

Geometría y distribución espacial de la transmisividad en el Acuífero Mioceno del Sistema Mancha Oriental (Cuenca del Júcar)

Geometry and spatial distribution of the transmissivity in the Miocene Aquifer of the Mancha Oriental System (Jucar River Basin)

D. Sanz ⁽¹⁾, S. Castaño ⁽¹⁾, J.J. Gómez-Alday ⁽¹⁾ y P.E. Martínez-Alfaro ⁽²⁾

⁽¹⁾ Grupo de Teledetección y SIG. Instituto de Desarrollo Regional (IDR). Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). Campus Universitario, s/n. 02071. Albacete. David.Sanz@uclm.es

⁽²⁾ Departamento de Geodinámica. Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid. E-mail: pema@geo.ucm.es

ABSTRACT

The hydrogeologic unit UH2 (Miocene Aquifer) supports a great amount groundwater abstractions and it is hydraulically connected to the Jucar river. Water withdrawal for irrigation purposes has driven to a regional groundwater level lowering which affects not only the river-aquifer system but probably the evolution and the status of the river ecosystems as well. Transmissivity is one of the main factors that control the interactions between groundwater and surface water bodies. In this work, the spatial distribution of transmissivity is analysed by means the use of geostatistical and GIS tools. This hydraulic parameter is studied in combination with the spatial variation of the saturated aquifer thickness. A non-linear relationship is found between transmissivity and saturated thickness as consequence of differences in the development of karstification in the UH2.

Key words: Mancha Oriental System, Saturated aquifer thickness, Transmissivity.

Geogaceta, 43 (2007), 75-78
ISSN: 0213683X

Introducción

La Cuenca del Júcar, y dentro de ella el Sistema Mancha Oriental (SMO), es un magnífico ejemplo de la problemática que la explotación de las aguas subterráneas con fines agrícolas representa para la gestión sostenible de los recursos hídricos en las cuencas mediterráneas. Durante los últimos 30 años, la transformación progresiva de unas 100.000 ha de tierras de secano en regadío se ha traducido en una aceleración del desarrollo socioeconómico de la región. En la actualidad se extraen del SMO unos 406 hm³/año de agua subterránea de los cuales el 98% se utilizan para la agricultura de regadío (CHJ, 2004). El volumen extraído no es compatible con el valor de los recursos disponibles de agua subterránea estimados en 320 hm³/año por el Plan Hidrológico del Júcar. Esta situación está provocando dos impactos importantes; por un lado, un descenso continuado del nivel piezométrico regional y, por otro, una reducción de la descarga del Acuífero Mioceno (en adelante UH2) al río Júcar.

El mal estado del SMO junto con la pertinaz sequía que padece la Cuenca del Júcar ha llevado recientemente a la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) a tomar medidas medioambientales en el tramo medio del río. Aunque los agricultores se autoimponen importantes restricciones sobre sus propios consumos, la CHJ puso en marcha, en la campaña de riegos del año 2007, una Oferta Pública de Adquisición de Derechos de Agua (OPAD). La OPAD tiene como objeto lograr una reducción en los usos del agua con fines medioambientales sobre la base de tres consideraciones: 1) el poco volumen de agua en los embalses de cabecera (Embalse de Alarcón), 2) las malas expectativas de las precipitaciones para el año hidrológico 2007 y, 3) el mantenimiento medioambiental del río Júcar. La OPAD se centró en las tomas superficiales desde el río, la zona de policía y un perímetro definido por la extensión de la UH2 (véase BOE nº 312, 20/12/2006).

