

# Cuantificación de flujos verticales mediante *flowmeter* en sondeos del acuífero detrítico Motril-Salobreña (Granada, Sur de España)

*Cuantification of vertical flow by flowmeter in wells located in Motril-Salobreña aquifer (Granada, Southern Spain)*

Jorge Jiménez Sánchez<sup>1</sup>, Crisanto Martín Montañés<sup>1</sup>, Juan Pedro Sánchez Úbeda<sup>2</sup>, María Luisa Calvache Quesada<sup>2</sup>, Manuel López Chicano<sup>2</sup> y Francisca Fernández Chacón<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geológico y Minero de España. Urb. Alcázar del Genil, 4 Edificio Zulema, bajo 18006, Granada. j.jimenez@igme.es; f.fernandez@igme.es; c.martin@igme.es

<sup>2</sup> Departamento de Geodinámica, av. / Fuentenueva s/n 18071, Universidad de Granada. juampesu@ugr.es; calvache@ugr.es; mlopezc@ugr.es

## ABSTRACT

Vertical flow has been identified and quantified in surveys near the Guadalfeo River in the detrital aquifer Motril-Salobreña and the results have been compared with the temperature profiles obtained in several campaigns. The sense of water movement indicated by the obtained flow profiles shows a clear coherence with the multiple temperature loggings studied. The method used is considered of interest in the study of river-aquifer systems of great thickness as investigated.

**Key-words:** *Flowmeter, vertical flows, temperature profiles.*

*Geogaceta*, 62 (2017), 83-86  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

## Introducción

La componente de flujo horizontal suele ser dominante en los acuíferos detríticos de gran tamaño y elevada permeabilidad. La identificación de zonas de flujo permite localizar los principales sectores donde se produce la recarga y descarga del acuífero. En zonas de recarga como es el caso que se estudia en este trabajo, se esperan encontrar flujos verticales descendentes. Por lo tanto, la identificación y cuantificación del flujo vertical en sondeos proporciona una información significativa para el conocimiento del comportamiento hidrodinámico de un acuífero, aunque en muchos casos suele reportar gran dificultad.

Para la detección de estos flujos verticales existen métodos indirectos como puede ser a partir de los registros de la temperatura del agua subterránea, en sectores del acuífero donde la zona no saturada sea lo suficientemente estrecha como para no

amortiguar los cambios de temperatura del agua de recarga (Taniguchi, 1993; Stonestrom y Constanzt, 2003). Así, si la distribución de estos perfiles tomados a lo largo de toda la profundidad de un pozo en varios momentos es variable (gran variabilidad de la temperatura en el tiempo) indicarán la presencia de flujos verticales descendentes propios de un área de recarga; si, por el contrario, la distribución de estos perfiles es estrecha (escasa variación de la temperatura en el tiempo), podría implicar un predominio de flujos verticales ascendentes propios de un área de descarga, (Taniguchi, 1993; Stonestrom y Constanzt, 2003; Duque *et al.*, 2010; Calvache *et al.*, 2011).

Sin embargo, con esta metodología no se puede cuantificar el valor de estos flujos. Para ello es necesario recurrir a la utilización de registros diagráficos en sondeos mediante sondas *flowmeter*. Se trata de una sonda de medida de la velocidad del agua que consta de una hélice

## RESUMEN

En el acuífero detrítico Motril-Salobreña se ha identificado y cuantificado el flujo vertical en sondeos situados en las proximidades del río Guadalfeo y los resultados se han comparado con los perfiles de temperatura obtenidos en varias campañas. El sentido de movimiento del agua que indican los perfiles de flujo obtenidos muestran una manifiesta coherencia con los múltiples registros de temperatura estudiados. Se considera que el método empleado es de interés en el estudio de sistemas río-acuífero de gran espesor como el investigado.

**Palabras clave:** *Flowmeter, flujos verticales, perfil de temperatura.*

Recepción: 1 de febrero de 2017  
Revisión: 27 de marzo de 2017  
Aceptación: 26 de abril 2017

muy sensible, que gira a una velocidad variable en función de la velocidad del flujo y del descenso o ascenso de la sonda por el pozo.

