

# Análisis de ensayos de bombeo en el acuífero costero de los ríos Verde y Seco (Granada)

*Pumping test analysis in the coastal aquifer of the Verde and Seco rivers (Granada)*

M.C. Hidalgo <sup>(1)</sup>, J. Benavente <sup>(2)</sup> y F. Carrasco <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> E.U.P. Linares, Universidad de Jaén. c/ Alfonso X el Sabio, 28, 23700 Linares.

<sup>(2)</sup> Dpto. Geología Instituto del Agua, Universidad de Granada. c/ Ramón y Cajal, 2, 18071 Granada.

<sup>(3)</sup> Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga. 29071 Málaga.

## ABSTRACT

*A series of pumping tests have been carried out during July 1996 in the alluvial coastal aquifer of the Verde and Seco rivers (Granada). The interpretation also included data from other previous tests in 1972 and 1986. The results obtained indicate hydraulic conductivity values in the Verde river aquifer between 100 and 900 m/day, as a consequence of differences in lithology of the deposits. In the Seco river aquifer there is only one value of 50 m/day. These results are in good agreement with those obtained by the application of borehole dilution tests and validate the corresponding data included in some mathematical models. Such values are supposed to be responsible for the very active dynamics shown by the Verde river aquifer with respect to the seawater intrusion-extrusion processes.*

**Key words:** *transmissivity, hydraulic conductivity, pumping tests, alluvial aquifer.*

*Geogaceta, 30 (2001), 59-62  
ISSN:0213683X*

## Introducción

Los ríos Verde y Seco desembocan en el núcleo de Almuñécar, en la costa de la provincia de Granada, después de discurrir por los términos municipales de Otívar y Jete (Fig. 1). Sus aluviones, que ocupan una extensión de 4 km<sup>2</sup> aproximadamente, constituyen acuíferos que son objeto de intensa explotación, sobre todo en el caso del primero de tales cursos.

Aparte del indudable interés práctico de los estudios hidrogeológicos en el acuífero del río Verde, hay que destacar la relativa abundancia de trabajos científicos en el mismo. Esto deriva, por una parte, del particular comportamiento de este acuífero costero respecto a los procesos de intrusión y extrusión de agua marina, que se caracterizan por una dinámica muy activa (Fernández-Rubio *et al.*, 1986). Por otra parte, existe una red piezométrica bastante completa que permite la realización de diferentes tipos de ensayos y controles hidrodinámicos y físico-químicos de las aguas subterráneas. El grado de conocimiento científico de este acuífero ha permitido su modelización matemática mediante distintas aproximaciones y con diferentes objetivos (Calvache y Pulido, 1990 y 1991; Padilla *et al.*, 1997a y b).

Dicho nivel de conocimientos contrasta, sin embargo, con la escasez de medidas directas a partir de ensayos de bombeo —como se recoge en Benavente (1982)— de las variables hidrogeológicas básicas: la conductividad hidráulica y la porosidad o el coeficiente de almacenamiento del acuífero. A este respecto, sólo los trabajos de Benavente y Calvache (1988) y Calvache y Benavente (1988) ofrecen información, aunque a partir de estimaciones indirectas, sobre la variación espacial de tales variables en el conjunto del acuífero, lo que ha servido para las fases de modelización antes mencionadas.

El presente trabajo contribuye a solventar dicha carencia de datos directos, en tanto que presenta e interpreta resultados de varios ensayos de bombeo, realizados en julio de 1996 en diferentes puntos del acuífero a instancias de la Confederación Hidrográfica del Sur de España, CHSE. También se incluye la interpretación de datos procedentes de pruebas realizadas con anterioridad por el Servicio Geológico de Obras Públicas, SGOP, en 1972 y por personal de la Universidad de Granada y de la CHSE en 1989, cuyos datos nos han sido suministrados por este último organismo. En la figura 1 se incluye la naturaleza y localización de los pun-

tos considerados, de los que tan sólo uno se localiza en el acuífero del río Seco.

## Características de los ensayos y metodologías de interpretación

En la Tabla 1 se indican las principales características de los ensayos. En su mayoría se trata de captaciones totalmente penetrantes. Los caudales de bombeo varían entre 10 y 80 l/s, según los puntos. Las duraciones más frecuentes han estado entre 7 y 15 h (Tabla 1).

La principal particularidad hidrológica que cabe destacar para la campaña de ensayos de Julio de 1996 es la circulación de caudales por el río Verde hasta poco antes de alcanzar el mar. Esta circunstancia es bastante excepcional, y la razón hay que buscarla en las importantes precipitaciones registradas durante ese año. Esto, junto a la proximidad de los puntos al cauce (Tabla 1), ha motivado la estabilización en los descensos producidos en los pozos de bombeo y la ausencia de descensos medibles en los puntos de sus inmediaciones escogidos como piezómetros de observación. Esta es la razón por la que los únicos casos en que se han considerado medidas en piezómetros han sido en los datos revisados de pruebas anteriores a 1996.

