

# Estimación de las aportaciones del aluvial del río Guadalfeo al acuífero Motril-Salobreña

*Estimating the groundwater input to Motril-Salobreña aquifer from the alluvium of the Guadalfeo river*

Jesús Reolid<sup>1</sup>, Manuel López Chicano<sup>1</sup>, María Luisa Calvache<sup>1</sup>, Carlos Duque<sup>2</sup> y Juan Pedro Sánchez Úbeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva s/n. 18071, Granada, España. jreolid@correo.ugr.es, mlopezc@ugr.es, calvache@ugr.es, jpageo3@gmail.com

<sup>2</sup> Department of Geography and Geology. University of Copenhagen. Øster Voldgade 10, DK – 1350. Dinamarca. cad@geo.ku.dk

## ABSTRACT

The hydrodynamic of Guadalfeo alluvial aquifer has been studied because is recharging Motril-Salobreña aquifer in its northern sector. The analysis of head in the two wells allows us to calculate the hydraulic gradient and its evolution for estimating the groundwater input to Motril-Salobreña aquifer. Hydraulic gradient and groundwater inflow decrease when water table rises associated with the Guadalfeo River flow increase due to rain events or Rules dam discharge. Furthermore the groundwater flow decreases during river flooding conditions and, in the same way, the recharge to Motril-Salobreña aquifer. That is the reason because this input to the aquifer is lower than the quantities estimated by other authors in previous studies.

**Key-words:** Groundwater flow, alluvial aquifers, stream-aquifer relationships, hydraulic gradient.

## RESUMEN

Se ha analizado el comportamiento hidrogeológico del aluvial del río Guadalfeo a la salida del cañón de los Vados, en el borde norte del acuífero Motril-Salobreña. El estudio de los niveles piezométricos en dos piezómetros de investigación nos ha permitido analizar la evolución del gradiente hidráulico y estimar el caudal subterráneo. Ambos parámetros sufren fuertes descensos en las situaciones de ascenso del nivel piezométrico, coincidiendo con las crecidas del río y con momentos de descarga de la presa de Rules, aguas arriba de la zona de estudio. La disminución del caudal subterráneo en condiciones de crecida del río hace que la recarga que recibe el acuífero Motril-Salobreña a través del aluvial en este sector sea menor de la que había sido estimada hasta ahora en estudios previos.

**Palabras clave:** Flujo subterráneo, acuíferos aluviales, relaciones río-acuífero, gradiente hidráulico.

Geogaceta, 52 (2012), 141-144.  
ISSN 2173-6545

Fecha de recepción: 13 de febrero de 2012  
Fecha de revisión: 26 de abril de 2012  
Fecha de aceptación: 25 de mayo de 2012

## Introducción

El acuífero Motril-Salobreña (Fig. 1) presenta diferentes fuentes de recarga: infiltración de la lluvia, infiltración del río Guadalfeo, retorno de regadío, aporte lateral oculto desde un acuífero carbonático y aporte del relleno aluvial del río Guadalfeo a su paso por el cañón de los Vados. Esta última fuente de recarga ha sido evaluada por distintos autores, con valores notablemente altos en los primeros estudios, oscilando entre 25 hm<sup>3</sup>/año (CHSE-IRYDA, 1984) y 15,5 hm<sup>3</sup>/año (ITGE, 1988), y mucho más bajos en los estudios más recientes, desde 3 hm<sup>3</sup>/año (García Aróstegui *et al.*, 2001; Heredia *et al.*, 2002) a 4,6 hm<sup>3</sup>/año (Calvache *et al.*, 2009). La construcción de la presa de Rules en el río Guadalfeo aguas arriba del acuífero Motril-Salobreña ha creado una serie de interrogantes acerca de las reper-

cusiones que puede tener en el sistema acuífero y en sus distintas fuentes de recarga. El presente trabajo pretende evaluar con más precisión el aporte del aluvial del río Guadalfeo al acuífero Motril-Salobreña y arrojar luz sobre la influencia del embalse en dicha fuente de recarga. La zona de estudio está situada en la terminación meridional del cañón de los Vados, justo al NE del azud del Vínculo (Fig. 1).