En este trabajo se pretende verificar y cuantificar la presencia de flujos verticales mediante la utilización de una sonda *flowmeter* y comparar estos registros con los de una serie de perfiles de temperatura del agua, realizados en distintas épocas, en un sector del acuífero donde la franja no saturada es de escasa magnitud.

## Contexto hidrogeológico

El acuífero Motril-Salobreña (Granada, Sur de España; Fig. 1) está constituido mayoritariamente por sedimentos aluviales depositados por el río Guadalfeo, rambla de Molvizar y rambla del Puntalón, principalmente. Estos materiales ocupan una extensión de 42 km<sup>2</sup> y tienen espesores de 20 m en cabecera, 60-80 m en el eje del río Gua-

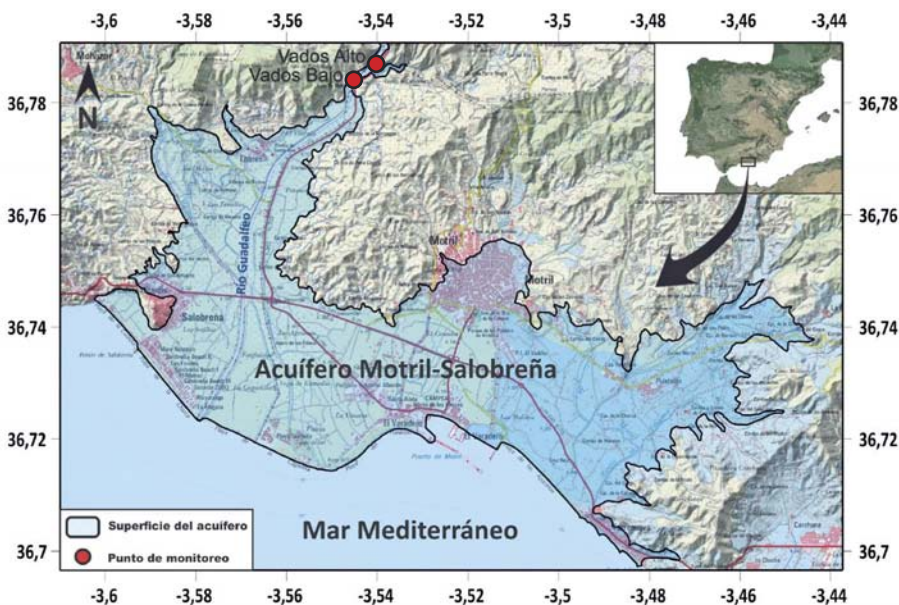


Fig. 1.- Localización de los sondeos Vados Bajo y Vados Alto en el acuífero Motril-Salobreña (Granada, Sur de España). Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Location of the Vados Bajo and Vados Alto wells in the Motril-Salobreña aquifer (Southern Spain). See color figure in the web.

dalfeo y hasta 200 m en su desembocadura. El sustrato y los bordes del acuífero están constituidos por materiales alpujárrides de varias unidades tectónicas superpuestas (Aldaya y Vera, 1980). La mayor parte de los materiales acuíferos reposan discordantemente sobre metapelitas alpujárrides de baja permeabilidad.

El sistema se comporta básicamente como un acuífero libre en el que la transmisividad varía entre 100 y 9000 m<sup>2</sup>/d (Calvache *et al.*, 2009).

Las principales fuentes de recarga del sistema son el río Guadalfeo, de carácter influente y caudales elevados, y el retorno de riego, distribuido en gran parte de la superficie del acuífero. La elevada entrada de agua por estas vías es responsable de la buena calidad del acuífero, si bien éste se considera muy sensible a las variaciones del caudal del río y a los cambios en la ordenación del territorio.

