

Influencia de la recarga del río Guadalfeo en el sector norte del acuífero Motril-Salobreña mediante el estudio de isótopos estables del agua

Influence of the Guadalfeo River recharge in the Motril-Salobreña northern sector by the study of stable water isotopes

Carlos Duque ⁽¹⁾, Manuel López-Chicano ⁽²⁾ y María Luisa Calvache ⁽²⁾

⁽¹⁾ Department of Geography and Geology. Øster Voldgade 10, DK-1350. University of Copenhagen. Dinamarca. cad@geo.ku.dk

⁽²⁾ Departamento de Geodinámica. Av/ Fuentenueva s/n 18071. Universidad de Granada. España. mlopezc@ugr.es, calvache@ugr.es

ABSTRACT

The influence of the Guadalfeo River in the hydrodynamic of the northern sector of Motril-Salobreña aquifer has been reviewed with the study of the water isotopic composition. In this area there are two main inputs to the aquifer, the recharge associated with the river infiltration and the recharge produced by the Escalate carbonated aquifer. The isotopic signal of both is different, therefore mixing ratios calculations have been accomplished considering as end members the river water and the Escalate aquifer water. The results show that groundwater flow paths are parallel to the river track and the water composition is different in each side of the river due to the recharge of the Escalate aquifer in only one of them. This situation is related to the water infiltration from the river Guadalfeo that is the responsible of the temporal groundwater divide generation.

Key-words: Motril-Salobreña aquifer, O^{18} , deuterium, groundwater divide.

RESUMEN

Se ha analizado la influencia del río Guadalfeo en la hidrodinámica del sector norte del acuífero Motril-Salobreña con el estudio de la composición isotópica del agua. En esta área hay dos principales entradas al acuífero, la recarga asociada a la infiltración en el río y la recarga producida por el acuífero carbonatado de Escalate. La señal isotópica de ambos es diferente por lo que se pudo calcular los porcentajes de mezcla considerándolos como los dos posibles orígenes del agua en la zona. Los resultados muestran que el recorrido del flujo subterráneo discurre paralelo al cauce del río y la composición isotópica del agua subterránea es diferente en cada uno de los márgenes debido a la recarga del acuífero de Escalate en solo un lado del río. Esta situación se debe a la infiltración en el río Guadalfeo que genera una divisoria hidrogeológica temporal bajo su traza.

Palabras clave: Acuífero Motril-Salobreña, O^{18} , deuterio, divisoria hidrogeológica.

Geogaceta, 50-1 (2011), 79-82.
ISSN:2173-6545

Fecha de recepción: 15 de Febrero de 2011
Fecha de revisión: 28 de Abril de 2011
Fecha de aceptación: 27 de Mayo de 2011

Introducción

El conocimiento de la hidrodinámica de los acuíferos permite caracterizar el flujo del agua subterránea. La presencia de elementos que puedan afectar a la circulación del agua como bombeos, recargas puntuales o conexiones entre distintos acuíferos deben ser tenidos en cuenta al planificar redes de control o perímetros de protección de abastecimientos. En el sector norte del acuífero detrítico Motril-Salobreña coinciden varias fuentes de recarga como el río Guadalfeo, la alimentación lateral oculta desde el acuífero carbonatado de Escalate y el retorno de riegos. En este trabajo se estudian las relaciones existentes entre ellos y las afecciones a la hidrodinámica local. Para este estudio se han analizado isótopos estables del agua (O^{18} y deuterio) tanto del

acuífero como de las fuentes de recarga del sector. Se ha considerado este método de estudio más útil que las medidas directas del nivel freático debido a que no existe una red de control piezométrico suficientemente densa para establecer detalladamente el efecto de la recarga del río Guadalfeo sobre los niveles.

Contexto hidrogeológico

El acuífero costero Motril-Salobreña se encuentra localizado en el sureste de la península ibérica y está formado por materiales detríticos de edad cuaternaria arrastrados por el río Guadalfeo (Fig. 1). El río Guadalfeo cruza el sector oeste del acuífero en dirección norte-sur y presenta un carácter influente. En ese sector, el espesor de la zona no saturada oscila entre 20 metros en

el sector norte del acuífero hasta hacerse nulo en las áreas cercanas a la desembocadura. El caudal medio del río Guadalfeo de los últimos años ha sido de 7700 L/s, si bien la reciente construcción de la presa de Rules aguas arriba y el inicio de las labores de embalsado están disminuyendo las aportaciones. El sector norte del acuífero Motril-Salobreña está en contacto con el acuífero carbonatado de Escalate, del cual recibe cierta recarga (Fig. 3). Los restantes bordes pueden considerarse prácticamente impermeables, debido a que las rocas que afloran son esquistos y filitas de muy baja permeabilidad. En el límite sur el acuífero descarga al mar Mediterráneo. Otra entrada de agua al acuífero de gran importancia es el retorno de agua de riego debido al uso de sistemas tradicionales como la inundación. Los bombeos más importantes de aguas subte-



