Caracterización hidrodinámica e hidroquímica del manantial de Río Jorox (Unidad Hidrogeológica Yunquera-Nieves, Málaga)

Hydrodynamic and hydrochemical characterization of the Río Jorox spring (Hydrogeological Unit Yunquera-Nieves, Málaga)

C. Liñán Baena, F. Carrasco Cantos y B. Andreo Navarro [1]

(1) Grupo de Hidrogeología. Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos s/n, 29071 Málaga.

ABSTRACT

The hydrodynamic and hydrochemical responses of Río Jorox spring (Yunquera-Nieves Hydrogeological Unit), with respect to precipitations recorded during the study period (1995-1998), show that the system drained by this spring is a karstic system, because rapid and important increases in the outflow of the spring are observed, accompanied of clear dilution phenomena. The analysis of recession curves, the variation in electricel conductivity over time and the variation range of this parameter, observed over the frecuency distribution curve, confirm the high karstification degree of the aquifer.

Key words: *Río Jorox spring, Hydrogeological Unit Yunquera-Nieves, hydrodynamic, hydrochemistry, karstic aquifer*

Geogaceta, 31 (2002), 87-90
ISSN:0213683X

Introducción

El manantial de Río Jorox, con un caudal medio de 300 l/s, constituye el principal punto de descarga del sector oriental de la Unidad Hidrogeológica Yunquera-Nieves (Fig. 1). Dicha Unidad, cuya superficie total es de unos 170 km^2, está situada en el extremo occidental de la provincia de Málaga, en el interior de un enclave natural de primera importancia, declarado Reserva de la Biosfera por la UNESCO.

Desde el punto de vista geológico, la Unidad Hidrogeológica está formada por una potente sucesión (1.000-1.500 m de espesor) de dolomías y calizas de edad triásica y liásica, pertenecientes a las unidades tectónicas de Nieves y de Yunquera (Dürr, 1967; Martín-Algarra, 1987). La estructura geológica es, a grandes rasgos, un sinclinal tumbado, vergente al NW, aunque en la parte oriental de la Unidad Hidrogeológica la estructura es más compleja, por la existencia de escamas tectónicas.

La recarga del acuífero se produce por infiltración del agua de lluvia y, ocasionalmente, de nieve. La descarga se realiza, fundamentalmente, a través de ma-

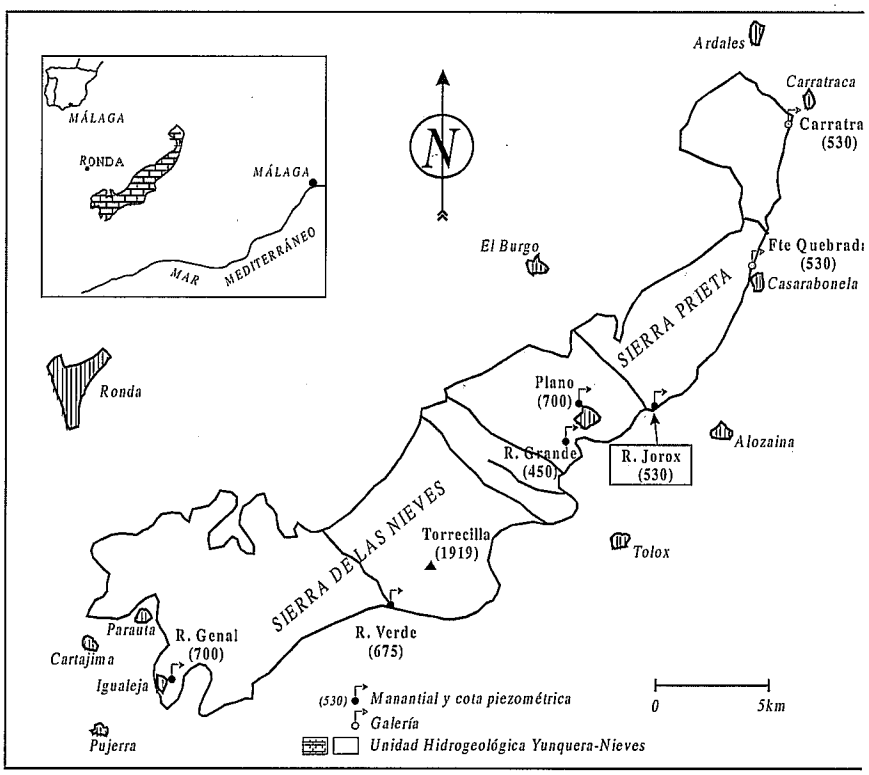

Fig. 1.- Esquema hidrogeológico de la Unidad Hidrogeológica Yunquera-Nieves.