Uno de los factores principales que controlan las interacciones entre el río

y el acuífero, cuando estos están conectados hidráulicamente, es la distribución espacial y la magnitud de la permeabilidad o conductividad hidráulica (K) (Woessner, 2000). A mayor K, mayor es la capacidad del acuífero para transmitir agua y, por tanto, mayor influencia sobre el caudal del río Júcar. En medios homogéneos, la K está relacionada linealmente con la Transmisividad (T) a través del espesor saturado del acuífero (b), luego $T=K \times b$. Sin embargo, en medios heterogéneos, la K no es constante y varía a lo largo del espesor saturado. En estos casos T se define a través de la expresión:

$$T = \int_0^b K \times dz \quad (\text{Custodio y Llamas, 1983}).$$

En este trabajo se ha determinado la geometría, la variación espacial del espesor saturado y la T de la UH2. La variación espacial del espesor saturado se ha comparado con la distribución de la T con el propósito de conocer el grado de heterogeneidad hidráulica de la

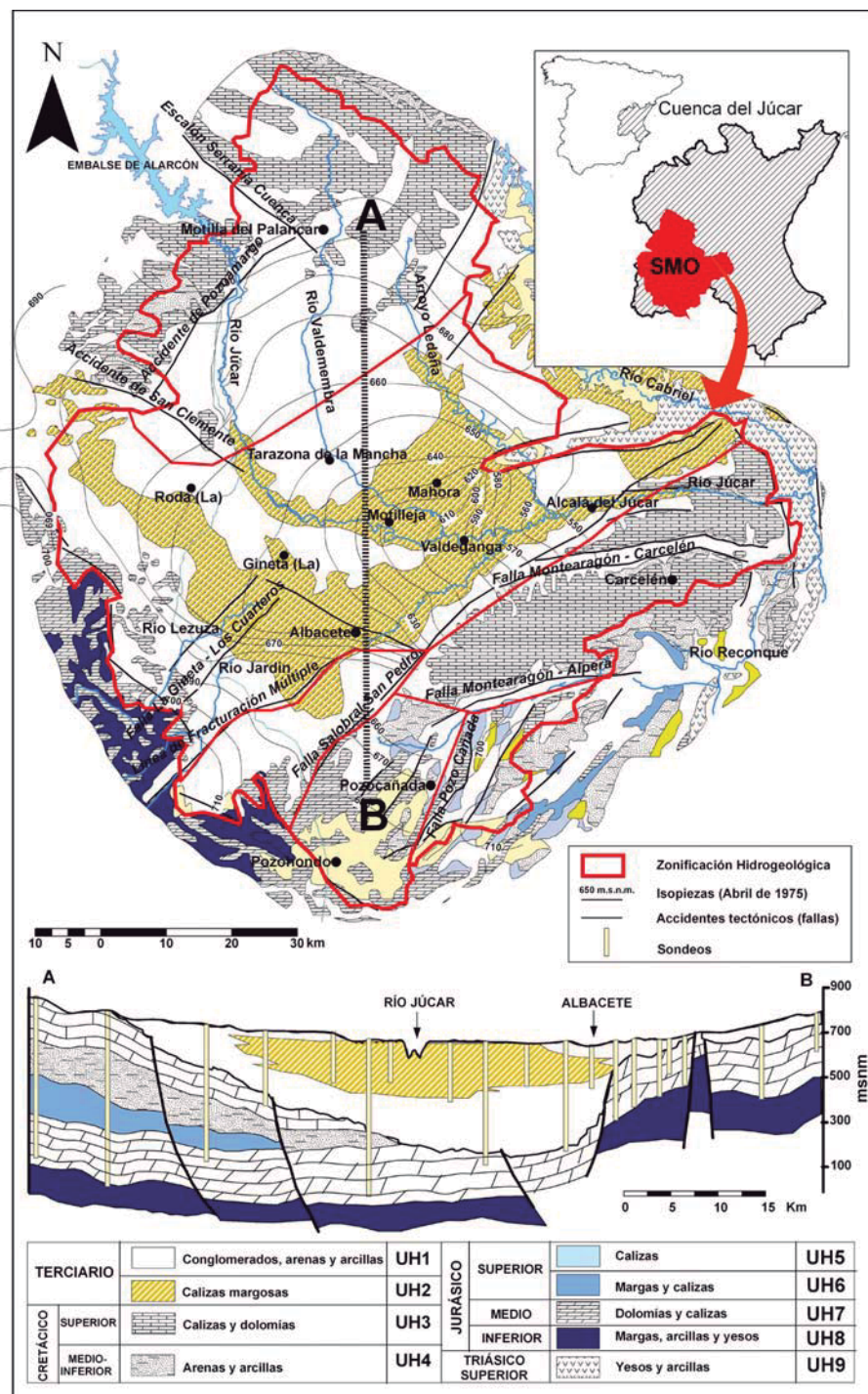


Fig. 1.- Mapa hidrogeológico y corte geológico simplificado del Sistema Mancha Oriental. Isopiezas para abril de 1975 (modificado de Sanz, 2005).

Fig. 1.- Simplified hidrogeological map and cross section of the Mancha Oriental System (MOS). Isopleths for april 1975 (modified from Sanz, 2005).

UH2. Para ello se han empleado técnicas geoestadísticas sobre la base de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Los resultados obtenidos se emplearán como base para la elaboración de un modelo matemático de flujo subterráneo que permitirá estimar cuantitativamente las relaciones río-acuífero.

Contexto Hidrogeológico

El SMO, también denominado Unidad Hidrogeológica 08.29, se sitúa en el SE de la Península Ibérica, en el extremo oriental de la llanura Manchega y pertenece en su totalidad a la Cuenca del río Júcar. El SMO está formado por la superposición de tres UH acuíferas (UH2, UH3

y UH7), separadas por acuitardos/acuífugos que constituyen las UH6, UH5, UH4 y UH1. La UH8, compuesta por margas, arcillas y yesos conforma el impermeable de base y el límite suroeste del SMO (IGME, 1980, 1988, Sanz, 2005) (Fig. 1).

