

ESTIMACION DE LA PERMEABILIDAD EN EL ACUIFERO COSTERO DE ALMUÑECAR

Resumen

Abstract

I. Introducción

II. Justificación. Antecedentes

III. Datos de partida

IV. Metodología

V. Resultados

VI. Discusión

Agradecimientos

Referencias

TIAC'88. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros
Almuñécar (Granada, España). 1988

ESTIMACION DE LA PERMEABILIDAD
EN EL ACUIFERO COSTERO DE ALMUÑÉCAR

BENAVENTE HERRERA, José
CALVACHE QUESADA, María Luisa

Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada e Instituto Andaluz
de Geología Mediterránea (Universidad de Granada-CSIC)

RESUMEN

A pesar de su notable interés hidrogeológico, en el acuífero de Almuñécar (Granada) apenas existen datos de permeabilidad de los materiales y se carece por completo de estimaciones relativas a la anisotropía mostrada por dicho parámetro. En este trabajo se analizan los resultados de la interpretación al respecto procedente de las columnas litológicas de treinta sondeos piezométricos, efectuados por la Comisaría de Aguas del Sur de España. Los valores máximos de permeabilidad, entre 200 y 500 m/día, se localizan en perforaciones situadas próximas o sobre la traza de un paleocauce reconocido en investigaciones anteriores, al que también están asociados los mayores espesores de acuífero. Los valores más bajos de permeabilidad, del orden de 1 m/día, se encuentran en el sector costero del río Seco. La anisotropía en el sector del río Verde es del orden de 10^3 en el área de cabecera y de 10^4 en la mitad de acuífero más próxima a la costa; en el sector del río Seco es del orden de 10^2 .

ABSTRACT

In spite of the high hydrogeological interest only a few material permeability data are available in the Almuñécar aquifer (Granada). Also, no information about anisotropy of permeability has been treated so far. In this paper, these parameters are obtained after the interpretation of the lithology of thirty drilled boreholes carried out by the Comisaría de Aguas del Sur de España. Maximum permeability values between 200-500 m/day, are placed over or near a palaeochannel design identified in earlier researchs, where the higher thicks are present. Lower permeability values (about 1 m/day) are found in the river Seco coastal sector. The anisotropy is the order of 10^3 and 10^4 in the headwaters area and the most coastal half part of the river Verde sector respectively. Values of the order of 10^2 belong to river Seco sector.

I. INTRODUCCION

El acuífero de Almuñécar ha despertado un gran interés hidrogeológico en los últimos años. Durante la década de los setenta la atención se dirigía hacia el progresivo incremento de la explotación de las aguas subterráneas como soporte de la importante transformación agraria registrada en el sector. El hecho de que tal explotación se llevara a cabo sin un control hidrogeológico riguroso, unido al carácter relativamente limitado de los recursos de las cuencas de los ríos Verde y Seco en relación con la importante demanda (concentrada, sobretudo, en los meses de estiaje, debido a los requerimientos turísticos) motivó la aparición desde principios de la década de los ochenta, de síntomas alarmantes de salinización del acuífero por intrusión marina. En el trabajo de Benavente y Fernández-Rubio (1983), se tratan más detalladamente las circunstancias que han condicionado este proceso de contaminación.

En los últimos años, y como consecuencia del deterioro en la calidad de las aguas subterráneas a que se acaba de aludir, el acuífero de Almuñécar es objeto de controles detallados tanto piezométricos como hidroquímicos, de manera que las pautas principales de su funcionamiento se conocen y han sido acotadas con cierta precisión. También se ha avanzado notablemente en el conocimiento de la geometría del acuífero. Frente a esta situación, existe una importante carencia de datos hidrogeológicos básicos, como es la permeabilidad. Este trabajo pretende contribuir a cubrir el referido hueco de información hidrogeológica.

