agua de lluvia recién caída. En el resto de creci-

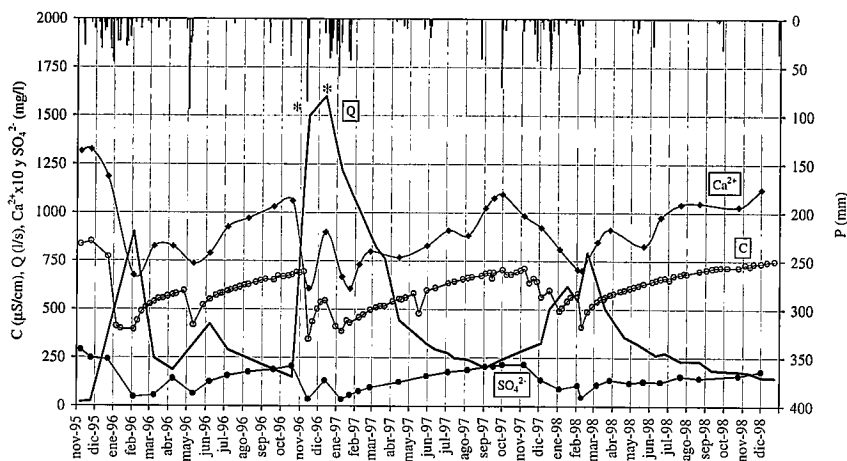


Figura 2.- Hidrograma del manantial de Maro y evolución temporal de la conductividad eléctrica y de los contenidos en Ca<sup>2+</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. (\*) Caudal estimado.

Figure 2.- Hydrograph of the Maro spring and temporal evolution of the electrical conductivity, Ca<sup>2+</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> contents. (\*) Estimated outflow.

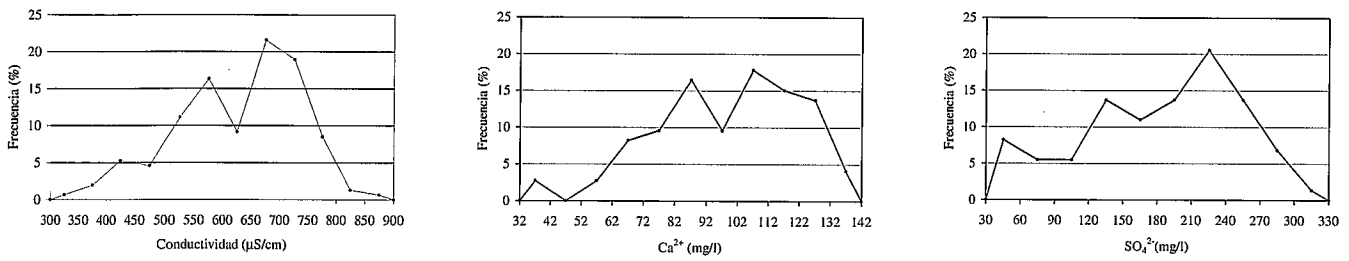


Figura 3.- Gráficos de frecuencias de algunos parámetros hidroquímicos controlados en el manantial de Maro.

Figure 3.- Frequency distribution of some hydrochemical parameters of Maro spring waters.

das, las disminuciones de conductividad eléctrica han variado entre 175 y 350 µS/cm. Estos descensos de conductividad, bruscos, importantes y puntuales en el tiempo, son indicativos de una infiltración rápida del agua de lluvia (Antigüedad, 1988).

La forma en la que se produce la recuperación de los valores de conductividad eléctrica hasta llegar a su valor medio es, también, indicativa de la modalidad de infiltración predominante (Antigüedad, 1988). En la figura 2 se observa una rápida recuperación inicial de la conductividad, porque la proporción de agua de lluvia mezclada con la de la zona saturada disminuye rápidamente. La infiltración retardada, menos importante, se manifiesta en una posterior y más lenta recuperación de los valores de conductividad y en una menor pendiente de la curva.

Por lo tanto, todos los datos indican que el manantial de Maro presenta un régimen de descarga típicamente kárstico, con bajo poder de regulación y escasa inercia, lo que está en consonancia con lo deducido a partir del hidrograma.

**Información procedente de los sondeos**

En el entorno más inmediato del manantial de Maro se han realizado dos son-

deos: uno, de 162 m de profundidad, con resultado negativo y el otro, de 65 m de profundidad, con el nivel piezométrico a la cota de la surgencia. Este último permitiría extraer caudales de bombeo del mismo orden de magnitud que los drenados por el manantial de manera natural. Estos datos, junto con el resultado negativo obtenido en otras cinco perforaciones realizadas en las proximidades, indican que el agua circula por unos conductos kársticos, aparentemente muy localizados, hasta llegar al manantial.

