Geometría y sistemas de flujo en el acuífero de Turón-Peñarrodada (Almería-Granada): implicaciones estructurales

Geometry and flow systems in the Turón-Peñarrodada aquifer (Almería-Granada, SE Spain): structural implications

S. García-López (*), J. Benavente (*), J.J. Cruz-Sanjulián (*) y F. Carrasco (**)

(*) Instituto del Agua. Universidad de Granada. c/Rector López Argüeta, s/n. 18071 Granada.
(**) Departamento de Geología y Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. 29071 Málaga.

ABSTRACT

The results of a pumping/recovery test and those of a physico-chemical sampling of groundwater from the Turón-Peñarrodada triassic carbonate aquifer (Almería and Granada provinces, SE Spain), together with the analysis of the relationship between the TSD evolution in the main discharge point –Fuentes de Marbella springs– and the piezometric trend, are commented. These results point out to the occurrence of different flow systems –some of them characterized by water which is almost stagnant and with associated thermalism (40°C)– and confirm the high transmissivity of the carbonate materials as well as the bounded nature of the aquifer. One of the impervious boundaries could be related with the hinge zone of a big recumbent fold. This is in good agreement with recent interpretations of the Lújar nappe structure.

Key words: *groundwater flow systems, thermalism, bounded aquifer, alpujarride units, SE Spain.*

Geogaceta, 16 (1994), 7-10
ISSN: 0213683X

Introducción

El acuífero de Turón-Peñarrodada está situado al oeste de la Sierra de Gádor, entre las provincias de Almería y Granada. Está constituído, al igual que dicha sierra, por materiales carbonatados triásicos del manto de Lújar (Complejo Alpujárride, Zonas Internas de la Cordillera Bética). Su extensión superficial es de unos 40 km^2, repartidos en tres afloramientos, el principal de los cuales está atravesado de norte a sur por el río Adra (fig. 1). Los límites laterales están ocultos bajo materiales metapelíticos. El espesor saturado se estima en varios centenares de metros, no habiéndose alcanzado el sustrato impermeable (metapelitas alpujárrides) en ninguno de los sondeos realizados en el sector, alguno de más de 300 m de profundidad.

Los principales antecedentes hidrogeológicos corresponden a los estudios de IGME (1977) y Carrasco *et al.*, (1981). Ya desde los primeros estudios se puso de manifiesto que los recursos del acuífero eran muy superiores a los que cabría suponer a partir de la infiltración de la precipitación sobre los afloramientos permeables.

En 1990 se realizó un ensayo de bombeo en el punto 8 (fig. 1), de 4 días de duración y caudal de 450 l/s. La expe-