En relación a la climatología de la zona, se puede indicar que presenta una precipitación media de 420 mm/año y una temperatura media anual de 18°C, existiendo varios balances hídricos de la zona, como se puede constatar en varios trabajos (Heredía *et al.*, 2003; Ibáñez, 2005; Duque, 2009; Calvache *et al.*, 2009).

En el área concreta de estudio, coincidente con la terminación meridional del cañón de los Vados, el acuífero detrítico puede llegar a alcanzar 50 m de espesor y descansa sobre materiales metapelíticos de

baja permeabilidad. No obstante, lateralmente entra en contacto con los materiales carbonáticos del acuífero de Escalate, cuya relación está siendo objeto de estudio.

En este contexto, en el año 2009 se llevaron a cabo dos perforaciones que hemos denominado Vados Alto (VA) y Vados Bajo (VB) (Fig. 1) con el objetivo de estudiar las aportaciones subterráneas del relleno detrítico del cañón a la masa principal de sedimentos que constituyen el acuífero Motril-Salobreña (Reolid *et al.*, 2012).

En relación a la columna litológica atravesada en el sondeo VB, hay que indicar que este atraviesa desde el metro 3 hasta el 24 conglomerados de cantos de esquistos, mármoles y cuarcita en diferentes proporciones y con diferentes tamaños de grano. En el metro 25 se perforan filitas y esquistos. El sondeo se encuentra ranurado a lo largo de toda la tubería.

En el sondeo VA se perforan 54 metros, resultando la totalidad de la litología atravesada de conglomerados de cantos de esquistos, mármoles y cuarcita en diferentes proporciones a lo largo de la perforación, y con diferentes tamaños de grano. El sondeo se encuentra ranurado a lo largo de toda la tubería.

Datos piezométricos e isotópicos ponen de manifiesto una posible descarga del acuífero carbonatado sobre el detrítico. Este aspecto es más manifiesto en el sector occidental del acuífero ya que el río Guadalfeo actúa como divisoria de las aguas subterráneas.

## Metodología y toma de datos

Para la observación del flujo vertical dentro de sondeos, con fecha de 1/10/2015 se realizaron dos testificaciones de los sondeos VB y VA con el medidor de flujo de molinete bidireccional (Flowmeter QL40-SFM), que mide la velocidad del flujo en ciclos por segundo (*cps*), con el equipo de testificación geofísica de la Unidad del IGME en Granada. En cada sondeo se realizaron tres registros *flowmeter*, con velocidades de descenso y ascenso de 2, 4 y 6 m/min.

Una vez realizada la toma de datos en campo se procedió al tratamiento de los datos mediante el programa *WellCAD*. En una primera fase del tratamiento, se procede a la eliminación de los picos extremos provocados por errores de medida, como por ejemplo la paralización momentánea de la hélice por obstrucción provocada por diferentes partículas dentro del sondeo, o el aumento/descenso en la velocidad de bajada/subida de la sonda.

Tras este filtrado de datos, se ejecuta la detección/cálculo del cero de la sonda, que corresponde al cálculo de los *cps* que transmite la hélice de la sonda en el sondeo a estudiar para cada una de las velocidades de descenso y ascenso, en ausencia de flujo. La diferencia del valor en el caso de ausencia de flujo y el calculado para cada tramo a analizar es el que muestra la diferencia de velocidades (*cps*) de flujo, y por tanto el caudal que circula por dicho tramo, subordinado al diámetro del sondeo. El signo del valor indica el sentido del flujo dentro del sondeo, siendo el signo negativo identificativo de un flujo ascendente y el positivo de uno descendente.

En este estudio se ha calculado el flujo para cada metro de testificación analizado. Para ello se procede al cálculo de los *cps* medios por metro, para cada una de las velocidades de subida y bajada, y se unifican los diferentes tramos de flujo con similar comportamiento. Finalmente, se realiza una clasificación de flujos en el sondeo por tramos.

Los perfiles de temperatura realizados en diferentes fechas para ambos sondeos, han sido efectuados mediante una Sonda Eléctrica Multiparamétrica SEBA modelo KLL-Q-2. Se ha tomado un registro de temperatura para cada metro de profundidad, como se puede observar en las figuras 2 y 3.