Fig. 1.-Localización geográfica y puntos de muestreo de agua.
Fig. 1.-Geographic location and water sampling points.

rráneas se realizan para el abastecimiento de las poblaciones de Motril y Salobreña, junto con las extracciones para algunas industrias locales. La mayor parte del agua que se utiliza para el riego se deriva del propio río Guadalfeo y se transporta a través de una red de canales y acequias (Calvache *et al.*, 2009; Duque, 2009)

Metodología

Durante el año hidrológico 2001-2002 se muestreó el agua del acuífero Motril-Salobreña, del acuífero carbonatado de Escalate, del río Guadalfeo y también el agua de riego y el agua de lluvia. Las muestras de agua recolectadas fueron analizadas en el Servicio de Análisis de Isótopos Estables de la Estación Experimental del Zaidín (CSIC, Granada) utilizando un espectrómetro de masas de razones isotópicas Finnigan MAT 251, mediante la reducción con Zn para obtener la relación ²H/¹H, y mediante el método de equilibrio isotópico de una cierta cantidad de agua con CO₂ para la relación ¹⁸O/¹⁶O. En ambos casos se estimaron las desviaciones isotópicas relativas al patrón de referencia V-SMOW, resultando errores experimentales de ±0.1 ‰ y ±1 ‰ para el oxígeno y el hidrógeno, respectivamente.

Se clasificaron los distintos tipos de aguas existentes en función de su marca isotópica y se proyectaron los resultados en función de su localización geográfica en los puntos situados en la zona norte del acuífero y cercanos al río Guadalfeo con el

fin de estudiar la influencia de éste. Mientras que la caracterización de los tipos de agua se hizo con un muestreo a nivel mensual, para el estudio de la influencia del río Guadalfeo se optó por utilizar los datos de dos campañas flash con mayor representación espacial correspondientes a un momento de aguas altas y a otro de aguas bajas.

Resultados

La proyección gráfica (Fig. 2) del contenido isotópico de δ¹⁸O-δD de las muestras permitió establecer las características isotópicas de los tres tipos principales de aguas presentes en el área de estudio. El agua del acuífero tiene una composición intermedia (valor medio de δ¹⁸O = -8,2 ‰) entre la del agua procedente del río (valor medio de δ¹⁸O = -8,6 ‰) y la del acuífero carbonatado (valor medio de δ¹⁸O = -7,5 ‰). El río se muestra más empobrecido en isótopos pesados debido al efecto de la altitud ya que el agua procede principalmente de la fusión de la nieve de la cara sur de Sierra Nevada que presenta cotas muy elevadas. Posteriormente los procesos de evaporación en el río producirán un ligero enriquecimiento. En cambio, el acuífero carbonatado de Escalate, más próximo a la línea de costa y de cota topográfica sensiblemente más baja que Sierra Nevada, está menos enriquecido en isótopos ligeros. Para el estudio específico del sector norte del acuífero, se seleccionaron tres sondeos situados en ambas márgenes del río Guadalfeo y a distintas distancias del acuífero carbonatado de Escalate (Fig.3). Se recurrió al estudio de mezclas simples cuyos extremos finales serían los valores de δ¹⁸O del agua del acuífero carbonatado y del agua del río, considerando que todas las muestras to-