II. JUSTIFICACION. ANTECEDENTES

En un trabajo previo (Benavente, 1982) en el que se analizaba la problemática hidrogeológica de la Costa del Sol granadina, se recomendaba, al par que mantener redes de control piezométrico e hidroquímico, realizar la simulación matemática de los acuíferos detríticos como herramienta básica para la correcta gestión hídrica de los mismos. Habida cuenta de la problemática actual, tales modelos de simulación deberían tener en cuenta no solamente el propio flujo subterráneo sino el transporte de sustancias en disolución (nos referimos, fundamentalmente, al estudio de los procesos de difusión y dispersión hidrodinámica que condicionan la mezcla de las aguas marinas con las aguas dulces que ocupan el acuífero). En este contexto se inscribe la labor de investigación que actualmente desarrolla uno de nosotros (M.L.C.Q.).

Es obvio que sin una estimación de la permeabilidad del acuífero no puede disponerse de modelos que, con un mínimo de garantías, respondan a las expectativas antes planteadas.

No solo se requiere este parámetro para el ajuste de modelos matemáticos sino, lo que tal vez tiene más trascendencia práctica, para conocer con exactitud los caudales que pueden obtenerse en cualquier punto del acuífero, los descensos que puedan producirse en relación con determinadas alternativas de explotación o, reciprocamente, y a buen seguro más acorde con las expectativas actuales, la posibilidad del acuífero de admitir más o menos caudales en determinados puntos. No hay que olvidar, en relación con esto último, que la recarga artificial del acuífero a partir de aguas ya utilizadas, o de eventuales excedentes hídricos procedentes de

Áreas vecinas, es una alternativa a la que conviene prestar cada vez más atención, si se quiere tratar de paliar la situación de déficit hídrico que actualmente existe.

En el acuífero de Almuñécar eran muy escasos los antecedentes que aportaban algún tipo de información para la evaluación del parámetro cuyo conocimiento constituye el objetivo de este trabajo.

Los datos directos procedentes de ensayos de bombeo o recuperación, presentan, además, el inconveniente de su fiabilidad (en Benavente, 1982, se resume la información existente al respecto). Así, por ejemplo, resultan valores de transmisividad comprendidos entre 2.000 y 90.000 m²/día. Con todo, en el citado trabajo se apuntan valores aproximados de permeabilidad de 300 m/día en el sector de las Angosturas y del orden de 100 - 250 m/día en el área central de la vega de Almuñécar. Las diferencias, lógicamente, están en relación con los rasgos granulométricos de los sedimentos. Las variaciones en la transmisividad debían de ser más grandes debido a que el espesor saturado de acuífero en este último sector es más de tres veces superior al que existe aguas arriba.

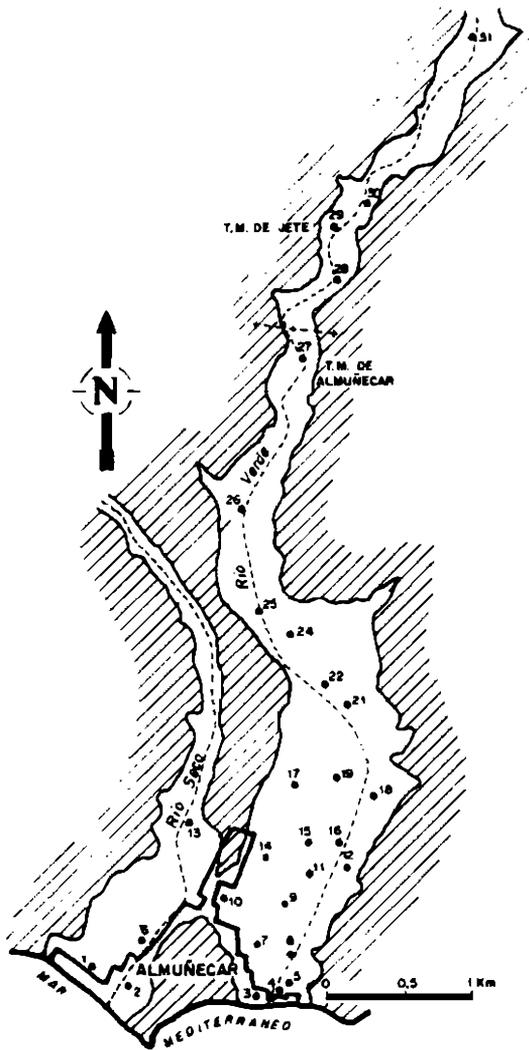
Los datos anteriores, además de ser solamente orientativos al estar basados en una información muy precaria, se refieren a la permeabilidad horizontal. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que la naturaleza sedimentológica de los depósitos fluviales produce una elevada anisotropía en la permeabilidad.