La UH7, presente en todo el SMO, está formada por calizas y dolomías fracturadas y karstificadas de edad Jurásico medio. Presenta una potencia que oscila entre los 100 y los 500 m. La UH3, que ocupa la mitad del sector nororiental del SMO, está constituida por calizas y dolomías fracturadas y karstificadas de edad Cretácico superior. Esta unidad tiene una potencia que varía entre 50 y 200 m. La UH2 equivale a la unidad tectosedimentaria definida como "UTS 2" por Santos García (1984). Esta unidad, de unos 120 m de potencia máxima, se denomina tradicionalmente como *Acuífero Mioceno Pontiense*. Está formada por una secuencia alternante de margocalizas y margas (IGME, 1980).

El funcionamiento hidrodinámico del sistema de acuíferos del SMO está regido por una variada serie de elementos interrelacionados (zonas de recarga y descarga, relación entre unidades acuíferas, relaciones entre éstas con los cursos superficiales, etc). En régimen natural, las zonas de recarga coinciden con los afloramientos mesozoicos de la UH7 y de la UH3 en los bordes del SMO. Estas unidades acuíferas se introducen suavemente bajo la llanura de Albacete-Cuenca gracias a la existencia de fracturas con desplazamiento vertical. Sobre estas UH se disponen discordantes las unidades cenozoicas (UH1 y UH2) que constituyen el relleno terciario de la cuenca del río Júcar. Otra zona de recarga está constituida por los cursos de los ríos Jardín y Lezuza, que ceden sus aportes por infiltración en la llanura. La principal zona de descarga de agua subterránea es el río Júcar. La UH2, que se encuentra en estado libre en toda su extensión, cede de forma natural sus recursos a este río. Según el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico del SMO las entradas de agua a la UH2 se producen a través de la recarga directa de agua de lluvia y de las descargas desde los acuíferos mesozoicos a través de los materiales semipermeables de la UH1 (IGME, 1980, Sanz, 2005,) (Fig. 1).

Debido a la instalación y progreso de los bombeos de agua subterránea en el SMO, se han producido cambios en las tasas de recarga y descarga naturales entre la UH2 y el río Júcar. Antes de la insaturación de los regadíos, el río Júcar era

netamente ganador en el área de influencia de la UH2. Desde finales de los años 80, el acuífero ha disminuido los aportes al río e incluso, en determinados sectores, es el propio río el que cede parte de sus recursos al SMO a través de la UH2.