## Resultados

En el sondeo VB, de 25 m de profundidad, se realizó un registro *flowmeter* desde 7,8 hasta 23 m de profundidad. No se re-

gistraron los dos últimos metros por la presencia de finos en el fondo del sondeo. Tras el tratamiento de los resultados obtenidos se diferencian tres tramos principales de

flujo de pautas similares (Fig. 2), mostrando un flujo general descendente.

El primero de los tramos (A) se localiza entre los metros 8.3 y 9, en el que se ha

medido un pequeño flujo ascendente. El tramo B (9 – 13 m), intervalo en el que se detectan flujos descendentes con zonas de perturbación. Y por último, el tramo C (13 – 22,5 m), en el que se detectan caudales descendentes más significativos y continuos, en el que se obtienen valores en torno a los 0,20 l/s para cada uno de los intervalos de un metro.

En el sondeo VA, con una profundidad de 54 m, tampoco se ha testificado en su totalidad, por el mismo motivo que el sondeo VB. Se ha testificado entre los metros 5 y 45. Tras el tratamiento de los resultados obtenidos se ha procedido a la clasificación en 7 tramos principales de flujo con comportamiento similar, que se pueden observar en la figura 3.

El primero de los tramos (A) definidos se localiza entre los metros 5,9 y 8, en el que se detecta un flujo descendente. El tramo B, entre los metros 8 y 15, muestra un flujo ascendente y con incremento de caudal en profundidad, con valores comprendidos entre -0,05 y -0,33 l/s. El tramo C (15 – 17 m), es un tramo con un notable declive del flujo, que queda comprendido entre -0,33 y -0,04 l/s. El tramo D (17 – 22 m), al igual que en el tramo B, muestra un flujo ascendente y con incremento de caudal en profundidad, con valores entre -0,11 y -0,33 l/s. El tramo E (22 – 29 m), es una zona de perturbación en el flujo, con debilitación en el caudal ascendente, con valores entre -0,04 y -0,18 l/s. El tramo F (29 – 33 m), es un tramo de perturbación, en el que se detectan flujos ascendentes y descendentes a lo largo del recorrido de 4 m. El tramo G (33 – 45 m), es un tramo con flujo ascendente, aunque con perturbaciones en los caudales de flujo que van desde -0,06 a -0,27 l/s. En general este sondeo muestra un flujo ascendente, aunque presenta varios tramos intermedios de perturbación.

Los registros verticales de temperatura realizados en distintas fechas, en el sondeo VB (Fig. 2), presentan notables diferencias de temperatura a lo largo del año, producidas por la dispar influencia de la entrada de agua del río. Este hecho se relaciona con la intrusión de agua del río Guadalfeo, al quedar este área en una zona de recarga, como queda demostrado mediante el registro de *flowmeter*. Este patrón variable de temperaturas es indicativo del predominio de flujos verticales descendentes en la zona de estudio en la cual no se dispone de una zona sa-

