

Variabilidad de la transmisividad en acuíferos carbonatados alpujárrides de las cordilleras Béticas

Variability of transmissivity in alpujárrides carbonate aquifers of the Betic

Adela Hódar Pérez¹, Crisanto Martín Montañés² y Manuel López Chicano³

¹ Consultoría, Gran Capitán, nº 17, 3ªA, 18002-Granada, España. adelahodar@yahoo.es

² Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Granada, Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo. 18006-Granada, España. c.martin@igme.es

³ Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Avda. Fuentenueva s/n. 18071-Granada, España. mlopezc@ugr.es

ABSTRACT

In this study we have collected data from pumping tests of several wells drilled in alpujárride carbonate aquifers, in order to provide treatment and interpretation using computerized means. It has been estimated the transmissivity of the explored aquifers; after that we analyzed their variability, as well as the most probable ranges of transmissivity of the studied aquifers. The results indicate that the alpujárride carbonate aquifers show high transmissivity and a very large spatial variability, being classified as extremely heterogeneous environments.

Key-words: Transmissivity, pumping tests, alpujárride carbonate aquifers.

RESUMEN

En este trabajo se han recopilado datos de ensayos de bombeo de sondeos realizados en acuíferos carbonatados alpujárrides con el objeto de proceder a su tratamiento e interpretación utilizando medios informatizados. Se ha estimado la transmisividad de los acuíferos captados y se ha analizado su variabilidad, así como los intervalos más probables de transmisividad que cabrían esperar en los materiales acuíferos estudiados. Los resultados indican que los acuíferos carbonatados alpujárrides presentan una alta transmisividad y una variabilidad espacial muy grande, quedando catalogados como medios extremadamente heterogéneos.

Palabras clave: Transmisividad, ensayos de bombeo, acuíferos carbonatados alpujárrides.

Geogaceta, 54 (2013), 119-122.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 29 de enero de 2013
Fecha de revisión: 25 de abril de 2013
Fecha de aceptación: 24 de mayo de 2013

Introducción

La cuantificación de los parámetros hidráulicos es la base sobre la que se apoya en gran medida el conocimiento hidrogeológico de los acuíferos. Una adecuada planificación de la explotación, el establecimiento de perímetros de protección y distancia entre captaciones, la evolución de un episodio de contaminación, entre otros, son aspectos habituales en los que es necesario tener una buena estimación de los parámetros hidráulicos para obtener unos resultados fiables.

Los ensayos de bombeo son la principal herramienta para conocer y determinar los parámetros hidráulicos de los acuíferos así como para determinar el funcionamiento hidrodinámico de las captaciones de aguas subterráneas y su equipamiento. Sin embargo estos ensayos, frecuentemente, se limitan a conocer la productividad de las cap-

taciones por lo que los datos obtenidos durante los mismos son susceptibles de ser reinterpretados con el fin de ampliar el conocimiento hidrogeológico de los materiales en los que se sitúan dichas captaciones.

En este trabajo se presentan los resultados de la reinterpretación de 15 ensayos de bombeo realizados en pozos construidos en materiales alpujárrides de la Cordillera Bética. La interpretación de los ensayos se ha realizado con la aplicación informática PIBE 2.0 (Padilla y Delgado, 2006). Los resultados conseguidos han permitido analizar la variabilidad de la transmisividad en los materiales investigados.

Marco geológico

Los ensayos de bombeo interpretados se han llevado a cabo en distintos acuíferos carbonatados alpujárrides de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas (Fig. 1).

Las Zonas Internas Béticas constituyen la región más intensamente deformada por la orogenia alpina y presentan, casi de forma generalizada, metamorfismo alpino y prealpino (Vera, 2004). Están formadas, esencialmente, por una pila antiformal de unidades alóctonas superpuestas. En estas se han reconocido tres complejos o subdominios, que de abajo a arriba son: el Complejo Nevado-Filábride, el Complejo Alpujárride y el Complejo Maláguide (Sanz de Galdeano, 1997; Vera, 2004; Meléndez, 2004).