El conocimiento de la permeabilidad vertical, que puede ser de importancia menor en la estimación del caudal a extraer en las captaciones, se revela como de suma importancia en el caso de determinadas instalaciones de recarga artificial, donde la componente principal de flujo procede fundamentalmente en esa dirección. Además, el conocimiento de la anisotropía en la permeabilidad es básico para identificar el trayecto del agua subterránea (redes de flujo) y la correspondiente distribución de los potenciales hidráulicos.

III. DATOS DE PARTIDA

Nuestra aproximación al estudio de la permeabilidad del acuífero es indirecta, basada en metodologías de gabinete.

Hemos partido de los partes litológicos correspondientes a las columnas atravesadas en una serie de sondeos piezométricos efectuados por la empresa RODIO por encargo de la Comisaría de Aguas del Sur de España en el año 1984. La situación de estos piezómetros se indica en la figura 1. En la mayoría de los puntos la información litológica procede únicamente de la descripción del sondista, lo que ha de tenerse en cuenta a la hora de valorar, en definitiva, la representatividad de los resultados de este trabajo. En tres de los sondeos, sin embargo, el registro litológico se llevó a cabo por personal especializado (geólogo del MOPU), complementado, a su vez, con la realización de ensayos granulométricos en algunos de los tramos de la columna.



Punto	Kh (m/día)
1	1,9
2	1,1
3	350,0
4	sd
5	45,4
6	67,9
7	226,4
8	15,0
9	37,2
10	68,6
11	sd
12	sd
13	136,1
14	461,2
15	sd
16	30,9
17	346,6
18	sd
19	210,2
21	16,0
22	138,1
23	sd
24	43,6
25	208,5
26	24,1
27	27,7
28	15,3
29	26,2
30	sd
31	101,3

Figura 1. Situación de los sondeos piezométricos de la CASE utilizados en el estudio. En el cuadro se señalan los valores correspondientes de la permeabilidad horizontal (sd: puntos en los que no se ha dispuesto de registro litológico).

Sector		N	Permeabilidad K_v (m/d) K_h		Anis.	T (m^2/d)
Río Verde	A	7	0,69	67	$4,7 \cdot 10^3$	390
	B	12	0,07	153	$2,5 \cdot 10^4$	6.250
Río Seco		4	0,05	52	$4,9 \cdot 10^2$	540

Tabla I. Valores medios de los parámetros calculados en los tres sectores en que se ha subdividido el acuífero de Almuñécar.

Estos resultados se han contrastado con los que resultan de aplicar otras metodologías de gabinete en los sondeos que disponen también de ensayos granulométricos en determinados tramos de la columna (puntos 3 y 5). En el sondeo número 13 se dispone de este último tipo de datos pero no se tiene el registro litológico del sondista.

En este caso el proceso parte del cálculo del diámetro eficaz (d_{10}) de cada muestra, a partir del cual se emplean fórmulas experimentales propuestas por diferentes autores (Hazen, Slichter y Terzaghi). Además, se ha utilizado la clasificación gráfica propuesta por Breddin para asignar valores de permeabilidad al terreno de acuerdo con las características de la curva granulométrica (en Custodio, 1983).

De la comparación entre ambas metodologías resulta una notable semejanza: la mayor diferencia en los valores de permeabilidad horizontal es del orden del 30%, y del 20% para la permeabilidad vertical, aunque en los dos casos dentro del mismo orden de magnitud.

