

# Evolución hidrogeoquímica del acuífero carbonatado profundo de la Loma de Úbeda (Jaén)

I. Núñez<sup>(1)</sup>, L. Araguás-Araguás<sup>(2)</sup>, L. Moreno<sup>(1)</sup>, J.C. Rubio<sup>(1)</sup>, A. González-Ramón<sup>(1)</sup>,  
E. Pérez-Zabaleta<sup>(3)</sup> y J. Gollonet<sup>(4)</sup>

(1) Instituto Geológico y Minero de España, IGME. c/ Ríos Rosas 23. Madrid  
E-mail: i.nunez@igme.es

(2) International Atomic Energy Agency, IAEA. Wagramer Strasse 5A-1400. Vienna

(3) Centro de Estudios y Técnicas Aplicadas, CEDEX. c/ Alfonso XII 3. Madrid

(4) Consultor hidrogeólogo

## RESUMEN

Se presenta el modelo hidrogeológico del acuífero carbonatado de la Loma de Úbeda y en particular, la caracterización hidrogeoquímica y la evolución isotópica de las aguas a lo largo de las líneas de flujo. Este acuífero se caracteriza por presentar una zona libre donde se produce la recarga y una zona confinada profunda con una barrera redox a partir de la cual se producen procesos de reducción e intercambio catiónico que influyen en la composición isotópica.

Palabras clave: acuífero profundo, carbonatado, hidroquímica, isótopos, Loma de Úbeda

## ***Hydrogeochemical evolution in the Loma de Ubeda carbonated deep aquifer (Jaén)***

### ABSTRACT

*This article describes how is the Loma de Úbeda carbonated deep aquifer hydrogeological model. Particularly the hydrogeochemical characteristics and the isotopic evolution along the major flow paths. This aquifer has a phreatic zone where the recharge is produced. There is a deep confined zone where redox processes and cation exchange are produced from the redox barrier that influence the isotope composition.*

*Key words: carbonated, Deep aquifer, hydrochemistry, isotopes, Loma de Úbeda*

## Introducción

El acuífero profundo de la Loma de Úbeda ha sido sometido durante los últimos años a una intensa explotación. Las características de dicho acuífero son poco habituales, debido a la profundidad a la que se sitúan los bombeos, a sus posibles conexiones hidráulicas y a las características físico-químicas de sus aguas. Para una gestión adecuada de estos recursos son necesarios estudios hidrogeológicos e hidrogeoquímicos adicionales a la caracterización hidrogeológica que se realiza en acuíferos más someros con objeto de mejorar el conocimiento de este tipo de acuíferos.

## Marco geológico

El área de estudio se sitúa entre la Meseta Ibérica y la Cuenca del Guadalquivir, donde el zócalo está recubierto por potentes depósitos mesozoicos y neógenos. Estratigráficamente, de muro a techo afloran una serie de pizarras arcilloso-grafitosas de edad paleozoica (Martínez *et al.*, 1974). Como se observa en la fig. 1, el Triásico aflora extensamente al norte del río Guadalimar con una potencia variable de 50-300 metros y con una disposición subhorizontal. Está constituido por niveles conglomeráticos y areniscos intercalados en arcillas, lutitas con intercalaciones de areniscas y arcillas y margas rojas con niveles eva-

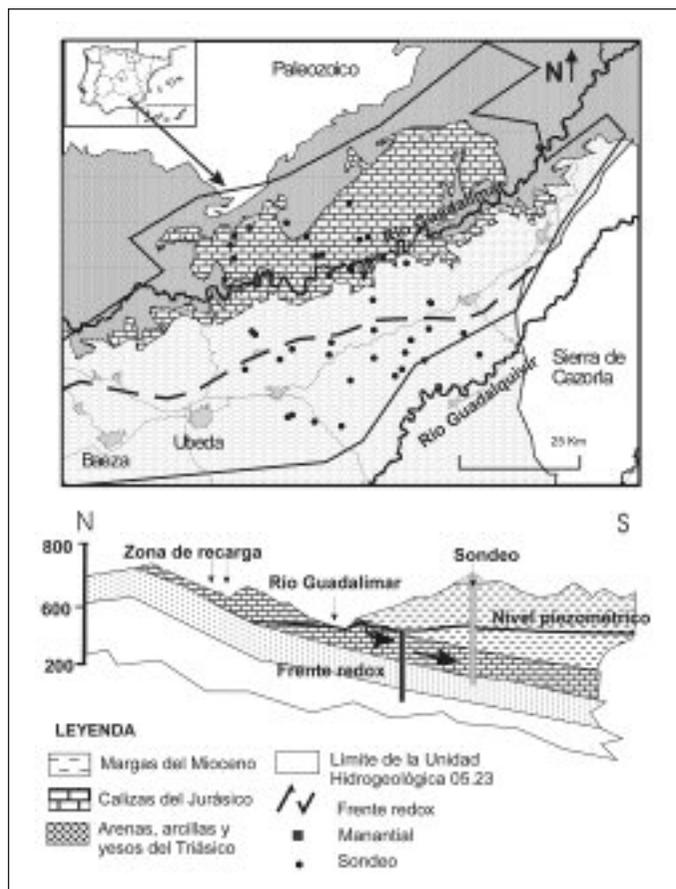


Fig. 1. Mapa geológico simplificado y corte geológico de la zona de estudio  
 Fig. 1. Simplified geological map and cross section