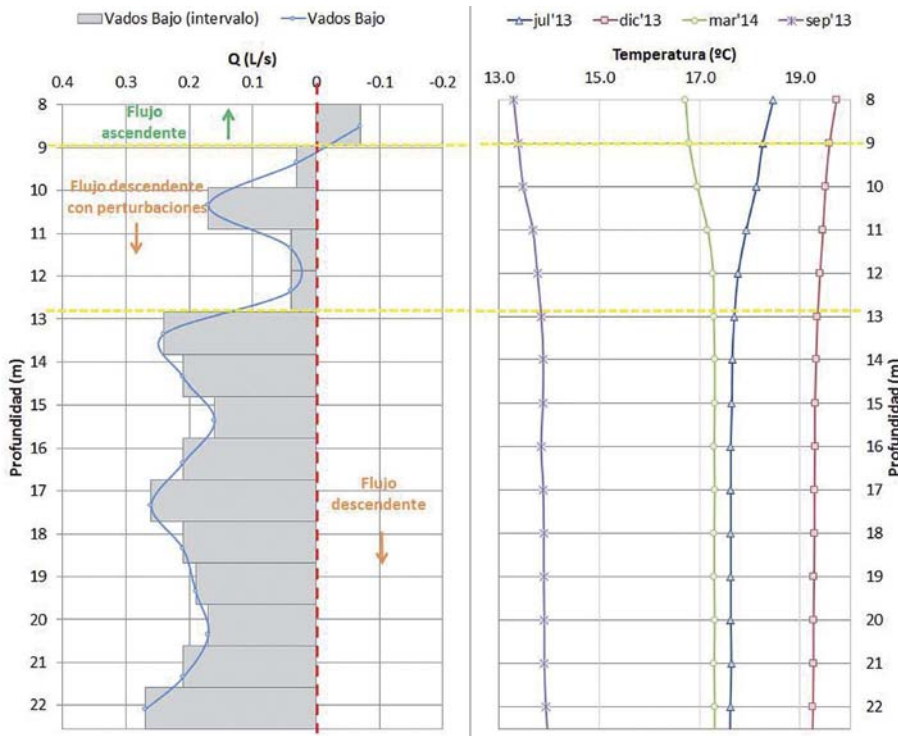


Fig. 2.- Correspondencia de los tipos de flujo definidos en el sondeo Vados Bajo con las digrafías de temperatura del agua del sondeo. Las profundidades están referenciadas al borde del entubado. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Correspondence between the flow sections defined in Vados Bajo well with the temperature logs well water. Depths are referenced to the edge of the casing. See color figure in the web.

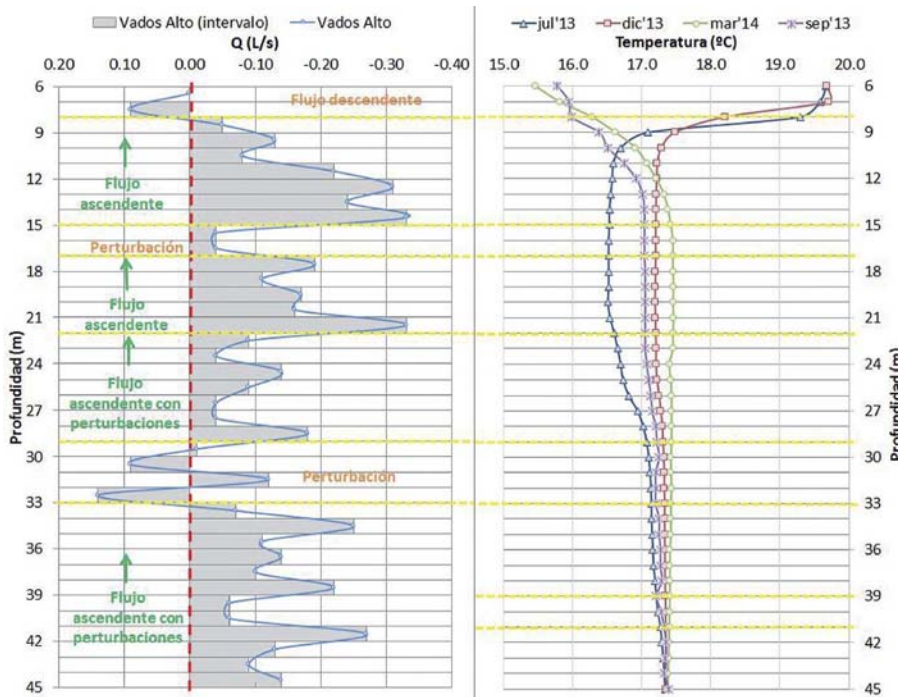


Fig. 3.- Correspondencia de los tipos de flujo definidos en el sondeo Vados Alto con las digrafías de temperatura del agua del sondeo. Las profundidades están referenciadas al borde del entubado. Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- Correspondence between the flow sections defined in Vados Alto well with the temperature logs well water. Depths are referenced to the edge of the casing. See color figure in the web.



turada de gran espesor (Duque *et al.*, 2010; Calvache *et al.*, 2011; Reolid *et al.*, 2012).