Adquisición y tratamiento de datos

Para establecer la geometría de la UH2 se han recopilado 45 columnas litológicas de los sondeos del inventario de puntos de agua (ver Sanz, 2005). Las superficies correspondientes al techo y al muro se han obtenido a partir de datos de cotas reales utilizando el método de interpolación Krigging ordinario (Geostatistical Analyst, Arc-GIS™). Posteriormente, mediante herramientas SIG se ha elaborado el mapa de isopacas (Fig. 2A), y el mapa de isoespesor saturado (Fig. 2B).

Los valores de T se han estimado a partir de 123 datos de capacidad específica (q) mediante una regresión simple de los pares de datos de log-T y log-q (Sanz *et al.*, 2006). Para determinar la distribución espacial de la T se han empleado los logaritmos de las transmisividades (log-T). Ello se debe a que, entre otras ventajas, el valor estimado por el método de Krigging es el óptimo absoluto y el semivariograma representa mejor la estructura espacial de la variable (Samper y Carrera, 1996). Una vez estudiada la estructura de la variabilidad espacial de log-T, se han aplicado los métodos de interpolación tipo Krigging ordinario.

Geometría y espesor saturado

El mapa de isopacas pone de manifiesto la extensión superficial y la variación del espesor de los carbonatos de la UH2 (Fig. 2A). La unidad se sitúa en la zona centro del SMO y tiene una extensión de unos 2.000 km². En el depocentro de la cuenca, que se localiza en las proximidades de la localidad de Motilleja, estos materiales alcanzan una potencia de 120 m (Fig. 2A). Las potencias medidas disminuyen de forma acusada hacia la parte oriental del SMO y de manera gradual hacia el oeste. Su geometría, por tanto, es lenticular, y presenta una clara asimetría en dirección E-O. La ausencia de cambios bruscos en el gradiente de las isolíneas indica que el depósito de la UH2 no estuvo controlado por procesos tectónicos sinsedimentarios que pudieran compartimentar la cuenca. Los últimos episodios alpinos favorecieron el desarrollo de una fracturación que el agua meteórica aprovecha para generar estructuras cársticas.