En algunos de los sondeos se efectuaron ensayos de permeabilidad "in situ". Normalmente se trataba de pruebas de admisión de agua efectuadas por la empresa encargada de las perforaciones. Los resultados, sin embargo, no han podido ser interpretados por los procedimientos usuales, excepto en el caso del punto 26, en que se obtuvo un valor de 14 m/día, del mismo orden de magnitud que el obtenido por la metodología de gabinete: 24 m/día.

Para algunos puntos del sector central del acuífero hemos obtenido valores de transmisividad en el rango de 5.000 - 15.000 $m^2/día$, lo que está de acuerdo con los valores que para dicho parámetro se obtienen a partir de ensayos en ese mismo sector (Benavente, 1982).

La permeabilidad horizontal en el sector B es algo más del doble que en el sector A, lo que traduce una granulometría más favorable al flujo subterráneo en aquél. La transmisividad aumenta, sin embargo, más de diez

IV. METODOLOGIA

La asignación de permeabilidades a los distintos materiales reconocidos en las columnas de los sondeos, se ha realizado de acuerdo con el criterio de Silin-Bekchurin (en Harr, 1962. pag. 8) con algunas modificaciones.

La distinción ha sido la siguiente:

gravas	3.000 - 1.000	m/día
arena gruesa	1.000 - 500	m/día
grava arenosa	100 - 20	m/día
arena con grava	10	m/día
arena fina	5 - 1	m/día
arena limosa con grava	2	m/día
grava arcillosa	1	m/día
arena limosa	0.1	m/día
limo arenoso	0.01	m/día
arena arcillosa y limos	0.001	m/día
arcillas y margas	0.0001	m/día

A partir de los valores anteriores (k_i) y de los correspondientes espesores de cada material cortados en cada sondeo (b_i), así como del espesor total atravesado (L), se calculan la permeabilidad global vertical (k_v) y horizontal (k_h) según las fórmulas:

$$\frac{1}{k_v} = \frac{1}{L} \sum \frac{b_i}{k_i}$$

$$k_h = \frac{1}{L} \sum b_i k_i$$

Una vez obtenidos los valores de k_v y k_h , hemos calculado el coeficiente de anisotropía (a) que resulta para cada sondeo: $a = k_h/k_v$.

Como también disponemos de datos piezométricos en los sondeos, hemos calculado la transmisividad (T) a partir del producto entre k_h y el espesor saturado (b). Para el cálculo de este último parámetro hemos tenido en cuenta la piezometría correspondiente a Octubre de 1987. En ese año los valores mínimos se alcanzaron en Agosto y los máximos en Marzo.

V. RESULTADOS

En base a criterios hidrogeológicos, hemos considerado el acuífero del río Verde dividido en dos sectores. Uno de ellos corresponde al sector aguas arriba del punto 24 (A) y representa el tramo en el que el río se encuentra encajado. Aguas abajo de dicho punto, el valle fluvial se ensancha y se ha tratado de una manera separada (B). Los puntos situados en el acuífero del río Seco se tratan, así mismo, separadamente.

En la tabla I se indican los valores medios para los parámetros hidrogeológicos investigados en los tres sectores en que se ha dividido el acuífero de Almuñécar.