poríticos. A techo del Triásico se encuentran los materiales jurásicos de edad Lias inferior, que están formados por carbonatos de carácter dolomítico (microesparitas, dolomicritas, pseudo-oomicritas). Presentan una disposición en estratos bien tableados y afloran principalmente en el valle del río Guadalquivir. Su potencia media es de unas 70-80 metros. En general, la profundidad a la que se sitúa el techo del Jurásico aumenta desde unos 100 m, a 1 ó 2 km de sus afloramientos, hasta superar los 700-800 metros al sur de Úbeda, presenta buzamientos comprendidos entre 1 y 3°. La cobertera miocena que se dispone discordantemente sobre los materiales jurásicos está formada por depósitos de carácter margoso con intercalaciones de lentejones areniscosos de 200 a más de 600 metros de potencia (ITGE-DGOH-DGCA, 2001).

**Marco hidrogeológico**

La definición de la superficie piezométrica en el acuí-

fero jurásico de la Unidad de Úbeda presenta ciertas dificultades, dado que son frecuentes los sondeos sin adecuado aislamiento que atraviesan varios acuíferos, lo que provoca evidentes anomalías en la posición del nivel piezométrico de algunos puntos al interconectar niveles de diferente potencial.

En la zona del acuífero jurásico de carácter libre, situada al norte del río Guadalquivir se encuentran los manantiales más significativos asociados al acuífero jurásico (con caudales comprendidos entre 13 y 29 l/s en 2004) se sitúan precisamente en los bordes de estos afloramientos, en la margen derecha del río y a mayor cota. Los restantes manantiales ligados al Jurásico presentan caudales inferiores a 1l/s y aparecen próximos a los bordes de los afloramientos, correspondiendo a niveles colgados del propio acuífero jurásico o, en ocasiones, incluso de materiales miocenos suprayacentes. (ITGE-DGOH-DGCA, 2001).

Al sur del río Guadalquivir, el nivel de agua se sitúa por debajo de la cota del río con gradiente descendente hacia el sur-sureste, desde el río hacia el acuífero a una distancia de 2-4 km, hacia el sur, el acuífero entra en carga por el recubrimiento de las margas miocenas, produciendo un incremento de la carga hidráulica sobre el techo del Jurásico. El límite sur del acuífero está definido por el contacto con las unidades olitostromicas de las Béticas configurando al acuífero confinado una estructura en forma de "fondo de saco".

El acuífero jurásico se alimentaría esencialmente de la infiltración directa del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables (unos 252 km²). En condiciones naturales y en ausencia de explotaciones por bombeo, el acuífero libre descargaría directamente hacia el río Guadalquivir, y el acuífero confinado estaría totalmente saturado hasta su cota de desagüe, descargando también hacia el río Guadalquivir o hacia cauces secundarios situados al sur del mismo, en la franja entre el río y el contacto con las margas miocenas que lo confinan a techo.

Dada la naturaleza del acuífero y el conocimiento que sobre él tenemos, no es posible cuantificar el balance hídrico a falta de datos concluyentes.

**Evolución hidroquímica e isotópica**

En la zona libre del acuífero jurásico, donde los sondeos son poco profundos (hasta 140 m), las aguas subterráneas presentan un grado de mineralización bajo (TDS del orden de 400 a 800 mg·L<sup>-1</sup>), una temperatura en torno a 20°C y contenidos de tritio comprendidos entre 4.5 y 7.0 UT (Unidades de Tritio), es decir, valores similares a los observados en la preci-

pitación media. Se trata de la zona de recarga principal del sistema y por tanto, en las aguas subterráneas dominan las condiciones oxidantes y la facies bicarbonatada-cálcica. Se encuentran también altos contenidos en nitratos ( $40-100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). La actividad de carbono-14 en la zona libre del acuífero es del orden de 60-85 pMC (tanto por ciento de Carbono Moderno), lo que confirma la rápida renovación de las aguas subterráneas de dicha zona. Parte de estas aguas descargan en el río Guadalimar.