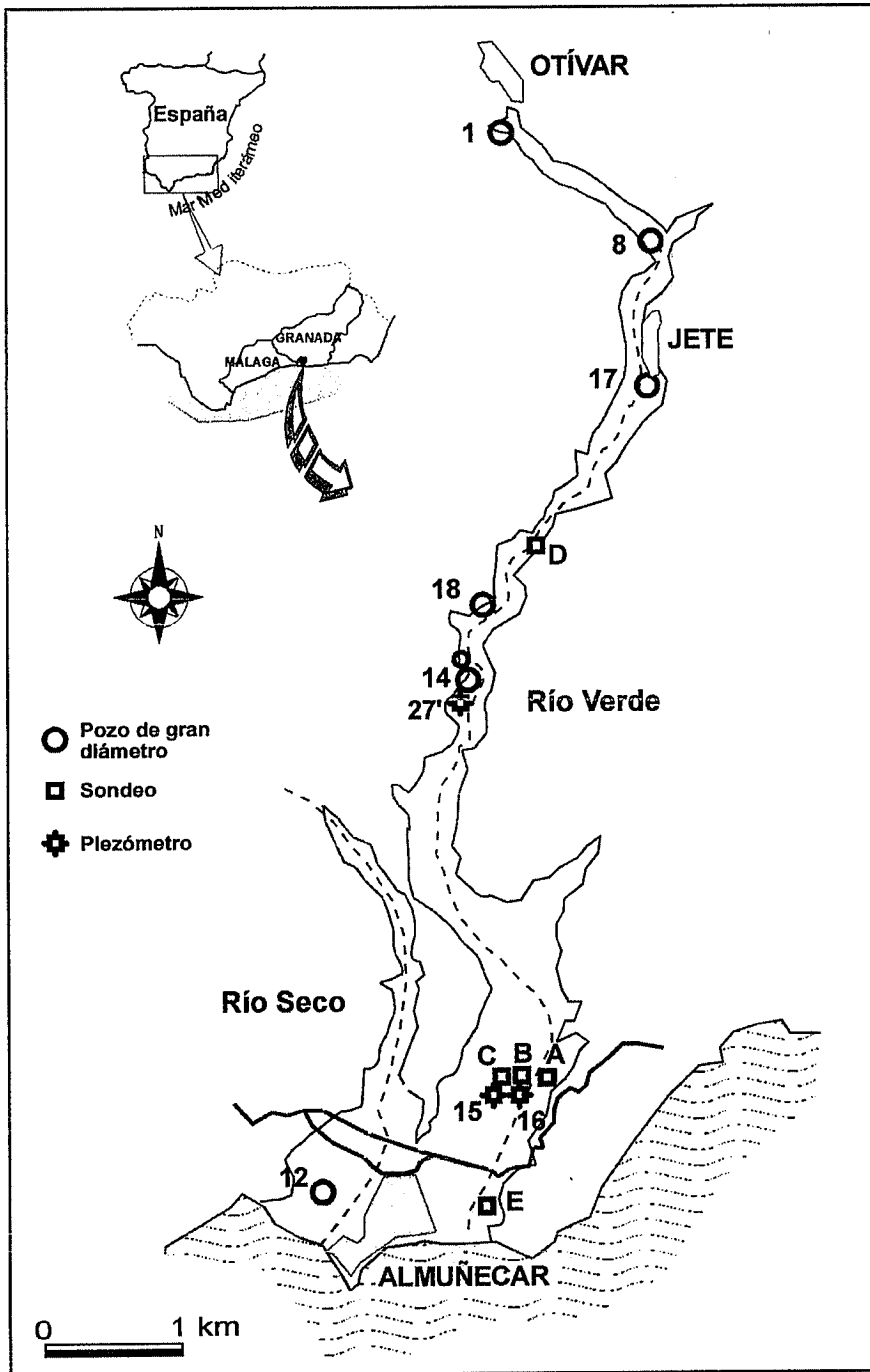


Fig. 1.- Situación y naturaleza de los puntos de realización de los ensayos de bombeo.

Fig. 1.- Location and characteristics of pumping test sites.