El Complejo Alpujárride está compuesto a su vez por un conjunto de unidades tectónicas superpuestas, que tradicionalmente se ha considerado como un edificio de mantos de corrimiento. Estas unidades están separadas por contactos frágiles postmetamórficos que, en muchos casos, tienen carácter extensional. El Complejo Alpujárride ha sufrido un metamorfismo alpino de mo-

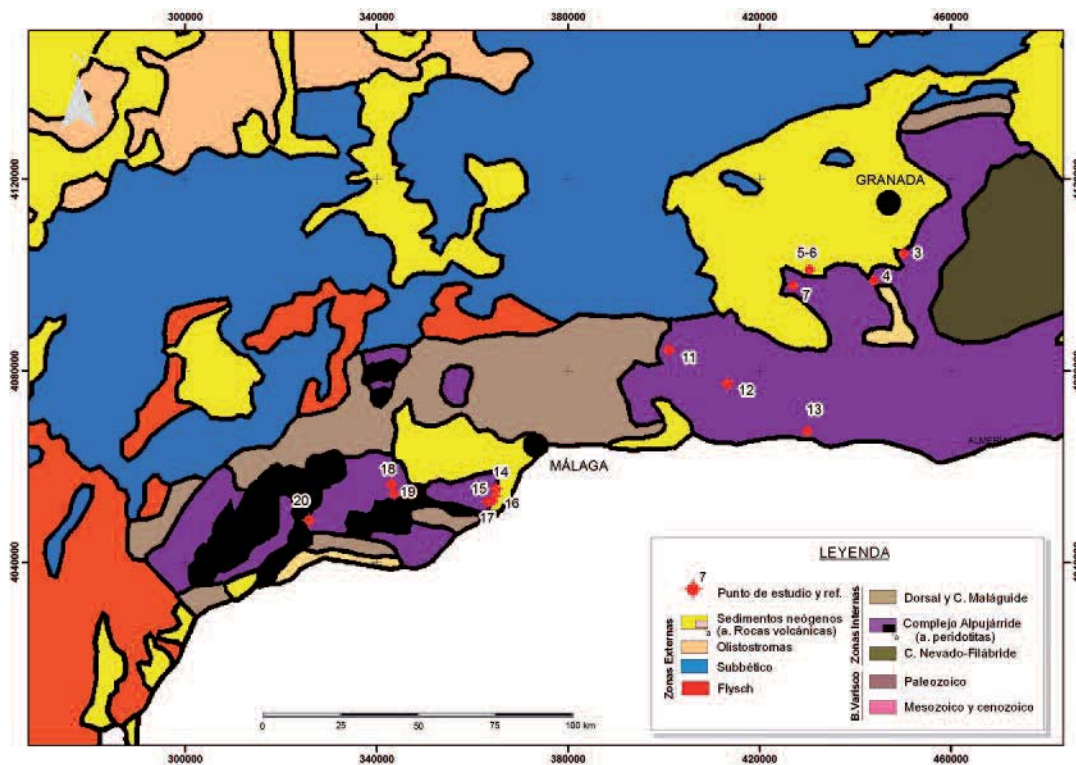


Fig. 1. Situación geológica y geográfica de los sondeos estudiados. Mapa modificado de Pedrera (2008).

Fig 1. Geological and geographical location of the studied wells. Modified from Pedrera (2008).

derado a intenso (Vera, 2004). Las litologías predominantes son los esquistos, filitas y cuarcitas, junto con calizas parcialmente dolomitizadas y marmorizadas.

