

Características hidrogeológicas del sistema acuífero Prieta-Bonela-Alcaparaín (Unidad Hidrogeológica Yunquera-Nieves, provincia de Málaga, Andalucía)

Hydrogeological characteristics of the Prieta-Bonela-Alcaparaín aquifer system (Yunquera-Nieves Hydrogeological Unit, Andalusia, province of Málaga)

C. Liñán Baena, B. Andreo Navarro y F. Carrasco Cantos

Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga. Facultad de Ciencias. Departamento de Ecología y Geología. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos s/n, 29071 Málaga. cbaena@cuevanerja.com, andreo@uma.es, fcarrasco@uma.es.

ABSTRACT

The analysis of the natural answers of the principal springs (Río Jorox, Fuente Quebrada and Carratraca) of the Prieta-Bonela-Alcaparaín aquifer system has allowed to determine the hydrogeological characteristics and the different degree of karstification existing in the same one. In the sector of aquifer that is drained by the Río Jorox spring (Sierra Prieta) exists a developed karstic net, across which there is produced a rapid flow of the rainwater. In the sector of aquifer that is drained by the Fuente Quebrada spring (Sierra Bonela), the degree of karstification is less developed. The sector drained by the Carratraca spring (Sierra Alcaparaín) presents a behaviour pattern that is typical of a diffuse flow aquifer.

Key words: karstic aquifer, Sierras Prieta-Bonela-Alcaparaín, hydrodynamics, hydrochemistry, groundwater temperature

*Geogaceta, 39 (2006), 83-86
ISSN: 0213683X*

Introducción

El sistema acuífero Prieta-Bonela-Alcaparaín (Liñán, 2003), con una superficie de 44 Km² (Fig. 1), se localiza al Oeste de la provincia de Málaga y corresponde al sector oriental de la Unidad Hidrogeológica Yunquera-Nieves. Está formado, fundamentalmente, por dolomías, calizas y brechas de la unidad tectónica de Nieves (Dürr, 1967; Martín Algarra, 1987) y por mármoles, micaesquistos y gneises de la unidad de Yunquera (Dürr, 1967; Martín Algarra, 1987). El sistema toma el nombre de los macizos más elevados de la zona, las Sierras Prieta, Bonela y Alcaparaín.

Sus límites Norte y Este corresponden al contacto de cabalgamiento de materiales alpujárrides y maláguides sobre las unidades tectónicas de Nieves y de Yunquera. El límite Suroeste lo constituye una falla plurikilométrica, de dirección N135E, situada al Este de la población de Yunquera. Al Oeste, queda limitado por el contacto de cabalgamiento de los materiales acuíferos de la unidad tectónica de Nieves sobre el Flysch del Campo de Gibraltar.

La recarga del sistema acuífero se realiza por infiltración del agua de lluvia y de fusión nival. La descarga tiene lugar, principalmente, a través de manantiales y, en menor medida, a través de sondeos que

se utilizan para abastecimiento, riego y envasado de agua mineral. Las principales surgencias del sistema (Fig. 1) son las de Río Jorox (M-33), con un caudal me-

dio (Qm) de 188 l/s, Carratraca (G-2, Qm= 77 l/s) y Fuente Quebrada (G-5, Qm= 48 l/s), todas situadas a la misma cota (530 m s.n.m).