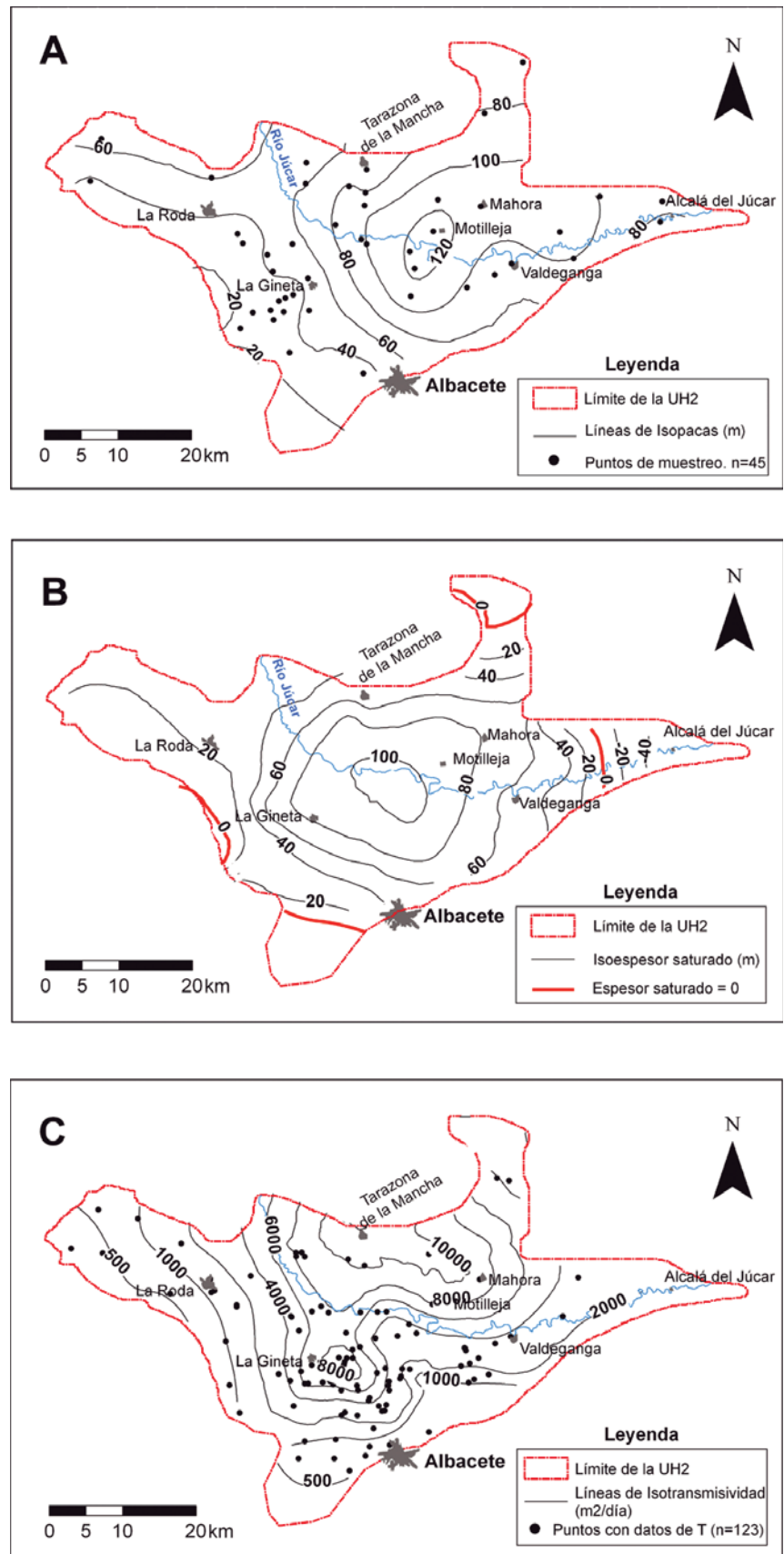


Fig. 2.- Mapas de A) isopacas, B) espesor saturado, y C) isotransmisividad de la Unidad Hidrogeológica 2 (UH2).

Fig. 2.- A) Isopach, B) saturated aquifer thickness, and C) isotransmissivity maps of the Hydrogeologic Unit (HU2).

No todo el espesor de la UH2 se encuentra saturado de agua. En los bordes, la superficie piezométrica se dispone por debajo del muro de esta unidad acuífera. En efecto, el mapa de isoespesores saturado muestra valores negativos cerca de Alcalá del Júcar, al este de Albacete y La Gineta, y al noreste de Tarazona de la Mancha (Fig. 2B). Los mayores espesores saturados se dan en las inmediaciones del río Júcar en un paralelogramo de unos 100 km², entre las localidades de La Gineta, Tarazona de la Mancha, Mahora y Valdeganga. A partir de este sector, el espesor saturado disminuye de forma simétrica hacia los bordes de la UH2.

Distribución espacial de la transmisividad

El mapa de los valores de log-T, una vez realizada la transformación logarítmica, muestra que la T oscila en tres órdenes de magnitud que indica un alto grado de heterogeneidad. La mayoría de los pozos con altos rendimientos ($T_{medio} = 5.000 \text{ m}^2/\text{día}$) se dan en las zonas centrales de la UH2 y la T no baja de los $2.000 \text{ m}^2/\text{día}$ a lo largo del curso del río Júcar (Fig. 2C). Los valores más altos de T, superiores a los $10.000 \text{ m}^2/\text{día}$, se dan en el margen izquierdo del río Júcar y en una franja de dirección ONO-ESE, entre las localidades de Tarazona de la Mancha y Mahora. En el margen derecho del río, al este de la localidad de La Gineta, existe una zona concreta con altos valores de T que alcanzan los $8.000 \text{ m}^2/\text{día}$. Estas transmisividades van descendiendo hacia los bordes de dicha unidad en consonancia con la disminución del espesor saturado (Fig. 2C).