La interpretación de los ensayos de Julio de 1996 se ha llevado a cabo mediante los métodos de Theis y Jacob durante los tramos previos a la estabilización. Estos periodos han sido desde 15 minutos hasta 9 horas, en función de las condiciones concretas de cada punto. Tras la estabilización de niveles, se ha empleado la fórmula de Thiem, habida cuenta de que en la mayoría de los casos se disponía de una acotación del radio de influencia (Tabla 1). Aunque se trata de

un acuífero libre, no ha sido necesario efectuar la corrección de Dupuit en la mayoría de los casos. Los valores de transmisividad obtenidos han sido muy similares, independientemente de considerar condiciones estacionarias o transitorias.

En todos los casos se han analizado también las gráficas de recuperación. En los ensayos de Julio de 1996, se han puesto de manifiesto, en la mayoría de los casos, los efectos de la recarga inducida a partir del río. En algún caso se ha podido

aplicar el método de las imágenes y caracterizar la influencia de dicho límite de recarga en las gráficas obtenidas.

**Resultados y discusión**

Los valores de transmisividad (T) obtenidos en cada punto analizado a partir de los tramos de bombeo y los de recuperación son bastante similares, como se desprende, por ejemplo, de los resultados de los ensayos realizados por el SGOP (A, B y C, Tabla 2).

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para los valores de T. Como los espesores saturados de acuífero son suficientemente bien conocidos se han podido estimar también los valores de conductividad hidráulica (K). En dicha tabla se han incluido además los valores de estas dos variables obtenidos de otros ensayos previos en dos puntos cuya localización también se incluye en la Figura 1.

En el sector de cabecera del acuífero (Otívar) se obtienen valores de K entre 150 y 350 m/día. A la altura de Jete se alcanza un valor superior (unos 750 m/día). Aguas abajo se observa una cierta disminución (250 y 300 m/día). En el sector entre los términos municipales de Jete y Almuñecar, K aumenta (unos 600 m/día). En el sector central de la vega de Almuñecar (puntos A, B, C e inmediaciones) se registran los valores más elevados, del orden de 800 a 900 m/día, y se aprecia una ligera disminución antes de alcanzar el borde costero. Por el contrario, los valores mínimos se han obtenido en el tramo final del sector de río Seco, del orden de 50 m/día.

Las variaciones espaciales identificadas en los valores de K deben reflejar diferencias en la granulometría de los materiales acuíferos, aspecto que ya se conocía a partir de la realización de los sondeos piezométricos de la red de control de la CHSE. En general, estos valores resultan algo superiores a los obtenidos en un tratamiento semicuantitativo previo, a partir de la testificación litológica de tales sondeos (Benavente y Calvache, 1988).

A partir de una serie de ensayos de dilución en piezómetros distribuidos a lo largo del acuífero (Benavente *et al.*, 2000), se han obtenido valores del flujo específico entre 7 y 10 m/día, para una situación excepcional de aguas altas, y entre 3 y 8 m/día para una situación de aguas bajas. Estos valores permiten estimar la conductividad hidráulica a partir de la ley de Darcy, pues los gradientes hidráulicos son conocidos (alrededor del 1%). Se obtienen así valores muy similares a los obtenidos en los ensayos aquí analizados.

Fecha	Nº	Profundidad (m)	Penetración %	Caudal (l/s)	Tiempo (h)	R (m)	r (m)	r <sub>río</sub> (m)
07-96	1	25	100	30	8	R < 35	0	15
07-96	8	25	100	27-40	12,5	R < 50	0	15
07-96	17	16	70	22	66	R < 75	0	20
07-96	18	20	71	16	13		0	20
07-96	12	10	32	15	8	R < 25	0	100
08-89	14	35	100	78,5	8		22 y 95	
04-89	C	60	100	82	3		65 y 195	
08/09-72	A, B, C	50-60	100	60-80	7-12		0	

Tabla 1.- Resumen de las características de los dispositivos de bombeo. R, radio de influencia; r, distancia a piezómetros; r<sub>río</sub>, distancia al cauce del río.

Table 1.- Summary of pumping well's characteristics. R, influence length; r, distance to observation piezometers; r<sub>río</sub>, distance to the stream.

Los ensayos analizados apenas permiten precisar acerca de los valores del coeficiente de almacenamiento (S) o de la porosidad eficaz del acuífero. En el trabajo de García-García *et al.* (1981), se obtiene un valor de porosidad eficaz del 9% en el ensayo del punto D. En los únicos dos ensayos con piezómetros del presente estudio, se obtienen valores ligeramente inferiores al 1%. Esto tal vez está relacionado con un cierto confinamiento del acuífero bajo una capa superficial limosa de algunos metros de espesor, que aparece en el tercio final del acuífero. Calvache y Pulido (1990) identifican también esta circunstancia de alta difusividad hidráulica (T/S) y la confirman mediante el análisis de efectos tidales.