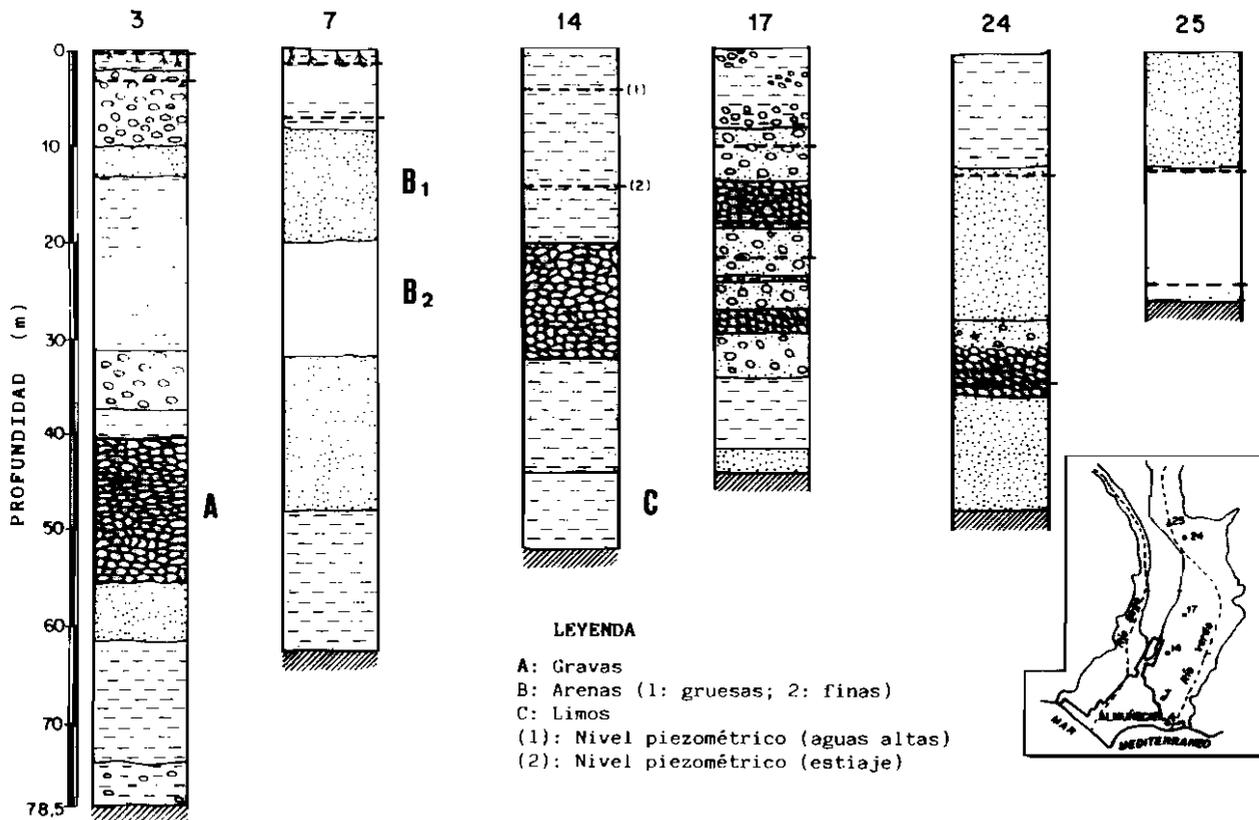


Figura 2. Esquema de las columnas litológicas atravesadas en algunos de los sondeos piezométricos.

veces en el sector B respecto al A, como consecuencia del incremento de espesor saturado, además del propio aumento en la permeabilidad. La permeabilidad vertical es más de diez veces menor en el sector B que en el A, lo que debe obedecer a la mayor frecuencia de intercalaciones de material fino. Consecuentemente la anisotropía resulta ser unas cinco veces superior en el sector situado más aguas abajo.

En el río Seco, la permeabilidad horizontal media que resulta es del mismo orden de magnitud, aunque ligeramente inferior, al sector de aguas arriba en el aluvial del río Verde. La permeabilidad vertical es, sin embargo, semejante a la que se encontraba en el sector de aguas abajo en este último acuífero.

VI. DISCUSION

El análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los sondeos pone de manifiesto que los valores más elevados de la permeabilidad horizontal corresponden a los puntos 14, 3, 17 y 7. Estos puntos están situados todos ellos en el tercio más próximo a la costa del acuífero del río Verde y en la margen derecha de dicho curso. Su posición se sitúa aproximadamente en la traza de un paleocauce reconocido en investigaciones precedentes (Fernández-Rubio, 1972; López López, 1974) y cuya presencia ha sido también puesta de manifiesto por criterios hidrodinámicos e hidroquímicos (Benavente, 1982; Benavente et al., 1984).