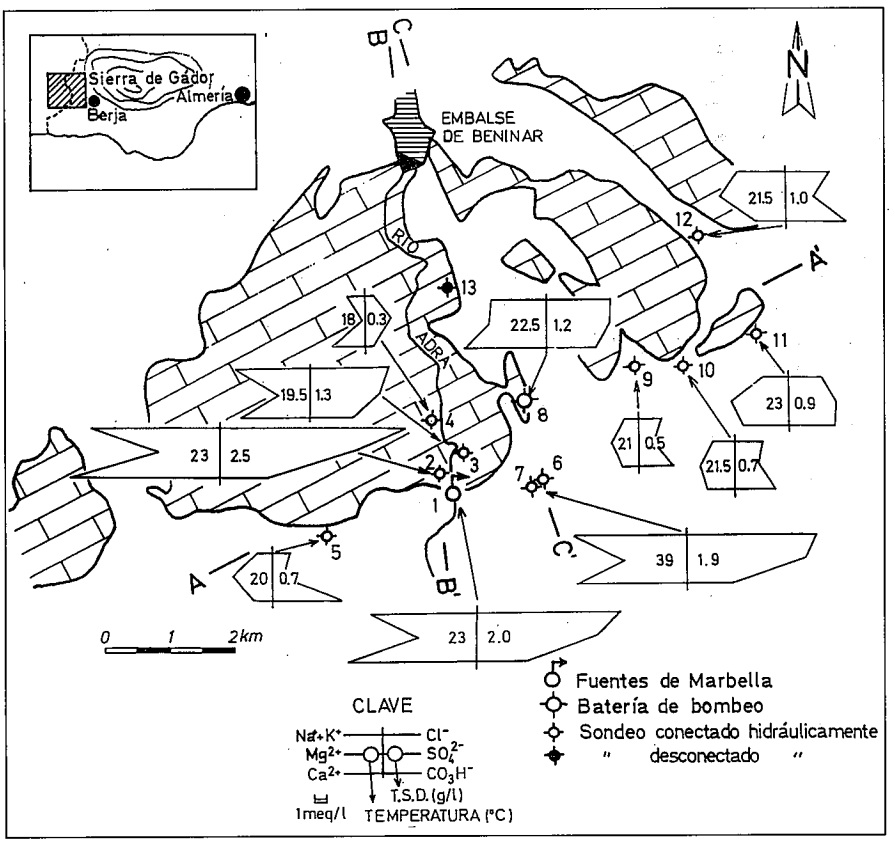

Fig. 1.—Situación del acuífero de Turón-Peñarrodada. Se indica también la localización y características de los puntos de control.

Fig. 1.—Situation of the Turón-Peñarrodada aquifer. The location and characteristics of the monitoring points are also shown.

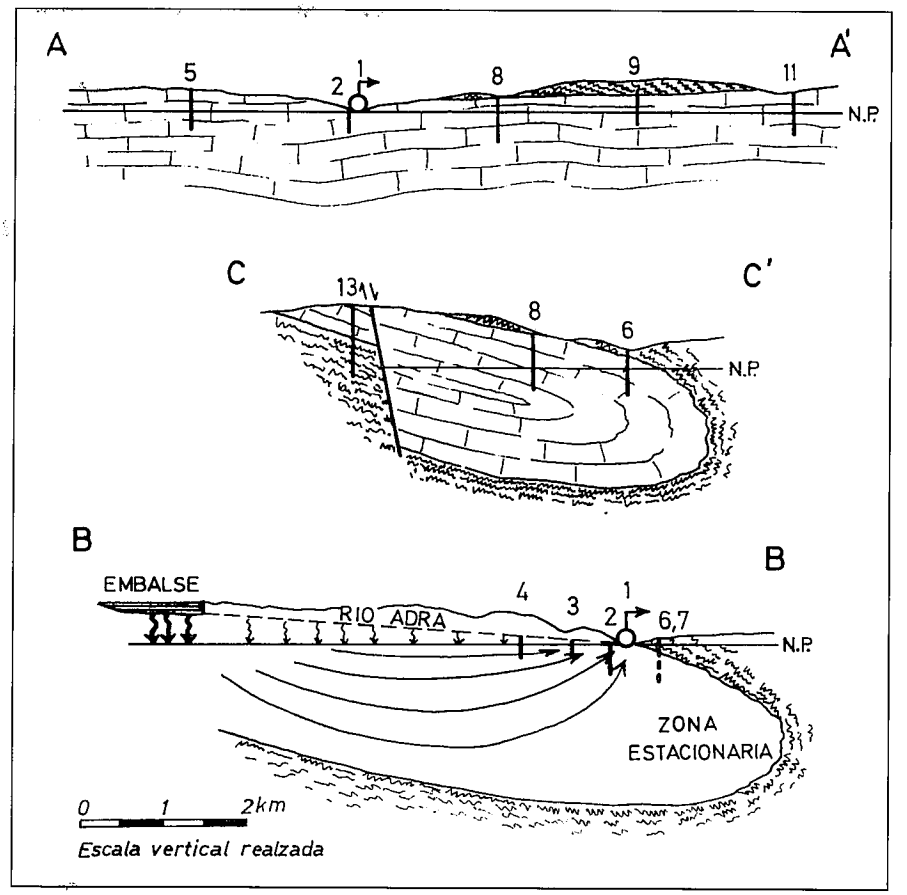

Fig. 2.—Cortes hidrogeológicos (ver situación en fig. 1). NP: posición aproximada del nivel piezométrico. En el corte C-C' se esquematiza la red de flujo, en la que se incluye la zona ocupada por agua estacionaria. Ver texto para más detalles.