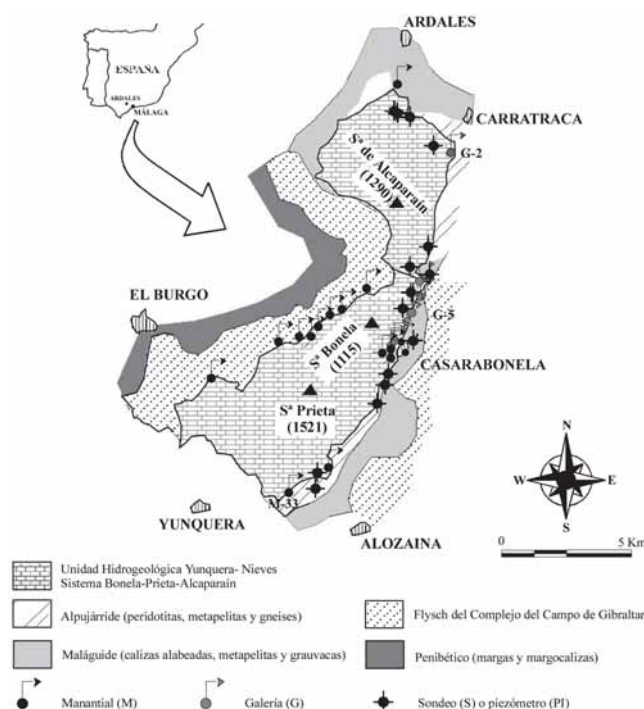


Fig. 1. - Situación geográfica y esquema hidrogeológico del sistema acuífero Prieta-Bonela-Alcaparaín (Liñán, 2003).

Fig. 1. - Location and hydrogeologic sketch of the Hydrogeological Unit Yunquera-Nieves (Liñán, 2003).

Hidrodinámica del sistema acuífero

Los manantiales que drenan el sistema acuífero muestran diferentes respuestas hidrodinámicas frente a las lluvias (Liñán, 2003): el hidrograma correspondiente al manantial de Río Jorox, principal punto de descarga de Sierra Prieta, muestra rápidos e importantes incrementos de caudal en respuesta a las lluvias, proporcionales a la magnitud de éstas (Fig. 2). El hidrograma de Fuente Quebrada muestra una respuesta más amortiguada frente a las lluvias, con crecidas de forma poco puntiaguda y con pequeñas diferencias de caudal entre la punta de la crecida y el inicio del agotamiento. La forma del hidrograma del manantial de Carratraca (Fig. 2) difiere de la del resto de surgencias del sistema; se registran pequeños incrementos del caudal (entre 5 y 27 l/s) en respuesta a las lluvias, aproximadamente un mes después de la caída de éstas, sin que aparezcan los picos de caudal observados en los hidrogramas de los manantiales de Río Jorox y Fuente Quebrada.

Hidrotermia

La temperatura del agua drenada por los manantiales del sistema Prieta-Bonela-Alcaparaín es bastante similar. Los valores medios de este parámetro son 15.8 °C (Carratraca), 15.9 °C (Río Jorox) y 16.3 °C (Fuente Quebrada). Los coeficientes de variación de este parámetro son muy bajos en todas las surgencias, especialmente en la de Carratraca ($v=0.4\%$).

La evolución temporal de la temperatura del agua (Fig. 2) es diferente según la surgencia considerada (Liñán, 2003). En los manantiales de Río Jorox y Fuente Quebrada se producen disminuciones de la temperatura del agua durante los episodios de recarga, del orden de 0.2 °C en Río Jorox y de 0.4 a 0.7 °C en Fuente Quebrada. En el manantial de Carratraca, el valor de temperatura del agua permanece prácticamente constante.

Hidroquímica

Los manantiales del sistema Prieta-Bonela-Alcaparaín drenan aguas de facies bicarbonatada cálcica y bicarbonatada cálcico-magnésica (Liñán, 2003). La primera facies es mayoritaria en las surgencias de Río Jorox y Fuente Quebrada mientras que ambas abundan por igual en el manantial de Carratraca, debido a que en el sector de acuífero drenado por esta surgencia (Sierra