## Contexto hidrogeológico

El acuífero Motril-Salobreña está formado por materiales detríticos de edad cuaternaria arrastrados por el río Guadalfeo, que cruza el sector oeste del acuífero en dirección norte-sur. En la zona de estudio, el río Guadalfeo presenta un carácter esencialmente influente. El río discurre por un valle encajado en un macizo carbonatado

permeable de edad triásica que parece alimentar de forma oculta al relleno aluvial. Bajo los carbonatos, y a poca profundidad, se encuentran materiales metapelíticos de baja permeabilidad.

Los depósitos aluviales en la zona de estudio están constituidos sobre todo por gravas y arenas, y limos en menor proporción. A partir de perforaciones realizadas en la zona, se estima que el espesor oscila entre 50 m (Vados Alto) y 25 m (Vados Bajo), con un sustrato metapelítico. En uno de los primeros estudios de la zona (Castillo, 1975) se estimaron valores de transmisividad en torno a 10000 m<sup>2</sup>/día (permeabilidad sobre 200 m/día) mientras que Cardenal *et al.* (1991), a partir de la interpretación de ensayos de bombeo de pozos situados algo al norte de nuestro sector de estudio, estimaron una transmisividad variable entre 5007 m<sup>2</sup>/día y 88556 m<sup>2</sup>/día.

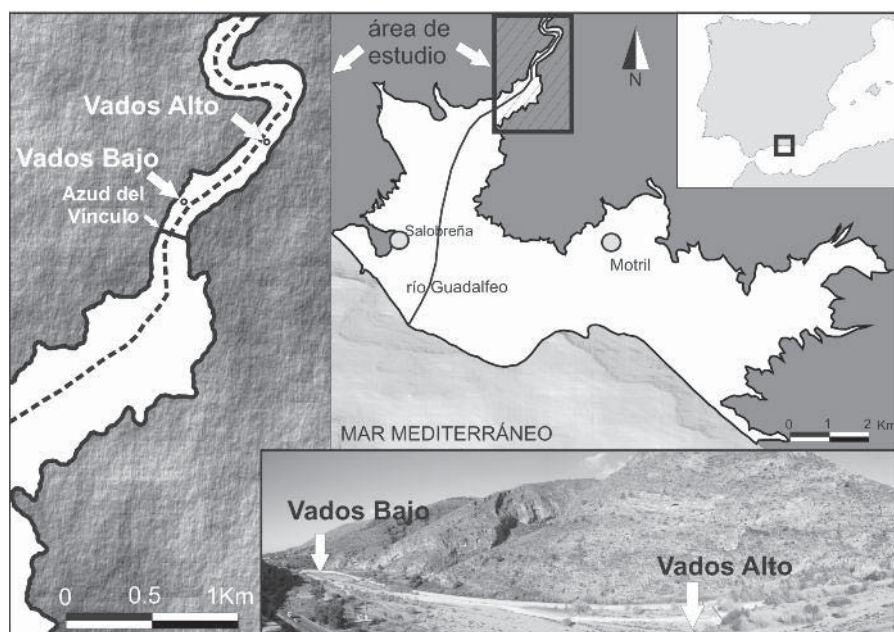


Fig. 1.- Localización del acuífero Motril-Salobreña, del aluvial del Guadalfeo a su paso por el cañón de Los Vados y de los dos piezómetros utilizados en el estudio.

Fig. 1.- Location of the Motril-Salobreña aquifer, Guadalfeo's alluvial at Los Vados canyon and the two piezometers.

Según Benavente *et al.* (1991), los valores más comunes para ese sector oscilan entre 20000 y 30000 m<sup>2</sup>/día (valores de permeabilidad inferiores a 1000 m/día).