Fig. 1.- Hydrogeological scheme of the Yunquera-Nieves Hydrogeological Unit.

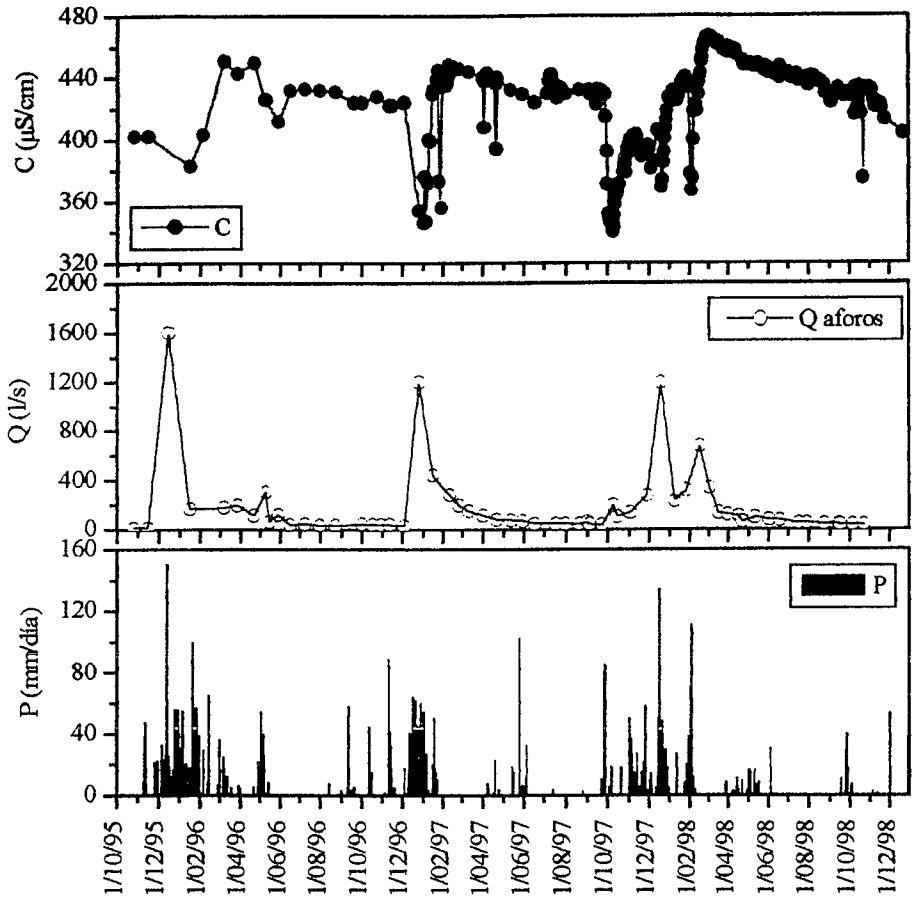

Fig. 2.- Evolución temporal del caudal de la surgencia de Río Jorox y de la conductividad eléctrica de sus aguas durante el período de estudio (1995-1998). (C) conductividad eléctrica, (Q) caudal, (P) cantidad de precipitación.

Fig. 2.- Time evolution of the outflow and of the electrical conductivity in Río Jorox spring during the studied period (1995-1998). (C) electrical conductivity, (Q) outflow, (P) precipitation.

nantiales situados en el borde meridional, siendo uno de los más importantes el nacimiento del Río Jorox. Este manantial surge en la vertiente sur del relieve de Sierra Prieta, a una cota de 530 m s.n.m. (Fig. 1), ligado a una de las importantes fracturas plurikilométricas, de dirección NW-SE, que atraviesan la Unidad Hidrogeológica (Pistre *et al.*, 1998).

Desde Octubre de 1995 hasta Diciembre de 1998, se ha realizado un control hidrodinámico e hidroquímico de esta surgencia, para estudiar las características hidrogeológicas y el grado de organización del drenaje kárstico de este sector del acuífero, lo cual constituye el objetivo del presente trabajo.