En el sondeo ubicado en las instalaciones de la Cueva de Nerja, el nivel piezométrico estático se encuentra a cota 90 m.s.n.m. (Fig. 1) y el dinámico a 40 m.s.n.m., para un bombeo de unos 2 l/s, mientras que más hacia el oeste (Río Chillar) hay sondeos en los que el nivel piezométrico se encuentra a cota 100 m.s.n.m. y apenas desciende con un caudal de bombeo de 100 l/s.

Por lo tanto, en este sector existen importantes variaciones en la piezometría y en los caudales de bombeo, que reflejan la existencia de grandes heterogeneidades de permeabilidad y, en definitiva, en la karstificación del acuífero. El manantial de Maro parece corresponder a un nivel de karstificación evolucionado, actualmente colgado por encima del nivel piezométrico

existente en esa zona del acuífero, como consecuencia del levantamiento tectónico sufrido por Sierra Almijara.

**Conclusiones**

El comportamiento hidrodinámico e hidroquímico del manantial de Maro frente a la precipitación (con importantes y bruscos aumentos de caudal acompañados de claros procesos de dilución) es típicamente kárstico, lo que se traduce en una infiltración rápida del agua de lluvia a través de una red jerarquizada de conductos. Las variaciones en la piezometría y en los caudales de bombeo de las perforaciones existentes indican una gran heterogeneidad en el grado de karstificación del acuífero carbonatado, según el sector que se considere.

La posición del manantial de Maro, colgado por encima del nivel piezométrico existente en ese sector, sería una consecuencia del levantamiento tectónico sufrido por Sierra Almijara y correspondería a un nivel superior de karstificación dentro del acuífero carbonatado.

**Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado por el Patronato de la Cueva de Nerja, a través del Proyecto «Estudio integral del karst de Nerja» y constituye una contribución a la Acción Integrada HI-1998-0251 y a los Proyectos PB97-CO3-CO2 y PB 98-1397 de la DGES.

**Referencias**

Andreo B., Carrasco F. y Sanz de Galdeano C. (1993): *Geología de la Cueva de Nerja*, 3: 25-50.  
 Antigüedad, I. (1988): *Rev. Soc. Geol. España*, 1 (1-2), 211-227.  
 Bakalowicz, M. (1979): *Thèse, Univ. P. et M. Curie*, Paris, 269 p.

	pH	C (µS/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)	dpH	IsDol	pCO <sub>2</sub> (%)	T <sup>o</sup> (°C)	Q (l/s)
n	65	92	38	38	38	38	38	38	39	36	36	38	38	39	88	38
max	8,07	850	132,4	36,5	20,9	2,3	265,7	40,5	290,1	1,4	79,6	0,8	1,3	0,8	19,6	1600*
min	7,15	346	60,6	3,7	3,6	0,6	166,9	9,2	34,2	0,0	2,4	-0,2	-1,0	0,1	17,7	21
med	7,58	613	90,7	20,5	8,2	1,7	211,4	19,8	140,4	0,4	14,9	0,3	0,1	0,5	18,8	358
s	0,19	100	17,7	7,6	3,5	0,4	13,6	7,1	62,6	0,4	11,8	0,2	0,5	0,2	0,4	256
v (%)	2,51	16	19,6	37,0	42,2	23,3	6,4	35,6	44,6	98,6	78,9	75,3	520,4	38,0	2,1	72

Tabla 1.- Parámetros estadísticos de los componentes químicos analizados en las aguas del manantial de Maro. (n) número de muestras, (max) máximo, (min) mínimo, (med) media aritmética, (s) desviación estándar, (v) coeficiente de variación.

Table 1.- Statistical data of the chemical components analyzed from Maro spring waters. (n) number of samples, (max) maximum, (min) minimum, (med) arithmetic mean, (s) standard deviation, (v) variation coefficient.

Caballero, E., Jiménez de Cisneros, C. y Reyes, E. (1996): *Applied Geochemistry*, 11: 583-587  
Durán, S.S. (1996): *Tesis Doctoral*, Univ. Complutense Madrid.

Fernández del Río, G., Castillo, E.; Delgado-Pastor J. y Villalobos, M. (1992): *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, 15: 241-256.

Ollero, E., García-García, J.L., Alcain, G. (1988): *TIAC'88*, 3: 439-453.  
SGOP (1991): *Estudio hidrogeológico de las S<sup>as</sup> Tejada, Almirajara y Guájares*, 2 tomos.