Se da la circunstancia, además, que estos sondeos son, por lo general, los que alcanzan mayor profundidad del acuífero, lo que también contribuye a confirmar el origen sedimentológico en relación con el relleno de antiguos canales del río. Ambas circunstancias implican que en relación con estos puntos se hayan obtenido los valores de transmisividad más elevados de todo el acuífero, superiores a $5.000 \text{ m}^2/\text{día}$, con un máximo, ligeramente por encima de los $25.000 \text{ m}^2/\text{día}$, en el punto 3. Se trata, por tanto, de un enclave hidrogeológicamente favorable para obtener en las captaciones caudales más altos que en los sectores próximos, aunque, como ha sido señalado en el mencionado trabajo de Benavente et al. (1984), parece serlo también para la penetración del agua de origen marino.

En la figura 2 se representan los cortes litológicos de las columnas de seis sondeos, cuatro de los cuales corresponden a los puntos más permeables antes citados. Los niveles constituidos por gravas limpias son apreciables sobre todo en los sondeos 17 (a 13 - 18 m y 22 - 25 m de profundidad), 14 (20 - 31 m) y 3 (41 - 56 m). En estos niveles se aprecia además un proceso de granoclasificación en el sentido de que la parte inferior está ocupada por cantos o bolos de mayor tamaño, lo que representa un argumento adicional al modelo sedimentológico al que hemos hecho repetida alusión en este último apartado.

Los valores más bajos de permeabilidad horizontal, inferiores a $20 \text{ m}^2/\text{día}$, se obtienen en el borde costero del sector del río Seco.

Los valores más bajos de anisotropía, del orden de 50, se encuentran en los puntos 25 y 8. En ambos casos debido a que la permeabilidad vertical presenta, a su vez, los valores más elevados del acuífero (3 y $0.25 \text{ m}^2/\text{día}$ respectivamente). Estos puntos presentan una transmisividad del mismo orden

de magnitud, entre 500 y 1.000 m²/día, aunque su espesor difiere sensiblemente, siendo practicamente el doble en el 8 que en el 25.

AGRADECIMIENTOS

Los autores testimonian su reconocimiento a la Comisaría de Aguas del Sur de España por la cesión de los datos sobre los que se ha desarrollado este estudio. En concreto, nuestro agradecimiento al Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos de dicho organismo, D. Antonio Molina Cobos, por su decidido apoyo a las labores de investigación. También a D. Juan Rosillo por la eficaz colaboración prestada.

REFERENCIAS

- BENAVENTE, J. (1982). Contribución al conocimiento hidrogeológico de los acuíferos costeros de la provincia de Granada. Tesis doctoral. Universidad de Granada. 435 p.
- BENAVENTE, J. y FERNANDEZ-RUBIO, R. (1983). Impacto hidrológico de la transformación agraria en el valle de Almuñécar (Granada). II Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. I: 32 - 50. Lérida.
- BENAVENTE, J., FERNANDEZ-RUBIO, R. y JALON, M. (1984). Intrusión marina en el acuífero costero del río Verde (Granada). I Congreso Español de Geología. IV: 75 - 86. Segovia.
- CUSTODIO, E. (1982). Teoría elemental del flujo del agua en los medios porosos. In Custodio, E. y Llamas, M.R. (Eds.). Hidrología Subterránea. Ed. Omega. Barcelona.
- FERNANDEZ-RUBIO, R. (1972). Estudio hidrogeológico de la captación existente en el Cortijo de Fuentepiedra (Almuñécar, Granada). Informe (inédito). Cátedra de Hidrogeología. Univ. Granada. 27 p.
- HARR, M.E. (1962). Groundwater and seepage. McGraw-Hill Book Co., 315 p.
- LOPEZ LOPEZ, J.F. (1974). Estudio hidrogeológico de los ríos Seco y Verde (Almuñécar, Granada). Trabajo monográfico (inédito). Cátedra de Hidrogeología. Universidad de Granada.