## Metodología

En el año 2009 se perforaron dos sondeos de investigación (Fig.1) en el aluvial del río Guadalfeo (Vados Alto, 63,2 m s.n.m. y Vados Bajo, 60,1 m s.n.m.), justo antes de la terminación del cañón de los Vados y aguas arriba de la llanura fluviodeltaica que constituye el acuífero principal. Cada piezómetro se acondicionó con un sensor de nivel y temperatura de tipo Mini-Diver (Schlumberger) a 19,6 m desde la boca del sondeo en Vados Alto y a 19,46 m en Vados Bajo. En este último se colocó también un dispositivo Baro-Diver para la compensación de presiones hidrostáticas a partir de la presión barométrica. Todos los sensores fueron programados para un registro horario y se dispone de una crónica de dos años que va desde noviembre de 2009 hasta noviembre de 2011.

Los datos de presión hidrostática han sido procesados para su conversión en cota absoluta del nivel piezométrico sobre el nivel del mar. Para poder manejar más efectivamente el gran volumen de datos de niveles piezométricos horarios se han calculado las medias diarias y mensuales.

Para llevar a cabo el cálculo del caudal subterráneo que circula por el aluvial del Guadalfeo se ha utilizado la expresión de Darcy a partir de: 1) el gradiente hidráulico en función de la diferencia de carga hidráulica entre los dos piezómetros de investigación y considerando que la separación horizontal entre ambos es de 555 m; 2) una aproximación a una sección triangular del acuífero, de 73 m de base y 37,25 m de profundidad, sobre la que se han calculado las variaciones de espesor saturado, dado el carácter libre del acuífero; y 3) las permeabilidades calculadas teniendo en cuenta los diferentes valores de transmisividad recopilados de la bibliografía antes citada y un espesor de acuífero saturado fijo de 37,25 m.

## Resultados

La representación gráfica del nivel piezométrico registrado en los sondeos frente al gradiente (Fig. 2) permite comprobar que durante los periodos con tendencia al descenso de los niveles se produce, por regla general, un aumento del gradiente hidráulico. Durante los periodos de ascenso del nivel piezométrico se produce por el contrario una caída en el gradiente hidráulico.

En la Tabla I se recogen los caudales medios mensuales aportados por el aluvial del Guadalfeo, calculados a partir de un

valor de transmisividad razonable de 10.000 m<sup>2</sup>/día, de los niveles piezométricos mensuales registrados en los sondeos, la sección media calculada para cada mes y el gradiente hidráulico. A escala mensual, se observa cómo los valores mínimos de gradiente (alrededor de 0,0073) y caudal (en torno a 2380 m<sup>3</sup>/día) coinciden con los meses de mayo-junio de 2010, en los que el nivel piezométrico registrado es bastante alto. Los valores máximos de gradiente (0,00875) y caudal (2770 m<sup>3</sup>/día) se producen en los meses de noviembre de 2010 y octubre de 2011, coincidiendo con cotas de nivel piezométrico relativamente bajas.

Si representamos de manera conjunta la variación del flujo subterráneo a lo largo del periodo de tiempo registrado y la comparamos con el caudal del río Guadalfeo (realmente son los caudales aliviados por la presa de Rules) y la lluvia mensual acumulada (Fig. 3), podemos ver una correspondencia entre los picos de descarga máxima de la presa y los mínimos de caudal subterráneo. Las precipitaciones tienen un efecto similar, aunque menos marcado.

## Discusión

Si analizamos detenidamente la variación del gradiente hidráulico con respecto a los niveles piezométricos (Fig.2) observamos tendencias contrarias. En los periodos de recarga y aumento del nivel piezométrico, una vez pasados unos días probablemente de flujo transitorio no saturado, se produce una clara disminución del gradiente hidráulico. El análisis en detalle de los datos permite reconocer que el rango de variación del nivel piezométrico en Vados Bajo es mayor que en Vados Alto. De este modo cuando tenemos una tendencia al ascenso del nivel freático, el remonte en Vados Bajo es más acusado que el que se produce en Vados Alto, donde prácticamente llega a desaparecer la zona no saturada y el nivel piezométrico se iguala con el del río. Esto hace que disminuya la diferencia de carga hidráulica entre los dos pozos y por tanto que disminuya el gradiente hidráulico. En los momentos de estiaje, el descenso del nivel freático en Vados Bajo se produce de manera más acusada que en Vados Alto, produciendo un aumento de la diferencia de carga hidráulica y por consiguiente un aumento del gradiente.