Las muestras de aguas subterráneas tomadas al sur del río Guadalimar presentan un progresivo incremento del grado de mineralización, acompañado de un descenso en los contenidos de nitrato. Esta tendencia se mantiene en el primer tramo del acuífero donde éste pasa a ser confinado. En este sector, se produce un consumo del oxígeno disuelto dando lugar a condiciones reductoras, lo que conlleva la desaparición progresiva del ión nitrato conforme aumenta la distancia a la zona de recarga. Las concentraciones de tritio presentan unos valores comprendidos entre 0.5 y 3.0 UT, lo que refleja la mezcla de aguas subterráneas de niveles profundos y someros, con diferentes tiempos de residencia en los niveles acuíferos. En los sectores más profundos, las condiciones reductoras son muy marcadas, llegando hasta la reducción generalizada de sulfatos, con la generación de importantes cantidades de  $\text{H}_2\text{S}$ . Las concentraciones del ión sulfato decrecen desde unos 700 mg/l en algunos sectores de la zona libre, hasta menos de 10 mg/l en la zona confinada y más profunda. En esta zona profunda, donde se extraen aguas subterráneas que superan los  $50^\circ\text{C}$ , la salinidad está comprendida entre 2 y  $3,5 \text{ gr}\cdot\text{L}^{-1}$ , y se observa una evolución hidrogeoquímica hacia la facies clorurada-sódica. Los contenidos de tritio se hacen nulos y se produce un marcado descenso en la actividad de  $^{14}\text{C}$ , llegando a encontrarse varias muestras con una actividad comprendida entre 0 y 10 pMC, lo que corresponde a edades radiométricas del orden de unos 25.000 años A.C. La transición de condiciones oxidantes a reductoras se produce de forma brusca, y se observa en los cambios en las concentraciones de tritio, en algunos parámetros químicos y en la actividad de  $^{14}\text{C}$ .

Los datos de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  se sitúan por debajo de la LMAM (Línea Mundial de las Aguas Meteoricas) presentan valores medios de -6,3 y -43‰ respectivamente. No se ha observado una diferencia clara entre la composición isotópica de las aguas subterráneas recientes y las más antiguas, que pudiera achacarse a un efecto paleoclimático. Por otra parte, los contenidos de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  de las aguas del río Guadalimar presentan valores claramente diferentes

a los observados en las aguas subterráneas próximas a su cauce, lo que sugiere que éste no es una fuente importante de recarga del acuífero y que no existe una buena conexión hidráulica entre las aguas subterráneas y el río.

## Conclusiones

La evolución hidrogeoquímica en el acuífero carbonatado de la Loma de Úbeda está condicionada por su estructura.

La zona correspondiente al acuífero libre, se caracteriza por la rápida renovación de las aguas subterráneas, presentan facies bicarbonatada cálcica, escasa evolución geoquímica, altos niveles de nitratos y sulfatos y contenidos en tritio.

En la zona confinada próxima al río Guadalimar los datos de tritio indican procesos de mezcla entre niveles someros y más profundos. Sin embargo a partir del frente redox los niveles de tritio se hacen nulos, coincidiendo con la ausencia de contenidos en nitrato. Las aguas son geoquímicamente muy evolucionadas donde se dan procesos de reducción de sulfatos e intercambio catiónico de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  por Na.

El contraste isotópico entre las aguas del río Guadalimar y la práctica totalidad de las aguas subterráneas analizadas indica la ausencia de recarga derivada del río.

La homogeneidad de los datos isotópicos ( $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$ ) del acuífero profundo hace suponer que las aguas subterráneas responden a un único mecanismo de recarga, posiblemente a la ausencia de aguas recargadas durante el Pleistoceno (más de unos 12.000 años).

La edad radiométrica que nos proporcionan los datos de carbono-14 indican aguas de edades de unos 25.000 años pero las condiciones hidroquímicas del acuífero y los datos obtenidos de carbono-13 revelan que esta edad podría ser holocena (Núñez *et al.* 2005).

## Referencias

- ITGE-CGH-DGCA. 2001. Proyecto para la actualización de la infraestructura hidrogeológica de las Unidades 05.01 Sierra de Cazorla, 05.02 Quesada-Castril, 07.07 Sierras de Segura-Cazorla y el Carbonatado de la Loma de Úbeda. Madrid.
- Martínez, W., Núñez, A., Cabañas, I. y Perconig, E. IGME 1974. Mapa Geológico de España. Segunda serie. Hoja de Villacarrillo 21-36 (907).

- Núñez, I., Araguás-Araguás, L., Rubio, J.C., González, A., Pérez-Zabaleta, E. y Gollonet, J. 2005. Evolución hidrogeoquímica en el acuífero carbonatado Jurásico de la Loma de Úbeda, Jaén. En: J.A López-Geta; J.C. Rubio y M. Martín Machuca (Eds.), VI Simposio de Andalucía. IGME. pp 519-531.
- Núñez, I., Araguás-Araguás, L., Rubio, J.C., González, A., Pérez-Zabaleta, E. y Gollonet, J. 2005. Contenidos isotópicos de las aguas subterráneas del acuífero carbonatado Jurásico de la Loma de Úbeda, Jaén. En: J.A López-Geta; J.C. Rubio y M. Martín Machuca (Eds.), VI Simposio de Andalucía. IGME. pp 533-542.
- Rey, J., Redondo, L. e Hidalgo, M.C. 1998. Interés hidrogeológico de las Dolomías Jurásicas de la Cobertera Tabular de la Meseta (Norte de Úbeda, provincia de Jaén). *Rev. Soc. Geol. España*, 11 (3-4), 213-221.

Recibido: diciembre 2005

Aceptado: julio 2006