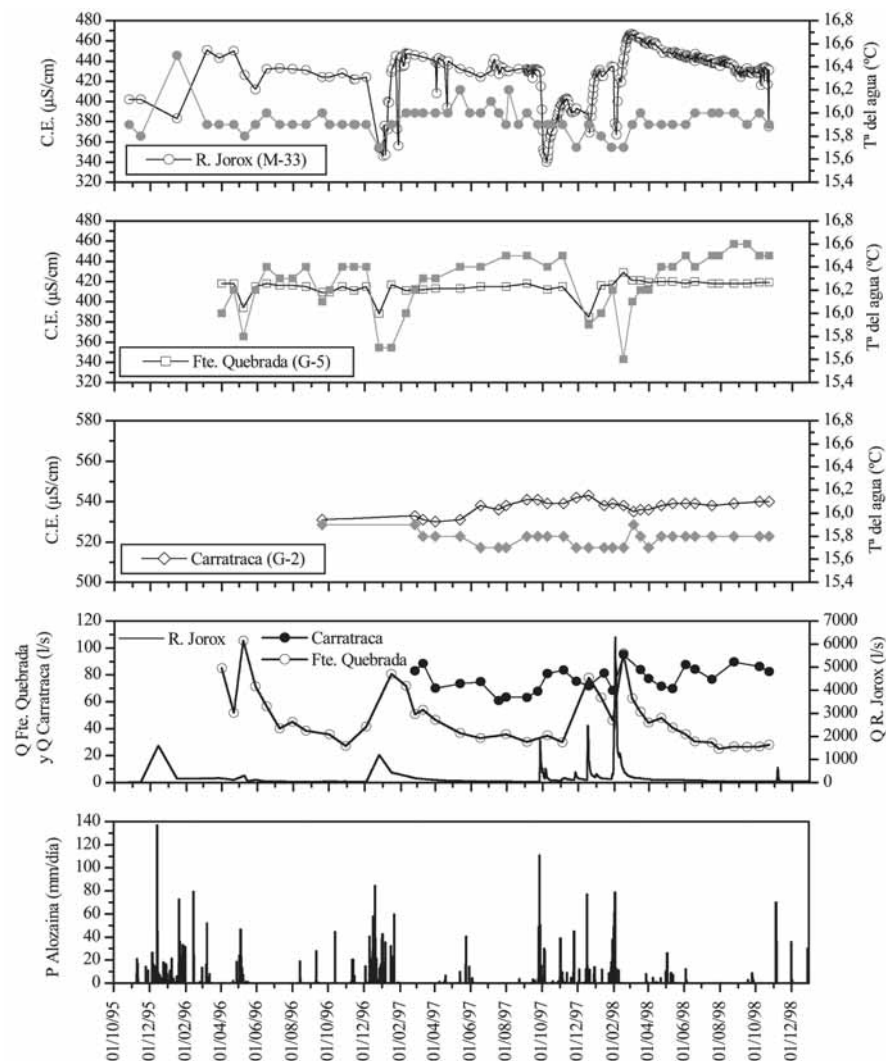


Fig. 2.- Evolución temporal del caudal, de la temperatura del agua (en gris) y de la conductividad eléctrica en los principales manantiales del sistema Prieta-Bonela-Alcaparaín desde 1995 hasta 1998. Los datos de caudal del manantial de Río Jorox anteriores a Agosto de 1997 proceden de aforos con micromolineté; los posteriores a esta fecha proceden del registro limnimétrico.

Fig. 2.- Time evolution of the outflow, water temperature (in grey) and of the electrical conductivity in the main springs of the Prieta-Bonela-Alcaparaín system from 1995 until 1998. The data of the outflow in Río Jorox spring previous to August 1997 come from measurements with flowmeter; the posterior ones to this date come from the limnimetric record.

Alcaparaín) afloran extensamente los mármoles dolomíticos de la Unidad de Yunquera.

Los valores medios de conductividad eléctrica de las aguas subterráneas varían entre 414 mS/cm (Fuente Quebrada) y 537 mS/cm (Carratraca), con un valor medio de 427 mS/cm en Río Jorox. Los valores medios de alcalinidad (TAC), Ca^{2+} y Mg^{2+} son 249, 56 y 26 mg/l, respectivamente. El contenido medio en Cl^- es de 13 mg/l, más del doble del contenido medio de este ión en el agua de lluvia (5 mg/l), por lo que debe existir una importante reconcentración del agua de lluvia a nivel del epikarst (Schoeller, 1962). Las aguas subterráneas del sistema están ligeramente sobrecargadas en calcita, aunque las

correspondientes a la surgencia de Carratraca están algo más próximas al equilibrio. Los valores medios de P_{CO_2} de las aguas están comprendidos entre 0.54 % y 0.72 %, valores claramente superiores al de la P_{CO_2} atmosférica (0.03-0.04 %) pero coherentes con un origen biogénico superficial del CO_2 .