Esta mayor sensibilidad a las variacio-

Fecha	Vados Alto np (m s.n.m.)	Vados Bajo np (m s.n.m.)	Sección media (m <sup>2</sup> )	Gradiente hidráulico	Caudal (m <sup>3</sup> /día)
nov-09	55,89	51,41	1192,849638	0,008071001	2584,561240
dic-09	56,58	51,97	1188,189730	0,008301667	2648,041631
ene-10	63,11	58,85	1200,818436	0,007676545	2474,667617
feb-10	63,09	58,92	1204,250071	0,007506679	2426,823817
mar-10	63,33	59,22	1206,299278	0,007405243	2398,104553
abr-10	62,94	58,82	1206,002019	0,007419957	2402,277497
may-10	62,76	58,66	1206,729424	0,007383951	2392,061960
jun-10	62,66	58,60	1208,320548	0,007305190	2369,667493
jul-10	62,19	57,98	1202,337989	0,007601327	2453,520639
ago-10	62,10	57,71	1195,905708	0,007919725	2542,616047
sep-10	62,03	57,54	1192,757778	0,008075548	2585,818188
oct-10	61,68	57,05	1187,143974	0,008353432	2662,208336
nov-10	61,35	56,50	1179,100397	0,008751589	2770,201925
dic-10	62,04	57,39	1186,886972	0,008366153	2665,685449
ene-11	62,66	58,42	1201,442520	0,007645653	2465,989933
feb-11	62,43	57,88	1190,336225	0,008195415	2618,872328
mar-11	62,40	57,68	1184,295380	0,008494437	2700,650391
abr-11	62,51	57,99	1191,486104	0,008138496	2603,195942
may-11	62,59	58,30	1199,711220	0,007731352	2490,037618
jun-11	62,43	58,12	1198,840067	0,007774474	2502,107785
jul-11	62,12	57,62	1191,936542	0,008116199	2597,045500
ago-11	61,91	57,28	1187,374898	0,008342001	2659,082534
sep-11	61,82	57,10	1184,230168	0,008497665	2701,527906
oct-11	61,58	56,73	1179,267581	0,008743313	2767,974801

Tabla I. – Valores medios mensuales para la cota del nivel piezométrico (np) en cada sondeo, sección de acuífero saturado, gradiente hidráulico y caudal (Transmisividad = 10.000 m<sup>2</sup>/día).

Table I.-Month-average values for head (np), saturated aquifer section, hydraulic gradient and flow (Transmissivity = 10000 m<sup>2</sup>/day).

nes del nivel piezométrico de Vados Bajo puede apreciarse también en la Figura 3. Se observa cómo los momentos de máxima descarga de la presa de Rules coinciden con los mínimos del gradiente. La mayor parte del periodo de tiempo registrado durante este estudio ha coincidido con años hidrológicos excepcionalmente húmedos en los que la presa, una vez llena, se ha visto obligada a aliviar grandes caudales.

La crecida del río Guadalfeo, influente en el sector de estudio, ha supuesto una recarga del acuífero aluvial que ha presentado fuertes ascensos en el nivel piezométrico. Pero la diferente tasa de ascenso del nivel piezométrico entre los distintos piezómetros llega a producir una disminución del flujo subterráneo. De este modo, en las circunstancias de mayor caudal del río Guadalfeo, frente a lo que *a priori* se podría

pensar, se dan las condiciones de menor aportación de agua subterránea a través del relleno aluvial.