Materiales y métodos

Para la realización de este estudio se han reinterpretado un total de 15 ensayos de bombeo (Tabla I) realizados en sondeos de las provincias de Granada y Málaga (Fig. 1). La información original procede de la base documental del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

La interpretación de los ensayos de bombeo se ha llevado a cabo utilizando la aplicación informática PIBE 2.0 (Padilla y Delgado, 2006). El programa permite escoger diferentes modelos de interpretación con múltiples opciones y calibración automática, pudiéndose completar esta mediante ajuste manual. Además posibilita la interpretación de los ensayos de bombeo por el método de Theis, Hantush (para acuíferos semiconfinados) y Neuman (para acuíferos libres), así como la aplicación de la corrección de Dupuit para acuíferos libres. También incorpora utilidades que permiten tener en cuenta multitud de condicionantes hidráulicos que pueden influir en la correcta interpretación de los ensayos de bombeo, como son: la presencia de barreras, acuíferos estratificados, pérdidas de carga, efecto

de capacidad y existencia de otros bombeos (Padilla y Delgado, 2006).

El programa da como resultado un gráfico en el que se representan los descensos (o ascensos) frente al tiempo de bombeo (Fig. 2). En este gráfico se pueden observar tanto los datos introducidos, que se representan como puntos, como el ajuste calculado por el programa, representado como una línea continua.

En el proceso de ajuste, el programa ofrece la opción de seleccionar los datos con los que se quiere trabajar, mostrándose en el gráfico resultante los datos activos en color verde y los inactivos en color rojo (Fig. 2). Además, se pueden representar los caudales de bombeo.

El análisis de la variabilidad estadística de la transmisividad se ha realizado mediante el índice de transmisividad $Y = \log(10^4 T)$, descrito por Kránsý (2003). Este índice se ha mostrado como un parámetro hidrogeológico muy válido para comparar estadísticamente distintas poblaciones de transmisividad en diferentes acuíferos, tipos de roca, características de los sondeos según posición estructural o geomorfológica (Kránsý, 2003).

Resultados

La evaluación de los parámetros hidráulicos de los acuíferos carbonatados

captados se ha efectuado a partir de la interpretación de ensayos de bombeo realizados en los sondeos señalados en la figura 1. Los resultados obtenidos se muestran de forma resumida en la tabla I, en la que se indica el acuífero captado, el valor de transmisividad obtenido, el método de interpretación utilizado y el índice de transmisividad de Kránsý.

Los ensayos revisados fueron, en el momento de su realización, interpretados principalmente mediante el método de aproximación logarítmica de Jacob; sin embargo, en este trabajo se han reinterpretado usando en cada caso el método que mejor ajuste ha presentado, como se comentó con anterioridad, el programa PIBE 2.0 permite utilizar las ecuaciones de Theis, Hantush y Neuman.

Como se observa en la tabla I, el valor de la transmisividad puede ser muy variable de un acuífero a otro o incluso en diferentes puntos de un mismo acuífero. Normalmente, en los medios fracturados la distribución de la permeabilidad y de la transmisividad se considera muy compleja y no puede ser generalizada. No obstante, mediante los estudios de distribución de la transmisividad es posible estimar los intervalos probables de este parámetro hidráulico en dichos medios.