Desde el S hacia el N del sistema acuífero se constata un incremento en el contenido en Cl^- , SO_4^{2-} y SiO_2 del agua y una disminución de TAC y la P_{CO_2} del agua subterránea. Los manantiales de Río Jorox y Fuente Quebrada muestran una composición química bastante similar, aunque este último dreña aguas con menor alcalinidad y más ricas en Cl^- , SO_4^{2-} y SiO_2 (Tabla I).

	Manantial (Referencia)	pH	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ⁿ (°C)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	TAC (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	dpH	IsDol	pCO ₂ (%)
n		61	368	52	61	61	61	61	61	346	59	61	61	51	51	51
max	Río Jorox (M-33)	8,10	467	16,5	63,3	36,9	6,2	0,8	310	20,6	21,4	7,9	12,5	0,51	0,94	1,21
min		7,31	340	15,7	29,6	3,0	3,2	0,2	216	5,0	0,4	0,0	0,0	-0,14	-0,63	0,19
med		7,60	427	15,9	51,2	24,7	4,4	0,4	275	11,0	10,1	1,3	6,6	0,11	0,10	0,72
v (%)		2,73	6	0,8	12,4	25,9	13,8	45,1	8	15,1	43,3	113,3	57,3	141,85	337,92	35,94
n		35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
max	Fuente Quebrada (G-5)	7,93	429	16,6	62,4	30,9	6,4	0,8	275	15,6	35,4	4,4	15,2	0,42	0,71	1,31
min		7,20	385	15,6	37,5	7,8	3,4	0,2	239	9,9	9,5	0,0	6,9	-0,27	-1,02	0,25
med		7,55	414	16,3	54,1	20,5	4,9	0,5	250	13,2	20,7	1,7	11,9	0,10	-0,04	0,63
v (%)		2,12	2	1,7	11,7	22,4	13,3	23,3	3	9,4	29,3	75,0	17,1	151,90	-1023,76	33,39
n		13	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
max	Carratraca (G-2)	7,73	543	15,9	71,7	38,9	6,0	1,3	230	20,6	126,7	3,7	14,5	0,23	0,35	0,93
min		7,31	530	15,7	52,9	25,9	4,3	1,0	219	12,1	108,6	0,0	9,1	-0,19	-0,42	0,35
med		7,57	537	15,8	61,5	32,3	4,9	1,0	223	13,7	117,9	0,5	12,2	0,06	0,02	0,54
v (%)		1,92	1	0,4	11,1	11,9	11,7	6,8	1	16,4	4,8	218,7	11,9	251,94	1320,75	35,43

Tabla I.- Parámetros estadísticos de los parámetros físico-químicos medidos y de los componentes químicos analizados en las aguas del sistema Prieta-Bonela-Alcaparaín. Leyenda: n: número de muestras, max: valor máximo, min: valor mínimo, med: media aritmética y v: coeficiente de variación.

Table I.- Statistical values of the physical-chemical parameters and of the chemical components analysed of Prieta-Bonela-Alcaparaín system springs. Legend: n: number of samples, max: maximum value, min: minimal value, med: arithmetical average and v: coefficient of variation.

El manantial de Carratraca presenta los valores de conductividad eléctrica más elevados y contenidos en Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺ y SO₄²⁻ superiores a los de las dos surgencias anteriores. Los altos contenidos en SO₄²⁻ del manantial de Carratraca, superiores a 100 mg/l, se interpreta que proceden de la oxidación de los sulfuros presentes en las mineralizaciones de piritas dispersas en los mármoles dolomíticos de la Unidad de Yunquera.

En las surgencias de Río Jorox y Fuente Quebrada se constatan, durante los períodos de recarga, procesos de dilución por mezcla del agua de lluvia (menos mineralizada) con el agua subterránea, que dan lugar a descensos en los valores de conductividad eléctrica (Fig. 2). El valor medio de estas diluciones es del 5-18 % en la primera surgencia, dependiendo de la magnitud de las precipitaciones, más importantes en invierno que en primavera, y del 6-7 % en la segunda. En el manantial de Carratraca, no se detectan variaciones de la conductividad eléctrica del agua (ni de otros componentes químicos) que sean fácilmente atribuibles a la infiltración rápida de las precipitaciones.