Con respecto a la cuantificación de la aportación del aluvial del Guadalfeo al acuífero Motril-Salobreña, los valores más elevados (considerando la máxima *T* del acuífero de Cardenal *et al.*, 1991) señalan un aporte de 8,28 hm<sup>3</sup>/año; mientras que con los valores más bajos (valores mínimos de *T* de los mismos autores), la aportación sería escasamente de 0,5 hm<sup>3</sup>/año. Considerando un valor intermedio y más común para la *T* de esta zona (10000 m<sup>2</sup>/día), el aporte anual del aluvial al acuífero Motril-Salobreña sería del orden de 0,95 hm<sup>3</sup>, con oscilaciones entre 1,01 hm<sup>3</sup> y 0,86 hm<sup>3</sup>, en función de los gradientes máximo y mínimo registrados, respectivamente. Cabe la posibilidad de que, en años secos o con escasas descargas directas de la presa de Rules al río Guadalfeo, los valores de flujo subterráneo puedan diferir ligeramente de los obtenidos, aunque, en todo caso, creemos que no serían mucho más elevados. Así, concluimos que estas aportaciones son, al menos para los años más húmedos, sensiblemente inferiores a las obtenidas en todos los estudios hidrogeológicos (antes expuestos) llevados a cabo en la zona con anterioridad.

Por otra parte, la regulación del río Guadalfeo mediante la presa de Rules no implicaría una merma considerable de este componente del balance hídrico, aunque evidentemente sí lo haría sobre la recarga global que se produce desde el resto del río Guadalfeo a su paso por el acuífero Motril-Salobreña. Probablemente, la extracción de

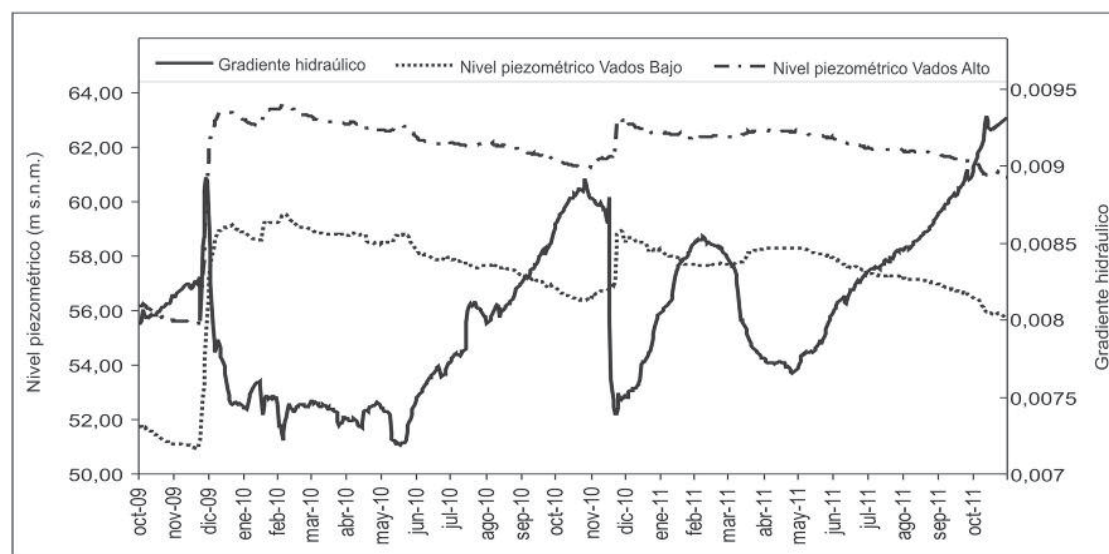


Fig. 2.- Niveles piezométricos medidos en los sondeos de investigación y gradiente hidráulico calculado. Valores medios diarios.

Fig. 2.-Graph with heads measured in the study well and hydraulic gradient.