Sin embargo, en VA (Fig. 3) se observa que los perfiles de temperatura realizados en distintas fechas presentan una temperatura muy parecida (en torno a 17,2 °C). Este tipo de perfiles es representativo de sectores con flujo vertical, en este caso ascendente, tal y como indican los resultados de la testificación mediante *flowmeter*.

El flujo en Vados Bajo es vertical descendente, lo que debería ser la tónica general en toda la zona de recarga.

## Conclusiones

Los sondeos Vados Bajo y Vados Alto, localizados en el acuífero Motríl-Salobreña, han sido testificados mediante la sonda *flowmeter*. Para el sondeo VB se han definido 3 tramos principales con un flujo general descendente, y para el sondeo VA, 7 tramos con un flujo general ascendente.

Asimismo, los perfiles de temperatura registrados en ambos sondeos ratifican este diferente comportamiento en dos puntos tan próximos. En Vados Altos se registran perfiles de temperatura estrechos (por escasa variación en el tiempo) representativos de la existencia de flujos verticales ascendentes, típicos de áreas de descarga. Por el contrario, en Vados Bajo los perfiles de tem-

peratura registrados muestran un patrón extendido (por elevada variación en el tiempo) que indican la presencia de flujos verticales descendentes que suelen aparecer en zonas de recarga.

El método de medición de flujo en detalle empleado y su comparación con perfiles de temperatura puede considerarse una herramienta de utilidad para determinar el comportamiento de un sistema río-aluvial de gran espesor.

## Agradecimientos

La financiación de esta investigación se hizo mediante los proyectos CGL2012-32982 y CGL2016-77503-R financiados por el Ministerio de Economía y Competitividad, así como el uso del equipamiento de la Unidad móvil para estudios hidrogeológicos y medioambientales disponible en la Unidad Territorial del IGME en Granada cofinanciada con Fondos Feder (referencia proyecto IGME 10-1E-1284). Los autores agradecen al Geólogo D. Ángel Cantudo Muñoz, de la empresa AQUA-LOGY, su aportación desinteresada en el método del tratamiento de los datos obtenidos y su transformación en caudales. También cabe reconocer a los revisores del manuscrito la contribución con sus anotaciones.

## Referencias

- Aldaya, F. y Vera, J.A. (1980). *Memoria explicativa de la Hoja nº 83 (Granada-Málaga). Escala: 1:200.000*. IGME. Madrid, 33p.
- Calvache, M.L., Ibáñez, P., Duque, C., López-Chicano, M., Martín-Rosales, W., González-Ramón, A. y Rubio, J.C. (2009). *Hydrological Processes* 23, 1268-1281.
- Calvache, M.L., Duque, Gómez-Fontalva, J.M. y Crespo, F. (2011). *International Journal of Environmental Science and Technology* 8(2), 223-236.
- Duque, C. (2009). *Influencia antrópica sobre la hidrogeología del acuífero Motríl-Salobreña*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 194 p.
- Duque, C., Calvache M.L. y Engesgaard, P. (2010). *Journal of Hydrology* 381, 121-133.
- Heredia J., Murillo J.M., García-Aróstegui J.L., Rubio J.C. y López-Geta J.A. (2003). *Revista Latino-Americana de Hidrogeología* 3, 73-83.
- Ibáñez, S. (2005). *Comparación de la aplicación de distintos modelos matemáticos sobre los acuíferos costeros detríticos*. Tesis Doctoral. Univ. de Granada, 304 p.
- Reolid, J., López Chicano, M., Calvache, M.L., Duque, C. y Sánchez Úbeda, J.P. (2012). *Geogaceta* 52, 141-144.
- Stonestrom, D.A. y Constantz, J. (2003). *U.S. Geological Survey Circular* 1260, 96 p.
- Taniguchi, M. (1993). *Water Resources Research* 29, 2021-2026.