Las curvas de frecuencia de la conductividad eléctrica del agua drenada por las tres surgencias principales del sistema muestran una moda principal, que corresponde a las aguas propias de la zona saturada (Fig. 3). En las curvas correspondientes a las surgencias de Río Jorox y Fuente Quebrada aparecen modas secundarias (más numerosas en el primer

manantial) hacia los valores más bajos de conductividad eléctrica, que corresponden a las diluciones del agua de la zona saturada por la mezcla con el agua de infiltración, menos mineralizada. El manantial de Río Jorox es el que muestra un mayor rango de variación, mientras que la surgencia de Fuente Quebrada muestra un rango de variación intermedio. En la surgencia de Carratraca no aparecen modas secundarias y el rango de variación es muy reducido.

Discusión y conclusiones

El análisis de la forma de los hidrogramas de los tres manantiales principales permite deducir la existencia de un diferente grado de karstificación según el sector considerado del sistema acuífero.

La respuesta hidrodinámica observada en el manantial de Río Jorox, puesta de manifiesto en trabajos previos (Liñán *et al.*, 1996, 1999, 2001; Liñán, 2003),

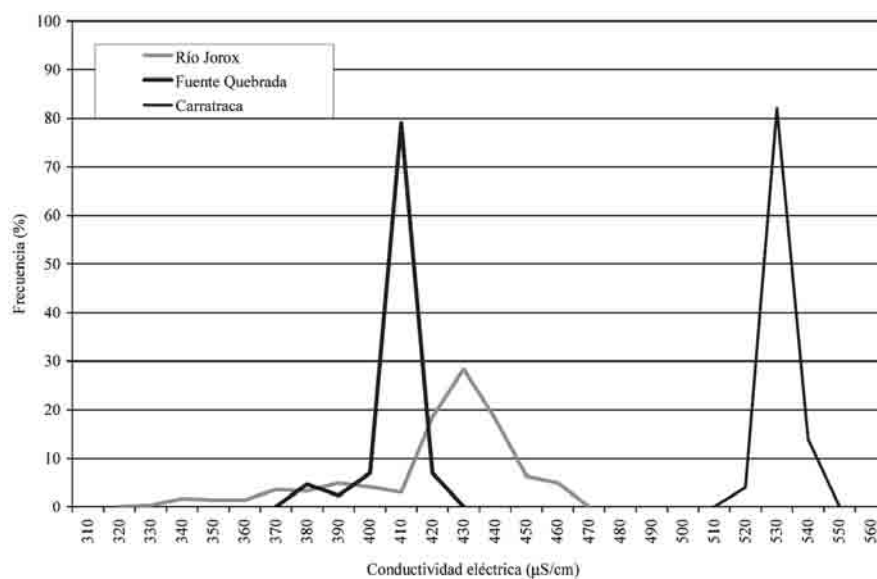


Fig. 3.- Gráfico de frecuencias elaborado a partir de los datos de conductividad eléctrica del agua de los principales manantiales del sistema Prieta-Bonela-Alcaparaín.

Fig. 3.- Frequency graph elaborated from the data of electrical conductivity of the water of the principal springs of the Prieta-Bonela-Alcaparaín aquifer system.

refleja una infiltración rápida del agua de precipitación y, por lo tanto, la existencia de una red kárstica desarrollada.

La surgencia de Fuente Quebrada drena un sector de acuífero con menor desarrollo de la karstificación funcional, ya que el hidrograma muestra una respuesta más amortiguada frente a las lluvias, con crecidas de forma poco puntiguda y con pequeñas diferencias de caudal entre la punta de la crecida y el inicio del agotamiento. El manantial de Carratraca drena un sector de acuífero poco karstificado, ya que se observa en el hidrograma una respuesta muy amortiguada frente a las lluvias.