Relación Transmisividad-Espesor saturado

La regresión lineal realizada entre el mapa de espesor saturado y la transmisividad indica una dispersión ele-

vada ($R^2 < 0,3$). En consecuencia, no se encuentra una relación lineal entre el espesor saturado y la T, de modo que los valores más altos de T no van a coincidir espacialmente con los de mayor espesor saturado (Fig. 2B, C). En una zona distante unos 8 km al norte de la ciudad de Albacete, el espesor saturado de la UH2 alcanza los 80 m, mientras que los valores de T oscilan entre los 2.000 y los $8.000 \text{ m}^2/\text{día}$. La explicación que se puede encontrar a este comportamiento es que el grado de desarrollo cárstico de la UH2 sea diferente según haya sido su historia postdeposicional. Estas diferencias se han traducido en una distribución espacial de K heterogénea. De hecho, en acuíferos carbonatados cársticos, este parámetro puede presentar una gran anisotropía ya que el agua circula por una red tridimensional de conductos preferenciales.

Conclusiones

La UH2, de 2.000 km^2 de extensión, posee una geometría lenticular. Los mayores espesores (120 m) de la secuencia carbonatada se desarrollan entre las localidades de Motilleja y Alcalá del Júcar. La potencia de la unidad disminuye de forma asimétrica hacia los límites de la UH2. El espesor saturado de esta unidad presenta los mayores valores en un área de unos 100 km^2 que se extiende entre las localidades de Tarazona de la Mancha, La Gineta y Valdeganga. El espesor saturado disminuye de forma simétrica hacia los bordes de la UH2. La T oscila entre valores inferiores a $500 \text{ m}^2/\text{día}$ en los límites meridionales y orientales de la UH2, y valores de $10.000 \text{ m}^2/\text{día}$ en el margen izquierdo del río Júcar y el límite septentrional de la unidad. El análisis de regresión simple entre los mapas de isoespesor saturado y T indica que no existe una relación lineal entre ambas variables. Este hecho implica que K es un parámetro anisótropo y heterogéneo que varía a lo

largo del espesor saturado debido a un desarrollo desigual de los procesos de carstificación en la UH2.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de la Tesis Doctoral de David Sanz y se ha financiado por el proyecto de investigación PBI05-012 de la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (JCCM).

Referencias

- CHJ (2004). *Jucar Pilot River Basin. Provisional Article 5 Report pursuant to the Water Framework Directive*. Ministerio de Medio Ambiente, 208 p.
- Custodio, E. y Llamas, M.R. (1983). *Hidrología Subterránea*. 2ª edición. Omega, 2 v, 2.350 p.
- IGME (1980). *El sistema hidrogeológico de Albacete (Mancha Oriental). Sus recursos de aguas subterráneas, utilización actual y posibilidades futuras*. IGME, 87 p.
- IGME (1988). *Estudio de la explotación de aguas subterráneas en el acuífero de la Mancha Oriental y su influencia sobre los caudales del río Júcar*. IGME. Informe no publicado.
- Samper, F.J. y Carrera, J. (1996). *Geostatística: aplicaciones a la hidrogeología subterránea*. Mundi-Prensa, 484 p.
- Santos García, J.A. (1984). *Boletín Geológico y Minero*, 95, 429-439.
- Sanz, D. (2005). *Contribución a la caracterización geométrica de las unidades hidrogeológicas que integran el sistema de acuíferos de la Mancha oriental*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 224 p.
- Sanz, D., Castaño, S. Gómez-Alday, J.J. Martínez-Alfaro, P.E. (2006). *Geogaceta*, 39, 119-122.
- Woessner WW. (2000). *Ground Water*, 38-3, 423-429.