Caracterización hidrodinámica

El hidrograma del manantial de Río Jorox se ha elaborado a partir de datos procedentes de aforos puntuales realizados con micromolinete, a paso de tiempo quincenal. El hidrograma muestra claros y rápidos incrementos de caudal en relación a las lluvias caídas, proporcionales a la magnitud de éstas (Fig. 2). Las crecidas son de forma puntiaguda, existiendo grandes diferencias de caudal entre el final del agotamiento y la punta de la crecida. Recientemente, se ha instalado un limnígrafo en la surgencia, que ha permitido corroborar la respuesta rápida del manantial ante las precipitaciones, puesto que el caudal del manantial aumenta varias horas después de la caída de las lluvias. Los incrementos de caudal más importantes se producen durante los meses de otoño-invierno, en relación con la mayor duración e importancia de los períodos lluviosos que se registran en esta época del año. Las crecidas de menor importancia se observan en los primeros meses del año hidrológico y en primavera. Esta respuesta hidrodinámica, puesta de manifiesto en trabajos previos (Liñán *et al.*, 1996, 1999), refleja una infiltración rápida del agua de precipitación y, por lo tanto, la existencia de una red kárstica relativamente desarrollada.

Se ha realizado el análisis de dos curvas de recesión del hidrograma de la surgencia (Fig. 3A y 3B), siguiendo la metodología propuesta por Mangin (1970, 1975). Debido a la periodicidad de los aforos, no se conoce con exactitud qué día se produjo la máxima crecida ni la magnitud precisa de los caudales drenados. Para poder determinar el mayor número posible de parámetros de la decrecida (tabla 1), se ha considerado que la punta de la crecida se produjo el mismo día que el registrado en el limnigrama del manantial de Río Grande. Ambas surgencias presentan respuestas hidrodinámicas similares (Liñán *et al.*, 1996, 1999).

El valor del coeficiente de agotamiento calculado para las curvas analizadas es de 6,3-8,8 x 10^{-3} días^{-1}, similar al obtenido por Carrasco *et al.*, (2001). Este valor es indicativo de que el agotamiento se produce de forma relativamente rápida. Si se mantuvieran las condiciones del agotamiento, al cabo de 80-110 días se drenaría el 50 % del volumen dinámico (Fig. 3 C y D).

El parámetro *k* (Mangin, 1970, 1975) traduce la capacidad del sistema para restituir progresivamente una parte del volumen de agua que lo atraviesa, por lo que se relaciona con el poder regulador del sistema y la importancia de la zona saturada. El valor obtenido en ambas curvas está comprendido entre 0,08 y 0,15 (tabla 1) por lo que, según el método de Mangin

	Dd (días)	*η (días^{-1})*	*Da (días)*	*α (días^{-1})*	*k*
1ª curva	*18*	*0,0556*	*102*	*8,8x10^{-3}*	*0,08*
2ª curva	*64*	*0,0156*	*79*	*6,3x10^{-3}*	*0,15*

Tabla 1.- Resultados del análisis de las curvas de recesión del manantial de Río Jorox. (Dd) duración de la decrecida, (η) coeficiente de velocidad de infiltración, (Da) duración del agotamiento, (α) coeficiente de agotamiento, (k) parámetro de Mangin (1970, 1975).

Table 1.- Results of the recession curves analysis of Río Jorox spring. (Dd) recession time, (η) infiltration velocity coefficient, (Da) depletion time, (α) depletion coefficient, (k) Mangin's parameter (1970, 1975).