Estas diferencias en el grado de karstificación funcional están relacionadas con la litología existente en cada uno de los diferentes sectores del sistema acuífero. El manantial de Río Jorox drena el sinclinal de Sierra Prieta, cuyo núcleo está constituido por calizas, materiales más favorables al desarrollo de la karstificación. Fuente Quebrada drena un sector de acuífero en el que abunda la litología dolomítica, desfavorable de cara al desarrollo de la karstificación, aunque también son importantes los afloramientos calizos. El manantial de Carratraca drena un sector constituido esencialmente por dolomías y por mármoles dolomíticos de la Unidad de Yunquera. Además, la existencia de intercalaciones metapelíticas en los materiales de la Unidad de Yunquera constituye un factor limitante añadido en el desarrollo de la karstificación.

Los datos hidrotérmicos e hidroquímicos confirman los resultados del estudio hidrodinámico. El agua del manantial de Río Jorox tiene menores contenidos en Cl^- , SO_4^{2-} y SiO_2 que el resto de surgencias del sistema porque el

agua de infiltración permanece menos tiempo en el acuífero, debido al elevado grado de karstificación funcional. Durante los períodos de recarga, se constatan disminuciones de la temperatura del agua del manantial y procesos de dilución por mezcla del agua de lluvia con el agua subterránea, que se manifiestan por descensos en los valores de conductividad eléctrica. Esto significa que existe una red kárstica desarrollada, a través de la cual se produce una circulación rápida del agua de lluvia más fría recién infiltrada, que predomina sobre el agua subterránea existente en el acuífero. La curva de frecuencia de la conductividad eléctrica del manantial, con el mayor número de modas secundarias y el mayor rango de variación, confirma que el poder regulador es menor en este sector del acuífero.

En el sector de acuífero drenado por Fuente Quebrada (Sierra Bonela) está menos desarrollado el grado de karstificación. Durante los períodos de recarga, se constatan disminuciones de la temperatura del agua y procesos de dilución por mezcla del agua de lluvia con el agua subterránea, que se manifiestan por disminuciones en los valores de conductividad eléctrica pero de menor magnitud que en Río Jorox.

El sector drenado por el manantial de Carratraca (Sierra Alcaparaín) presenta un comportamiento propio de un acuífero de flujo difuso. La respuesta hidrodinámica del manantial frente a las lluvias se observa aproximadamente un mes después de las precipitaciones. En el manantial de Carratraca no se observan variaciones de la conductividad eléctrica del agua imputables a la infiltración rápida de las precipitaciones y la temperatura del agua permanece prácti-

camente invariable. En este sector del acuífero no se detecta karstificación funcional, de forma que el flujo lento del agua de recarga a través del acuífero provoca una homogeneización hidroquímica.

Agradecimientos

Esta publicación es una contribución a los Proyectos REN 2002-01797/HID, REN 2003-01580/HID, IGCP-513 y al Grupo RNM-308 de la Junta de Andalucía.

Referencias

- Dürr, S.H. (1967). *Geologie der Sierra de Ronda und ihrer Südwestlichen Ausläufer (Andalusien)*. Tesis Doctoral, Univ. de Bonn, 122 p. (Publ. *Geologica Romana*, 6, 73 p.).
- Liñán, C., Carrasco, F. y Andreo, B. (1996). En: *IV Simposio sobre el agua en Andalucía*. Comunicaciones, 1, 271-280.
- Liñán, C., Jiménez de Cisneros, C., Caballero, E., Carrasco, F. y Andreo, B. (1999). *Geogaceta*, 25, 127-130.
- Liñán, C., Carrasco, F. y Andreo, B. (2001). En: *V Simposio sobre el Agua en Andalucía*. Comunicaciones, 2, 63-72.
- Liñán, C. (2003). *Hidrogeología de acuíferos carbonatados en la Unidad Yunquera-Nieves (Málaga)*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 317 p.
- Martín Algarra, A. (1987). *Evolución geológica alpina del contacto entre las Zonas Internas y las Zonas Externas de la Cordillera Bética*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 2 vol., 1171 p.
- Schoeller, H. (1962). *Les eaux souterraines*. Masson, 642 p.