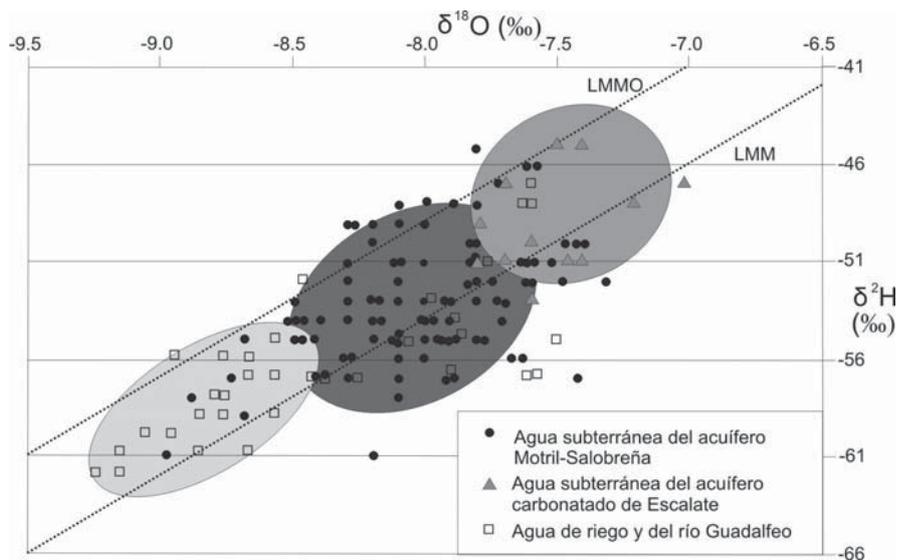


Fig. 2.- Proyección de las muestras en función del δ¹⁸O y δ²H y tipos de agua que pueden distinguirse a partir de su distribución. (LMM- Línea meteórica mundial (Craig, 1961), LMMO- Línea meteórica del mediterráneo occidental (Celle-Jeanton *et al.*, 2001)).

Fig. 2.-Sampling plot of δ¹⁸O vs δ²H and water types distinguished because of the distribution (LMM-Global meteoric water line (Craig, 1961), LMMO- Western Mediterranean meteoric water line (Celle-Jeanton *et al.*, 2001)).

madras en los tres sondeos corresponderían a diferentes partes alícuotas de ambas fuentes. En este experimento se despreció el efecto causado por el agua de riego y del agua de lluvia en la mezcla final. Ello se fundamentó en el hecho de que la superficie aproximada de este sector es pequeña (unos 1.10^6 m^2) y la recarga procedente del retorno del regadío -según trabajos previos en la zona (IGME, 1999)- se estima en sólo $1700 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1} \text{ ha}^{-1}$; por lo tanto, el volumen de agua infiltrado en un año sólo llegaría a $0.17 \text{ hm}^3/\text{año}$. En cambio, según Duque *et al.* (2010), la recarga que se produciría en este mismo sector procedente de la infiltración del río podría estimarse en 1.5 hm^3 , casi un orden de magnitud mayor.

Teniendo en cuenta el carácter conservativo de estos isótopos una vez que pasan a formar parte del agua subterránea (Araguás-Araguás *et al.*, 2000), se ha utilizado la ecuación

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{MEZCLA}} = x \delta^{18}\text{O}_{\text{ESCALATE}} + (1-x) \delta^{18}\text{O}_{\text{RÍO GUADALFEO}}$$

donde x es la fracción de agua procedente del acuífero carbonatado de Escalate. Se obtuvo la evolución temporal de dicho parámetro en los tres puntos seleccionados a lo largo del año hidrológico 2001-02 (Fig. 3). Este tipo de cálculos han sido aplicados en otros acuíferos del mundo con buenos resultados (Cable Reins y Mount, 2002; Buttler II, 2007). Comparando los resultados en los sondeos P5 y P10, ambos situados en la margen derecha del río Guadalfeo, el primero presenta mayor proporción de agua procedente del acuífero carbonatado. Parece claro y lógico que la mayor proximidad del sondeo P5 al acuífero carbonatado de Escalate favorece dicha circunstancia. Sin embargo, esta hipótesis no es suficiente para explicar los valores isotópicos encontrados en este sector del acuífero Motril-Salobreña, ya que el sondeo P32, que se encuentra en una localización mucho más cercana al acuífero carbonatado de Escalate, solamente presenta porcentajes elevados de agua procedente del acuífero carbonatado durante unos pocos meses del año. Además, la importancia relativa en dicho sondeo de los aportes hídricos desde Escalate muestra variaciones temporales mucho más acusadas que las observadas en los dos sondeos anteriores. Asimismo, se detecta una relación inversa de este porcentaje con los caudales registrados en el río Guadalfeo (Fig. 3).