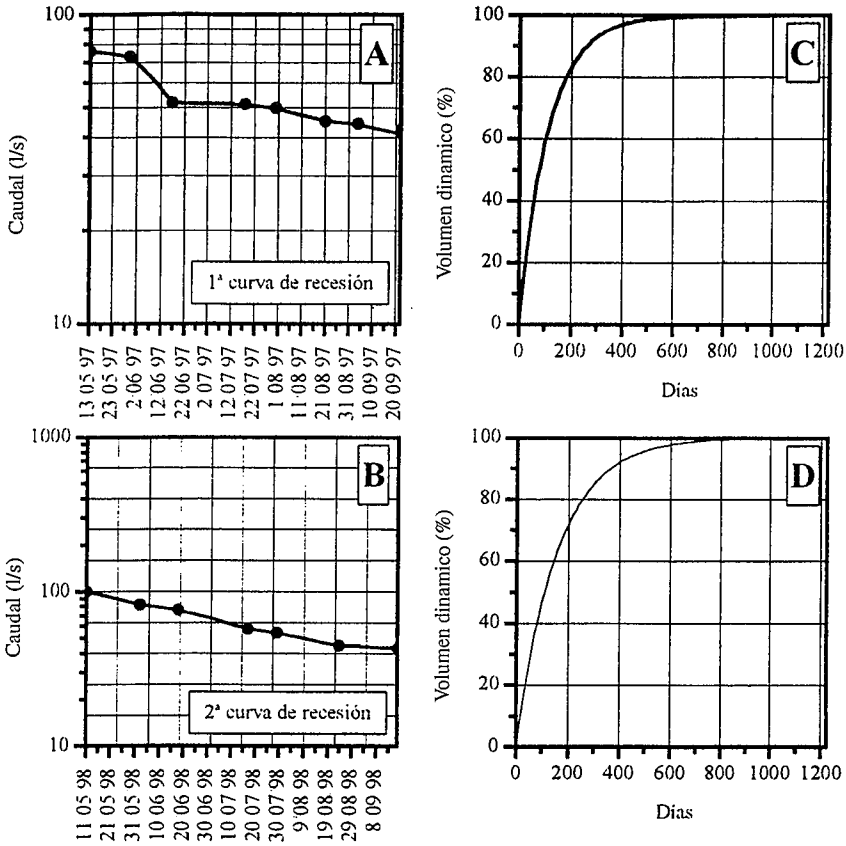

Fig. 3.- A la izquierda, curvas de recesión analizadas en el manantial de Río Jorox. A la derecha, volumen dinámico drenado en función del tiempo.

Fig. 3.- On the left, recession curves of Río Jorox spring. On the right, dynamic volume drained over time.

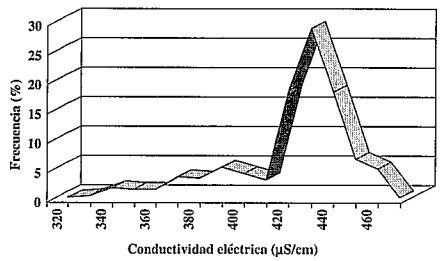

Fig. 4.- Gráfico de frecuencias elaborado a partir de los datos de conductividad eléctrica del agua del manantial de Río Jorox.

Fig. 4.- Frequency curve for the electrical conductivity of water drained by Río Jorox spring.

(1970, 1975), el sistema se clasificaría como de tipo kárstico.

Caracterización hidroquímica

Los datos hidroquímicos de una surgencia, conjuntamente con los hidrodinámicos, proporcionan información sobre el grado de organización del drenaje kárstico del sector de acuífero drenado por el manantial, ya que existe una estrecha relación entre la variabilidad temporal de la mineralización (y, por lo tanto, de la conductividad eléctrica) y el grado de karstificación funcional del acuífero (Shuster y White, 1971; Bakalowicz, 1979; Lepiller, 1980; Antigüedad, 1986). En el manantial de Río Jorox se han realizado muestreos, a paso de tiempo quincenal, para determinar la composición química de sus aguas y estudiar su evolución temporal con respecto a las diferentes fases hidrodinámicas representadas en el hidrograma. Desde Noviembre de 1996 se dispone, además, de medidas diarias de conductividad eléctrica del agua de la surgencia.

El agua del manantial de Río Jorox es de facies bicarbonatada cálcica y magnésica, como corresponde a una surgencia que drena materiales calizos y dolomíticos. Las precipitaciones que se registran durante el período de estudio provocan rápidos y bruscos descensos de la conductividad eléctrica del agua drenada por el manantial (Fig. 2), como consecuencia de la entrada en el acuífero de agua de lluvia menos mineralizada. Los valores de dilución que se alcanzan varían según la magnitud del período lluvioso; así, durante las lluvias de otoño-invierno, la dilución observada es del orden del 20 % mientras que, durante las lluvias de primavera, la dilución observada es menor, de un 7-10 %. Esta evolución temporal de la conductividad eléctrica pone de manifiesto la existencia de una red kárstica relativamente desarrollada, que permite la rápida mezcla del agua de lluvia, menos mineralizada, con el agua subterránea. Tras las bruscas diluciones de otoño-invierno, en la surgencia aparecen aguas con una conductividad eléctrica ligeramente superior a las drenadas antes de registrarse las lluvias, debido a que el agua de lluvia infiltrada provoca el empuje hacia el manantial de aguas con mayor tiempo de residencia en el acuífero y, por lo tanto, más mineralizadas (efecto «pistón»). Posteriormente, se produce una progresiva recuperación de los valores de conductividad eléctrica hasta alcanzar valores próximos a la media.