Kránsý (2003) establece una clasificación de la magnitud de la transmisividad y

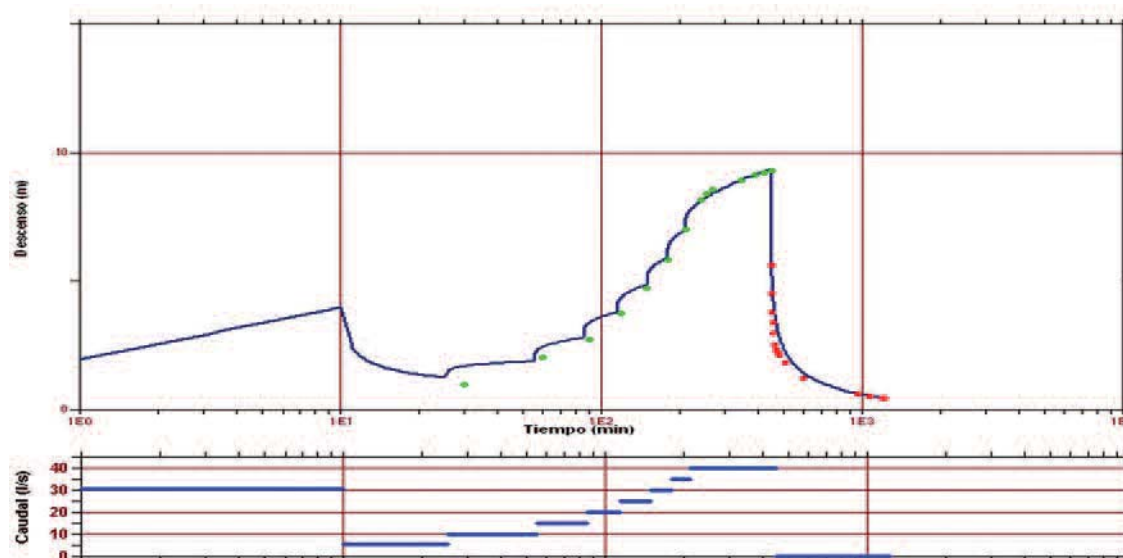


Fig. 2. Ensayo de bombeo ajustado mediante el programa PIBE 2.0. (Referencia 13, Fig.1 y Tabla I).

Fig 2. Pumping test adjustment using PIBE 2.0. (Reference 13, Fig. 1 and Table I).

ACUÍFERO	Referencia	T (m ² /d)	Método de ajuste	Y= Log(10 ⁴ T)
Sierra de Padul	3	24	Neuman	5,38
	4	881	Theis	6,94
Sierra de las Albuñuelas	5 - 6	30	Hantush	5,48
	7	4	Neuman	4,60
Sierra Tejada	11	136	Hantush	6,13
Sierra de Alberquillas	12	195	Neuman	6,29
	13	156	Neuman	6,19
Sierra de Mijas	14	6.959	Neuman	7,84
	15	1.193	Hantush	7,08
	16	3.785	Hantush	7,58
	17	13.000	Hantush	8,11
Sierra Blanca	18	37	Neuman	5,57
	19	7.500	Neuman	7,88
	20	24	Neuman	5,38
MEDIA DEL ÍNDICE Y				6,46
DESVIACIÓN TÍPICA				1,12

Tabla I. Transmisividad ajustada para los distintos acuíferos estudiados e índice de transmisividad de Krásný (Y) calculado.

Table I. Transmissivity adjusted for the different studied aquifers and Krásný's transmissivity index (Y) calculated.

de la variabilidad de la misma en seis clases. Esta clasificación ha sido utilizada en este trabajo y para la aplicación de la misma, a partir de la transmisividad obtenida en cada una de las pruebas de bombeo reinterpretadas, se ha calculado el índice de transmisividad (Tabla I) y se ha representado (Fig. 3) la frecuencia acumulada relativa en el gráfico de Krásný (2003). En este gráfico, el intervalo denominado "fondo hidrogeológico" representa la transmisividad predominante en la población estadística estudiada, mientras que los valores situados fuera de dicho intervalo representan anomalías positivas o negativas. Dentro del fondo hidrogeológico se encuentra el 68 % de los valores del índice Y de toda la mues-

tra estadística, alrededor de la media aritmética.

Según los resultados obtenidos en los materiales acuíferos alpujárrides, la media del índice Y es de 6,46 (T=288 m²/día) y su desviación típica es de 1,12. El fondo hidrogeológico obtenido (Fig. 3) está comprendido entre un índice Y de 5,34 y 7,58 (22 y 3802 m²/día). De aquí se deduce que los valores de transmisividad predominantes en los acuíferos alpujárrides estudiados varían entre valores moderados (Tipo III) y valores muy altos (Tipo I), según la clasificación de Krásný (2003). La media (T=288 m²/día) está situada en el intervalo de valores altos (Tipo II).