### Conclusiones

Se han analizado e interpretado datos procedentes de ensayos de bombeo en una serie de puntos distribuidos a lo largo del acuífero aluvial de los ríos Verde y Seco. La mayor parte de los ensayos se han realizado durante Julio de 1996, con la particularidad de que -al tratarse de un año de excepcional pluviosidad- el río Verde discurría con caudal en la proximidad de los puntos de bombeo, imponiendo condiciones de estabilización de niveles y de descensos nulos en piezómetros seleccionados en sus inmediaciones.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto valores de conductividad hidráulica en el acuífero aluvial del río Verde entre 100 y 900 m/día, según los sectores, mientras que en el río Seco el único resultado obtenido indica un valor inferior (50 m/día).

	Bombeo a 60 l/s		Bombeo a 80 l/s	
	T <sub>DESCENSO</sub>	T <sub>RECUPERACIÓN</sub>	T <sub>DESCENSO</sub>	T <sub>RECUPERACIÓN</sub>
A	47434	47434	42163	31622
B	31622	47434	31622	50595
C	47434	37946	36134	36134

Tabla 2.- Valores de transmisividad (expresados en m<sup>2</sup>/día) obtenidos por dos procedimientos a partir de los ensayos de bombeo realizados por el SGOP en 1972.

Table 2.- Transmissivity values (expressed in m<sup>2</sup>/day) calculated by pumping and recovery data from the SGOP pumping tests in 1972.

Número	T (m <sup>2</sup> /día)	K (m/día)
1	7000-10000	350
8	2100-3000	150
17	10000-11000	750
D	4500	300
18	3100-3400	250
14	8000-10000	900
C-15	32000-35000	850
A, B, C	32000-50000	600
E	25000-40000	650
12	1500-1700	50

Tabla 3.- Resultados obtenidos para los valores de transmisividad (T) y conductividad hidráulica (K) en el acuífero de los ríos Verde y Seco. D tomado de García-García *et al.* (1981). E a partir de datos de Fernández-Rubio (1972) y López-López (1974) (en Benavente, 1982).

Table 3.- Transmissivity (T) and hydraulic conductivity (K) values obtained in the aquifer of the Verde and Seco rivers. D from García-García *et al.* (1981). E from data of Fernández-Rubio (1972) and López-López (1974) (in Benavente, 1982).

Estos resultados amplían los escasos datos previos publicados sobre parámetros hidráulicos de estos acuíferos obtenidos a partir de medidas directas. También validan los datos al respecto incluidos en las distintas modelizaciones matemáticas antes mencionadas y son congruentes con los que resultan de la aplicación de otras metodologías, como los ensayos de dilución en piezómetros. También corroboran la dinámica particularmente activa que muestra el acuífero del río Verde en relación con los procesos de intrusión-extrusión marina.

#### Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del "Estudio hidrogeológico de los recursos de aguas superficiales y subterráneas de los ríos Verde y Seco (Granada)", realizado por Andaluza de Ingeniería y

Consulta, S.A. para la Confederación Hidrográfica del Sur de España. Nuestro reconocimiento al Ingeniero-Director de dicho estudio, D. Alfonso Santos-Olmo Díaz, por la confianza depositada. También a los geólogos Otilia Padial Reyes y Francisco Pérez Rojas por su colaboración.

#### Referencias

- Benavente, J. (1982): Tesis Doctoral, Univ. Granada.
- Benavente, J. y Calvache, M.L. (1988): *La Intrusión en España. TIAC'88*: 385-394.
- Benavente, J., Almécija, C., Carrasco, F., Vadillo, I., El Amrani, N. y Santos-Olmo, A. (2000): *Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas en hidrogeología*, ITGE, pp. 267-272.
- Calvache, M.L. y Benavente, J. (1988): *La Intrusión en España. TIAC'88*: 375-384.

- Calvache, M.L. y Pulido, A. (1990): *Estudios Geol.*, 46: 301-316.
- Calvache, M.L. y Pulido, A. (1991): *J. Hydrol.*, 129:195-213.
- Fernández-Rubio, R. (1972): Informe inédito, 27 pp.
- Fernández-Rubio, R., Jalón, M., Benavente, J. y Fernández-Lorca, S. (1986): *II Simp. Agua en Andalucía*, II: 303-314.
- García-García, J.L., Ollero, E. y Benavente, J. (1981): *I Simp. Agua en Andalucía*, II: 675-687.
- López-López, J. (1974): Trabajo monográfico Dpto. Hidrogeología, Univ. Granada, 112 pp.
- Padilla, F., Benavente, J. y Cruz-Sanju-lián, J. (1997a): *Estudios Geol.*, 53:173-182.
- Padilla, F., Benavente, J. y Cruz-Sanju-lián, J. (1997b): *Environm. Geology*, 33(1):72-80.