La curva de frecuencia de los valores de conductividad eléctrica (Fig. 4), elaborada según la metodología propuesta por Bakalowicz (1979), muestra un amplio rango de variación y una moda principal, centrada en los valores más altos de conductividad eléctrica, que caracteriza las aguas propias de los períodos de agotamiento. Hacia los valores más bajos de conductividad eléctrica aparece una clara asimetría en la curva, que correspondería a las bruscas diluciones del agua de la zona saturada como consecuencia de la mezcla con el agua de precipitación. Por tanto, la curva de frecuencias de la conductividad eléctrica confirma la existencia de un cierto grado de karstificación funcional en el sistema acuífero.

Conclusiones

Desde Octubre de 1995 hasta Diciembre de 1998 se ha realizado un control hidrodinámico e hidroquímico del manantial de Río Jorox, el más importante de los que drenan el sector oriental de la Unidad Hidrogeologica Yunquera-Nieves.

Los episodios lluviosos registrados durante el período de estudio han provocado rápidos e importantes aumentos del caudal del manantial. El análisis de las curvas de recesión del hidrograma pone de manifiesto que el sistema drenado por la surgencia es relativamente kárstico. Los valores obtenidos del co-

eficiente de almacenamiento son del orden de 7 x 10^{-3} días^{-1}.

Los aumentos de caudal van acompañados de rápidas e importantes disminuciones de los valores de la conductividad eléctrica del agua del manantial, reflejo de la existencia de una red kárstica relativamente desarrollada que permite la dilución del agua subterránea por la mezcla con el agua de lluvia, menos mineralizada. El amplio rango de variación de la conductividad eléctrica detectado en el gráfico de frecuencia pone nuevamente de manifiesto la existencia de un cierto grado de karstificación funcional en el acuífero estudiado, confirmando así los resultados obtenidos en el estudio hidrodinámico.

Agradecimientos

Este trabajo constituye una contribución del Grupo RNM 308 de la Junta de Andalucía, al Proyecto IGCP-448 de la UNESCO y al Proyecto PB98-1397 de la DGES.

Referencias

Antigüedad, I. (1986): Tesis, Univ. País Vasco, 338 p. y anexos.

Bakalowicz, M. (1979): Tesis, Univ. P. et M. Curie, París-VI, Géol. Dyn. et Lab. Souterrain CNRS; 269 p.

Carrasco, F., Jiménez Gavilán, P., Andreo, B., López Chicano, M., Marín Marín, A., Liñán, C. y Vadillo, I. (2001): *Hidrogeología y Recursos Hidraúlicos*, Murcia, 23: 381-391.

Dürr, S.H. (1967): Tesis, Univ. Bonn, 122 p. (Publ. *Geol. Romana*, 6, 73 p.).

Lepiller, M. (1980): Tesis, Univ. Grenoble.

Liñán, C., Carrasco, F. y Andreo, B. (1996): *IV Simp. sobre el Agua en Andalucía*, Almería, 1: 271-280.

Liñán, C., Carrasco, F., Andreo, B. y Vadillo, I. (1999): *XXIX IAH Congress*, Bratislava, 203-208.

Mangin, A. (1970): *Ann. Speleol.*, 25(3): 581-610.

Mangin, A. (1975): Tesis, Univ. Dijon. In: *Ann. Speleol.*, 29(3), 283-332.

Mangin, A. (1975): Tesis, Univ. Dijon. In: *Ann. Speleol.*, 29(4), 495-601.

Mangin, A. (1975): Tesis, Univ. Dijon. In: *Ann. Speleol.*, 30(1), 21-124.

Martín Algarra, A. (1987): Tesis, Univ. Granada, 2 vol., 1171 p.

Pistre, S., Liñán, C., Andreo, B., Carrasco, F. y Drogue, C. (1998): *Spéléochronos hors serie*, 141-144.

Shuster, E.T. y White, W.B. (1971): *Jour. Hydrol.*, 14, 93-128.