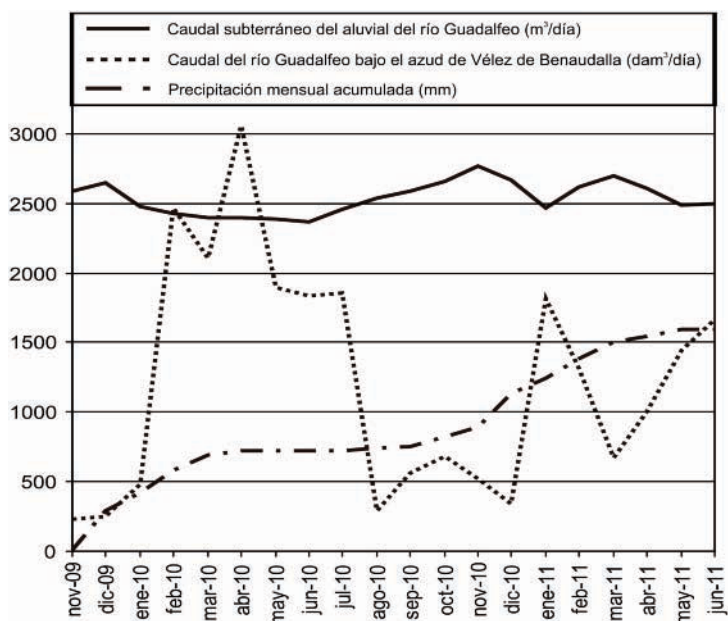


Fig. 3.- Representación gráfica del flujo subterráneo del aluvial del Guadalfeo (Transmisividad = 10.000 m²/día), caudal del río y precipitación acumulada.

Fig. 3.-Graph with groundwater flow of Guadalfeo alluvial (Transmissivity = 10000 m²/day), river discharge and accumulated rain.

aguas en sondeos de explotación cercanos, situados en el aluvial al norte de nuestro área de estudio, tendría un efecto más acusado que la presa en la reducción de la recarga lateral y oculta que se produce a través del aluvial del río Guadalfeo, especialmente en los años más secos y sin flujo superficial, tal y como indican Benavente et al. (1991).

**Conclusiones**

El estudio detallado de los niveles piezométricos y el gradiente hidráulico en el aluvial del Guadalfeo en el sector norte del acuífero Motril-Salobreña ha permitido es-

timar una recarga en torno a 1 hm³/año o menos.

En condiciones de ascenso del nivel piezométrico se produce una caída del gradiente hidráulico y viceversa. Dicho ascenso se relaciona con la descarga de la presa de Rules y las crecidas del río Guadalfeo. En estas situaciones de aguas altas se provocará el aumento del flujo del río que recargará el aluvial y hará ascender el nivel piezométrico, menguando algo el caudal que circula por el aluvial y produciendo variaciones leves de los aportes que recibe el acuífero Motril-Salobreña por este sector.

La incidencia de la presa de Rules sobre este componente específico del balance hí-

drico del acuífero Motril-Salobreña se hace mínima ante los fenómenos observados, al menos durante los años más húmedos o con flujo permanente del río en el cañón de los Vados.

**Agradecimientos**

Se agradece el soporte del proyecto CGL2008-05016 financiado por el MEC, así como los comentarios de los dos revisores anónimos que ayudaron a mejorar este trabajo.

**Referencias**

Benavente, J., Cardenal, J. y Cruz San Julián, J.J. (1991). En: XXIII Congreso A.I.H "Sobreexplotación de acuíferos" (Puerto de la Cruz), 499-502.

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.

Cardenal, J., Benavente, J., Cruz San Julián, J.J. y Fernández Gutiérrez, R. (1991). En: III SIAGA (Córdoba), 313-324.

Castillo, E. (1975). *Hidrogeología de la vega de Motril-Salobreña y sus bordes*. Tesis de Licenciatura, Univ. de Granada, 184 p.

CHSE-IRYDA (1984). Estudio de viabilidad de la ampliación de la zona regable de Motril-Salobreña hasta la cota 300.

García Aróstegui, J.L., Heredia, J.G., Murillo Díaz, J.M., Rubio Campos, J.C. y López Geta, J.A. (2001). En: V SIAGA (Almería), 2, 91-106.

Heredia, J.G., Murillo Díaz, J.M., García Aróstegui, J.L., Rubio Campos, J.C. y López Geta, J.A. (2002). En: *Groundwater and Human Development*. ALHSUD-IAH, 803-812.

ITGE (1988). Investigación hidrogeológica para apoyo a la gestión hidrológica en la cuenca del río Guadalfeo (Cuenca Sur de España, Granada).