Fig. 2.—Hydrogeological cross-sections (see situation in fig. 1). NP: Approximate position of piezometric surface. A sketch of the flow net - which includes the situation of the stagnant water - is shown in the C-C' section. See text for more details.

riencia evidenció (García-López *et al.*, 1991), entre otros aspectos: (a) la conexión hidráulica entre puntos separados hasta 7.5 km, (b) la existencia de, al menos, dos barreras impermeables alcanzadas por el conoide y (c) una transmisividad muy elevada, del orden de $10^5 m^2$/día, valor que ha sido contrastado posteriormente mediante ensayos de dilución en piezómetros (Cardenal *et al.*, 1993). En cuanto a las barreras citadas, la primera se relacionó con un levantamiento del sustrato en las proximidades del punto 13 (corte C-C', fig. 2); la segunda se situaría al sur de los afloramientos carbonatados, como más adelante detallaremos.

En la actualidad, la recarga principal del acuífero procede de filtraciones en el embalse de Benínar (fig. 1). La descarga natural del acuífero se realiza a través de las Fuentes de Marbella, surgencia que presenta caudales comprendidos entre 0.25 y 2.5 m^3/s, cuya evolución temporal indica un importante volumen de reservas reguladoras, además de registrar ligero carácter termal (23°C) y facies hidroquímica cloro-sulfatada cálcico-sódica, con mineralización total variable entre 1.6 y 2.1 g/l (García-López, en prep.).

Resultados

En la figura 1 se sintetizan las principales características físico-químicas obtenidas en un muestreo realizado en el acuífero a finales de 1990. Los resultados indican una importante variabilidad espacial, tanto en las temperaturas (entre 18°C y 39°C), como en la mineralización total (entre 0.3 y 2.5 g/l) y en los aniones y cationes predominantes en cada punto.

La evolución hidrogeoquímica de las Fuentes de Marbella muestra una estrecha relación con la evolución del nivel piezométrico del acuífero. A finales de 1989 se inició una crecida extraordinaria motivada por las importantes lluvias del año 1989-90 que prácticamente consiguieron llenar el embalse de Benínar, y cuya curva de decrecida se prolongó durante más de dos años. El cambio hidroquímico producido consistió en el aumento de los contenidos de todos los iones principales, lo que ocurrió con cierto retraso respecto del incremento de niveles piezométricos (fig. 3).

A finales de 1991, el Servicio Geológico del MOPT llevó a cabo varios bombeos con caudales escalonados y un ensayo de recuperación en los puntos 6 y 7 (fig. 1). Ambos sondeos, distantes unos 150 m, tienen unos 210 m de profundidad y captan al acuífero bajo filitas impermeables (fig. 2).

El análisis que hemos realizado sobre los datos correspondientes permite estimar la transmisividad del acuífero en unos $2.5 \cdot 10^4$ m^2/día (a partir del coeficiente B de la ecuación característica del sondeo 7, por lo que se puede considerar como un valor aproximado por defecto: Custodio, 1983), mientras que, a partir de la recuperación en dicho sondeo, el valor que resulta es de algo menos de $1 \cdot 10^4$ m^2/día.

La aguas bombeadas durante las pruebas resultaron netamente termales (alrededor de 40°C) y es de destacar que, en el sondeo 7, la temperatura disminuyó unos 5°C a lo largo del bombeo (fig. 4). La facies hidroquímica de las aguas bombeadas es muy parecida a la de las Fuentes de Marbella (fig. 1).

Discusión

La variabilidad espacial en las características físico-químicas de las aguas del acuífero de Turón-Peñarrodada apuntan hacia la existencia de una estratificación importante, consecuencia de diferentes sistemas de flujo, al menos en las proximidades de las Fuentes de Marbella.

Así, las aguas de circulación superficial, de infiltración más reciente, presentan mineralizaciones relativamente bajas y temperaturas más próximas a las de las aguas de recarga (punto 4, fig. 1). La mineralización y temperatura de las aguas muestreadas aumentan hacia el sector de las Fuentes de Marbella. En el sondeo 2, que es surgente y capta flujos ascendentes a 100 m de profundidad, ambas variables registran valores superiores a los de dicha surgencia. En estos manantiales, por un efecto de homogeneización, se presentan valores intermedios entre los diferentes sistemas de flujo que contribuyen a la descarga natural.