Por otro lado la desviación típica de Y

indica que son materiales con una variabilidad de la transmisividad "extremadamente grande" o Clase F (Krásný, 2003), por lo que el medio hidrogeológico estudiado puede ser clasificado como extremadamente heterogéneo.

Discusión

El programa PIBE 2.0 es una herramienta muy útil para la interpretación de ensayos de bombeo. Dispone de la versatilidad necesaria para adaptarse a condiciones irregulares y particulares, lo que permite interpretar ensayos de bombeo que se alejan considerablemente de las condiciones ideales postuladas por Theis, como ocurre con frecuencia con los acuíferos carbonatados. Además incluye la posibilidad de interpretación automática para resolver el problema inverso (Martos-Rosillo, 2008).

La mayoría de los ensayos de bombeo interpretados en este trabajo han presentado un mejor ajuste a la solución de Neuman, en menor medida a Hantush y una minoría a Theis. La formulación de Neuman es la más apropiada para modelizar el efecto del drenaje diferido sobre la evolución de los niveles (Padilla y Delgado, 2006). Así, los resultados obtenidos indican que dicho efecto es habitual en muchos de los ensayos de bombeo realizados en los acuíferos carbonatados estudiados. El drenaje diferido, inherente al vaciado gravitacional, podría deberse a la existencia de microfracturas y fracturas menores saturadas que quedan por encima del nivel dinámico y que experimentan un vaciado más lento que el de las discontinuidades más productivas (Hódar, 2011).

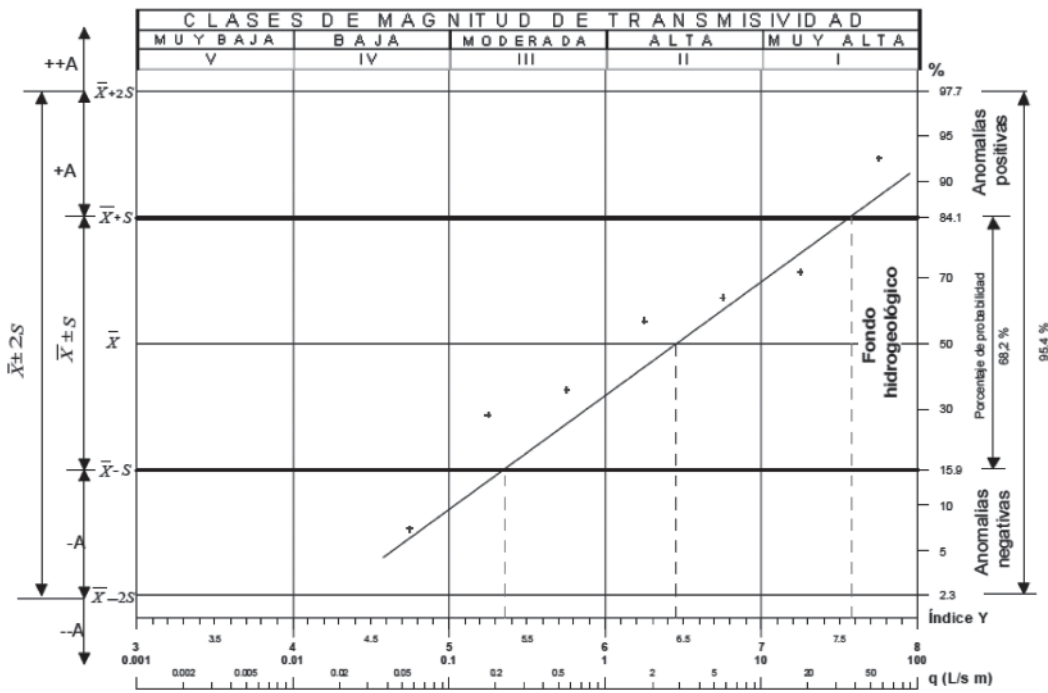


Fig. 3. Distribución de la transmisividad en carbonatos alpujárrides. Interpretación basada en el gráfico de Krásný (2003).
 Fig 3. Transmissivity distribution in alpujárride carbonates. Interpretation based in the graph of Krásný (2003).