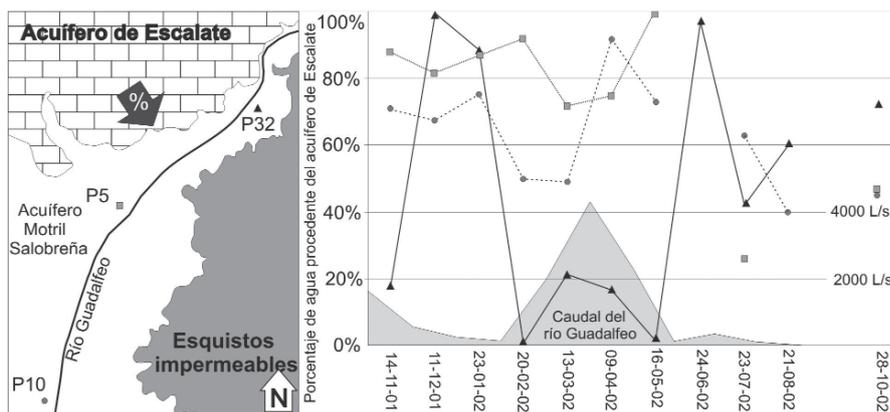


Fig. 3.- Porcentaje de agua procedente del acuífero carbonatado de Escalate y evolución.

Fig. 3.-Percentage of water coming from the Escalate carbonated aquifer and evolution.

Discusión

Debido a que parece existir una relación causa-efecto con los caudales del río Guadalfeo, se proyectaron los datos de relaciones isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de las muestras del sector noroeste y se compararon con su localización en el acuífero Motril-Salobreña (Fig. 4). Se observaron dos

líneas de tendencia cuyos extremos son el acuífero carbonatado (y en último extremo la lluvia local) y el río Guadalfeo que finalmente convergen en el sector donde ambos tipos de aguas se mezclan (área de los puntos P7 y P10). Los puntos P5 y P6, que espacialmente se encuentran muy cercanos, deben estar sin embargo situados en líneas de flujo distintas. Presentan composiciones

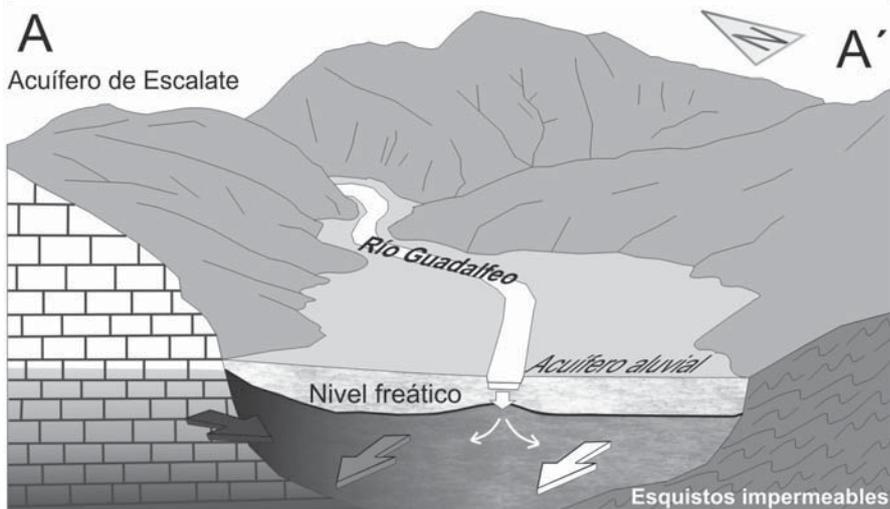
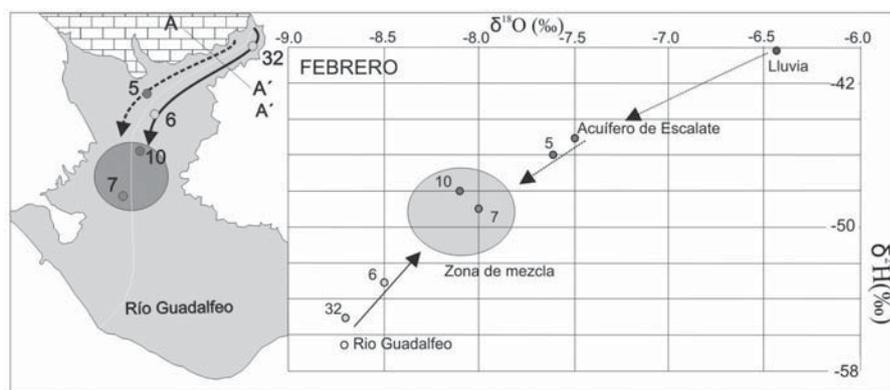


Fig. 4.- Proyección de la marca isotópica de los puntos del sector norte del acuífero Motril-Salobreña, distribución espacial y líneas de flujo.