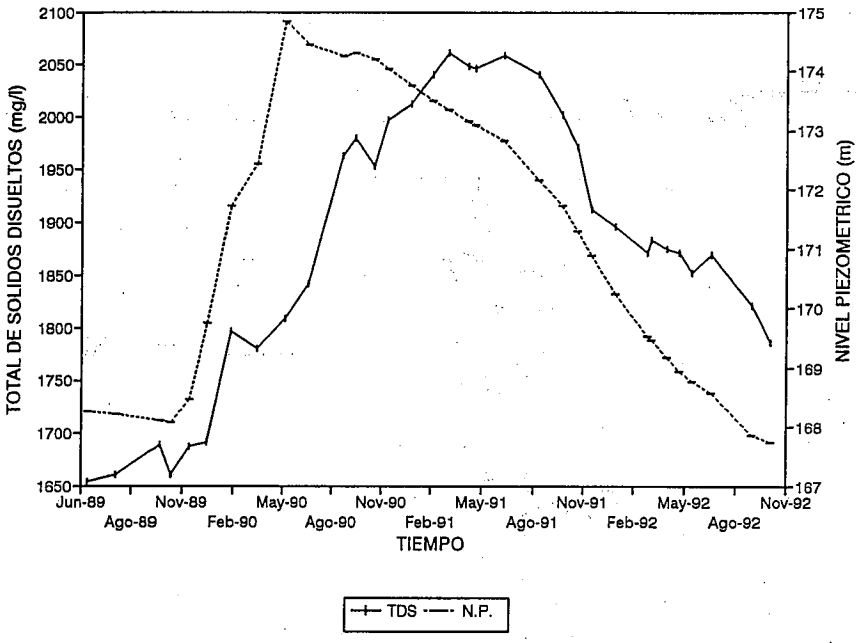

Fig. 3.— Evolución del nivel piezométrico del acuífero (registrada en el punto 4, fig. 1) y del TSD en el agua de las Fuentes de Marbella.

Fig. 3.— Evolution of the aquifer piezometric level (measured in point 4, fig. 1) and of the TDS in the Fuentes de Marbella water.

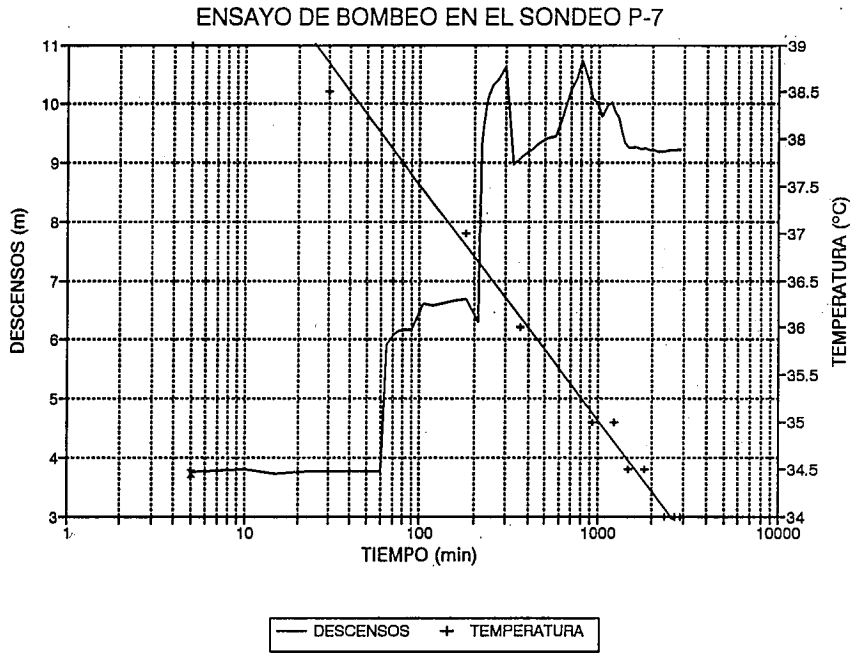

Fig. 4.— Gráfica de descensos-tiempos correspondiente al ensayo de bombeo escalonado en el sondeo 7. También se indica la evolución de la temperatura del agua bombeada.