Los ensayos de bombeo realizados en acuíferos libres que han presentado un mejor ajuste mediante el método de Hantush han evidenciado un comportamiento más próximo al de un acuífero semiconfinado. Este comportamiento podría explicarse por la existencia de materiales menos permeables y/o tramos masivos de menor transmisividad que actúan como niveles semiconfinantes de las zonas más productivas del acuífero. Así, al menos, parece deducirse de la revisión de las columnas litológicas de algunos de estos sondeos.

Los valores de transmisividad obtenidos a partir de los ajustes realizados utilizando el programa PIBE 2.0 difieren de forma significativa, en aproximadamente la mitad de los casos, del valor que se obtuvo en el informe original. Esto se debe a que esta aplicación informática ha permitido adoptar una solución analítica diferente según el caso interpretado, mientras que los informes originales fueron interpretados mayoritariamente mediante la aproximación de Jacob.

Conclusiones

El análisis de la variabilidad de la transmisividad realizado mediante el índice Y ha puesto de manifiesto que los acuíferos carbonatados alpujárrides presentan una alta transmisividad, con una variabilidad espa-

cial extremadamente grande. La transmisividad media en estos materiales es de 288 m²/día, mientras que si consideramos el rango de valores más frecuentes se obtienen valores entre 22 y 3802 m²/día. Según la clasificación de Krásný (2003) el medio se cataloga como extremadamente heterogéneo.

La transmisividad de los materiales carbonatados estudiados ha resultado ser notablemente diferente dentro de un mismo acuífero. Esto ocurre porque a escala local los valores de la transmisividad varían de un lugar a otro dependiendo de si el sondeo estudiado ha captado fracturas productivas y/o redes de conductos kársticos activas.

La clasificación de Krásný se ha mostrado como un procedimiento efectivo para expresar de forma simplificada la transmisividad predominante en un área y el grado de variabilidad en un tipo concreto de materiales acuíferos. Esta información resulta útil para ser aplicada en la planificación hidrogeológica de los sistemas acuíferos considerados.

Agradecimientos

Se agradece a la unidad de Granada del IGME su acogida para el desarrollo de las prácticas de máster que posibilitaron realizar este estudio, así como los comentarios

de dos revisores anónimos que ayudaron a mejorar el trabajo de forma notable.

Referencias

Hódar, A. (2011). *Evaluación de parámetros hidráulicos en acuíferos carbonatados mediante interpretación de ensayos de bombeo. Aplicación a distintos acuíferos de las provincias de Granada y Málaga*. Trabajo Fin de Máster, Univ. de Granada, 191 p.

Krásný, J. (2003). *Boletín Geológico y Minero* 114, 171-182.

Martos-Rosillo, S. (2008). *Investigación Hidrogeológica orientada a la gestión racional de acuíferos carbonáticos sometidos a un uso intensivo del agua subterránea. El Caso de la Sierra de Estepa (Sevilla)*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 566 p.

Meléndez, I. (2004). *Geología de España. Una historia de seiscientos millones de años*. Ed. Rueda, S.L., Madrid, 277 p.

Padilla, A. y Delgado, J. (2006). *PIBE 2.0. Programa de Interpretación de Bombeos de Ensayo. Manual del usuario*. Diputación Provincial de Alicante, 63 p.

Pedraza, A. (2008). *Structure and tectonic evolution of the Almanzora Corridor and the Western Huércal-Overa Basin (Eastern Betic Cordillera)*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 199 p.

Sanz de Galdeano, C. (1997). *La zona interna Bético-Rifeña. Monográfica tierras del Sur*. Univ. de Granada, 316 p.

Vera, J.A. (Ed), (2004). *Geología de España*, SGE-IGME, Madrid, 890 p. y CD.