Fig. 4.- Isotopic signal plot of the Motril-Salobreña northern sampling points, spatial distribution and flow lines.

isotópicas muy diferenciadas, cada una influenciada bien por el agua del río o bien por la procedente del acuífero carbonatado de Escalate. El río Guadalfeo es el elemento que se interpone entre los dos tipos de aguas muestreadas. La afección a la hidrodinámica local se relaciona con la infiltración que se produce en el lecho del río, ampliamente comprobada mediante aforos diferenciales, que generaría una ligera elevación del nivel freático bajo su traza de modo que ejercería un papel de divisoria hidrogeológica. Dado que el acuífero carbonatado de Escalate se encuentra situado en la margen derecha del río, el agua de dicha margen estaría más influenciada por esta marca isotópica que la de la margen izquierda donde sería la composición isotópica del río Guadalfeo la que dominaría. Esto permite explicar las diferencias isotópicas encontradas en el agua subterránea de ambas márgenes y, por lo tanto, las líneas de flujo discurrirían paralelas al cauce del río Guadalfeo en este sector más septentrional.

La hipótesis planteada también explica por qué en el sondeo P32 hay variaciones tan grandes en el porcentaje de agua procedente del acuífero carbonatado de Escalate. Cuando el río lleva suficiente caudal, la presencia de la divisoria hidrogeológica por la infiltración en el lecho del río hace que el agua de Escalate apenas alcance la margen donde se encuentra el sondeo P32 (Fig. 4). Esta situación se mantiene hasta las inmediaciones de los sondeos P7 y P10, donde sí parece producirse una buena mez-

cla del agua procedente de las dos fuentes de recarga principales. En este sector, además, se llevan a cabo bombeos de gran entidad, tanto para el abastecimiento del municipio de Salobreña como para usos industriales, por lo que cabría la posibilidad de que la confluencia de las líneas de flujo, paralelas aguas arriba, estuviese condicionada en cierto grado por este efecto antrópico.

Conclusiones

El funcionamiento hidrodinámico del sector norte del acuífero Motril-Salobreña ha sido mejor definido a partir de la marca isotópica (O^{18} y deuterio) del agua subterránea. Los tipos de aguas presentes en este sector son principalmente el resultado de la mezcla de aguas que provienen del acuífero carbonatado de Escalate (más enriquecido en isótopos pesados) y del río Guadalfeo (mayor empobrecimiento en isótopos pesados). La aplicación de mezclas simples para este estudio ha sido posible por tratarse de un sector reducido donde se pueden despreciar otras entradas de agua al sistema.

Se ha constatado la generación de una divisoria hidrogeológica temporal a partir de las diferencias halladas entre puntos muy cercanos geográficamente, pero situados en distintos márgenes del río Guadalfeo. Este efecto está directamente relacionado con momentos en los que el río lleva más caudal. La mezcla del agua subterránea procedente de sectores situados en ambas márgenes se produce en un área de

intensas extracciones situada unos kilómetros más al sur.

Agradecimientos

Este estudio se realizó gracias a los fondos de los proyectos CGL2005-06224/BTE y CGL2008-05016 financiados por el Ministerio de Educación y Ciencia, el grupo de investigación de la Junta de Andalucía RNM-369 y el Programa de Perfeccionamiento de Doctores del Plan Propio de la Universidad de Granada. Se agradece a los dos revisores anónimos sus comentarios para la mejora de este trabajo.

Referencias

- Araguás-Araguás, L., Froehlich, K. y Rozanski, K. (2000). *Hydrological Processes*, 14, 1341-1355.
- Buttler II, T.W. (2007). *Science of the Total Environment*, 388, 149-167
- Cable Reins, M. y Mount, J.F. (2002). *Ground Water*, 40, 552-563.
- 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.
- Celle-Jeanton, H., Travi, Y. y Blavoux, B. (2001). *Geophysical Research Letters*, 28, 1215-1218.
- Craig, H. (1961). *Science*, 133, 1702-1703.
- Duque, C. Calvache, M.L. y Engesgaard, P. (2010). *Journal of Hydrology*, 381, 121-133.
- Duque, C. (2009). *Influencia antrópica sobre la hidrogeología del acuífero Motril-Salobreña*. Tesis Doctoral. Univ. de Granada, 194 p.
- I.G.M.E. (1999). *Actualización del conocimiento hidrogeológico de la unidad 06.21. Motril-Salobreña y modelización matemática del acuífero*. Tomo de memoria, 169 p.