Fig. 4.— Plot of drawdrown versus time in the step-pumping test of well 7. The evolution of the temperature of pumped water is also indicated.

En este sentido, la evolución registrada en la figura 3 debe de responder a un efecto de tipo pistón, que moviliza aguas que han estado más tiempo en contacto con el acuífero.

Los elevados valores de transmisividad obtenidos en el ensayo de bombeo de 1991, aunque difieren ligeramente según el procedimiento de interpretación empleado, son con todo inferiores a los obtenidos en 1990. En ello debe de influir, bien la menor karstificación de los materiales carbonatados, bien los efectos de una barrera cercana situada al sur de los sondeos ensayados, lo que parece más probable de acuerdo con la información previa disponible.

Las características físico-químicas del agua bombeada en el pozo 7, en especial su elevada temperatura, apuntan a la existencia, aguas-abajo del manantial, de una zona restringida respecto al flujo principal, con escasa renovación del agua almacenada y tiempos de residencia relativamente elevados. La disminución de la temperatura con el transcurso del bombeo también puede ser un argumento a favor de la existencia de una barrera al sur, pues podría interpretarse como el resultado de una mayor recarga hacia el sondeo procedente del sector septentrional, con aguas más frías.

En los últimos años, algunos autores (Estévez *et al.*, 1985; Gervilla, 1985; Balanyá *et al.*, 1987; Campos y Simancas, 1989), reinterpretan la estructura de diversos afloramientos carbonatados del manto de Lújar, entre los cuales se encuentra el de Turón-Peñarrodada, como pertecientes a los flancos invertidos de varios pliegues sinclinales tumbados, de envergadura kilométrica y dirección entre N60E y N90E. Dicho esquema estructural es coherente con los datos hidrogeológicos aquí expuestos y se ha reflejado en los cortes de la figura 2.

Conclusiones

Todos los datos expuestos apuntan a la existencia de un acuífero muy transmisivo, de extensión limitada, que, al menos aguas arriba del sector de descarga natural, presenta cierta estratificación vertical en la temperatura y mineralización de sus aguas, reflejo de flujos con tiempos de residencia crecientes con la profundidad y que, ante un aumento importante y generalizado del nivel piezométrico, responde movilizando en mayor medida aguas profundas, a manera de un efecto de tipo pistón.

En su sector meridional el acuífero es confinado, con gran espesor y geometría en «fondo de saco», con una estructura que podría corresponder a la zona de charnela de un gran pliegue sinclinal tumbado. El agua almacenada existente en dicho sector puede considerarse prácticamente estacionaria, con escaso grado de renovación.

Agradecimientos

Al Servicio Geológico del MOPTMA, por habernos facilitado los datos de ensayos de bombeo y recuperación en el acuífero.

Referencias

Balanyá, J.C., Campos, J., García-Dueñas, V. Orozco, M. y Simancas, J.F. (1987). Geogaceta, 2, 51-53.

Campos, J. y Simancas, J.F. (1989). Geogaceta, 6, 50-52.

Carrasco, A., Carrasco, F., Ruíz-Tagle, M. y Thauvin, J.P. (1981). El Agua en Andalucía, Vol. I, 249-268.

Cardenal, J., García-López, S., Benavente, J. y Cruz-Sanjulián, J.J. (1993). Geogaceta, 14, 3-5.

Custodio, E. (1983). In Hidrología Subterránea, 2ª ed. Ed. Omega. t.I: 610-1002.

Estévez, A., Delgado, F., Sanz de Galdeano, C. y Martín-Algarra, A. (1985). Mediterránea Ser. Geol., 4, 5-32.

Gervilla, F. (1985). Tesis Licenc. Univ. Granada.

García-López, S. (en prep.). Tesis Doct. Univ. Granada.

García-López, S., Carrasco, F., Cruz-Sanjulián, J.J. y Fernández del Río, G. (1991). El Agua en Andalucía. Vol. I, 379-390.

IGME (1977). Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Sur (Almería). Informe Inédito.