

# Detección de patrones de flujo mediante medidas de temperatura en el acuífero Motril-Salobreña

## *Flow patterns detection with temperature measurements in Motril-Salobreña aquifer*

Carlos Duque<sup>(1)</sup>, María Luisa Calvache<sup>(2)</sup> y Juan Pedro Sánchez-Úbeda<sup>(2)</sup>

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

<sup>(2)</sup> Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada, Av/ Fuentenueva s/n, 18071 Granada, España. calvache@ugr.es, jpgeo3@gmail.com

### ABSTRACT

Temperature measurements were used in Motril-Salobreña aquifer for detecting flow patterns. The interaction Guadalfeo River-aquifer and the presence of vertical upward flows in the areas close to the river mouth were characterized based on temperature groundwater logs. The temperature logs showed a characteristic shape due to the river influence in the groundwater temperature when the river flow is high in several boreholes. Nevertheless not all the boreholes follow this pattern. The study with envelope temperature profiles, that usually are used for defining if the river is losing or gaining, can be applied in this case for detecting vertical upward fluxes in areas where never were defined before by other means. Artesian wells have been detected in this area but the location where these types of fluxes could be noticed has been extended to the north and east.

**Key-words:** Temperature, envelope temperature profiles, artesian boreholes.

### RESUMEN

Se utilizaron medidas de temperatura en el acuífero Motril-Salobreña para detectar patrones de flujo. La interacción entre río el Guadalfeo y el acuífero y la presencia de flujos verticales ascendentes en las áreas cercanas a la desembocadura del río fueron caracterizadas a partir de perfiles de temperatura del agua subterránea. Los perfiles de temperatura mostraron una forma característica en algunos sondeos debido a la influencia del río sobre la temperatura del agua subterránea cuando el caudal del río fue elevado. Sin embargo no todos los sondeos siguieron esta tendencia. El estudio con envoltentes de perfiles de temperatura, que normalmente son utilizados para definir si el río es ganador o perdedor, puede ser utilizado en este caso para detectar flujos verticales ascendentes en áreas donde nunca se habían definido anteriormente mediante otros medios. Algunos pozos surgentes se han detectado en este sector, pero la extensión donde estos flujos podrían ser observados ha sido ampliada hacia el norte y al este.

**Palabras clave:** Temperatura, perfiles de envoltente de temperatura, pozos surgentes.

Geogaceta, 51 (2012), 91-94.  
ISSN:2173-6545

Fecha de recepción: 13 de julio de 2011  
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2011  
Fecha de aceptación: 25 de noviembre de 2011

## Introducción

La temperatura del agua subterránea es un parámetro sencillo de obtener, barato y con un gran potencial para ser utilizado como una herramienta común en hidrogeología. De hecho los avances tanto en la adquisición de datos como en la simulación mediante modelos ha aumentado las aplicaciones y las investigaciones con medidas de temperatura (Anderson, 2005; Constanz, 2008).

Las envoltentes de perfiles de temperatura (EPT) han sido utilizadas para distinguir el comportamiento perdedor o ganador de un río (Taniguchi, 1993; Stonestrom y Constanz, 2003). Los EPT se obtienen de la representación de todos los perfiles de temperatura registrados durante un periodo de tiempo determinado, cuyos límites estarán definidos por los perfiles correspondientes a los

valores mínimo y máximo de temperatura de la serie de datos. La forma de la EPT será diferente en función de las relaciones río-acuífero. En áreas de recarga (flujo del río al acuífero) las EPT encontradas presentan una forma extensa debido a las grandes variaciones de temperatura en el agua subterránea por la influencia de la recarga del río. Por el contrario, áreas de descarga (flujo del acuífero al río) las EPT muestran formas estrechas debido a la escasa variación de la temperatura en el agua subterránea (Taniguchi, 1993).

En el acuífero detrítico costero Motril-Salobreña (42 km<sup>2</sup>) se reúnen algunas de las características necesarias para poder utilizar la temperatura como un trazador para establecer las relaciones existentes entre el río Guadalfeo y el sistema acuífero. El caudal del río presenta variaciones notables debido a causas naturales (oscilaciones entre periodos

secos y húmedos así como cambios estacionales) y a causas antrópicas (construcción de una presa en el cauce y derivación para riego). La temperatura del agua del río también experimenta variaciones estacionales debido fundamentalmente a la temperatura ambiental. Existe otro factor adicional que afecta a la temperatura del agua del río que es la fusión de la nieve de Sierra Nevada. Durante los últimos meses de la primavera se produce una intensa fusión de la nieve que genera aguas con una temperatura fría que dejará su impronta en el agua subterránea.

En este trabajo se estudian los patrones de los perfiles de temperatura registrados en una serie de sondeos situados a una distancia variable del río Guadalfeo (Calvache *et al.*, 2004; 2011), relacionándolos con la mayor o menor recarga que produce el río sobre el acuífero. Asimismo, se utilizan las EPT que,

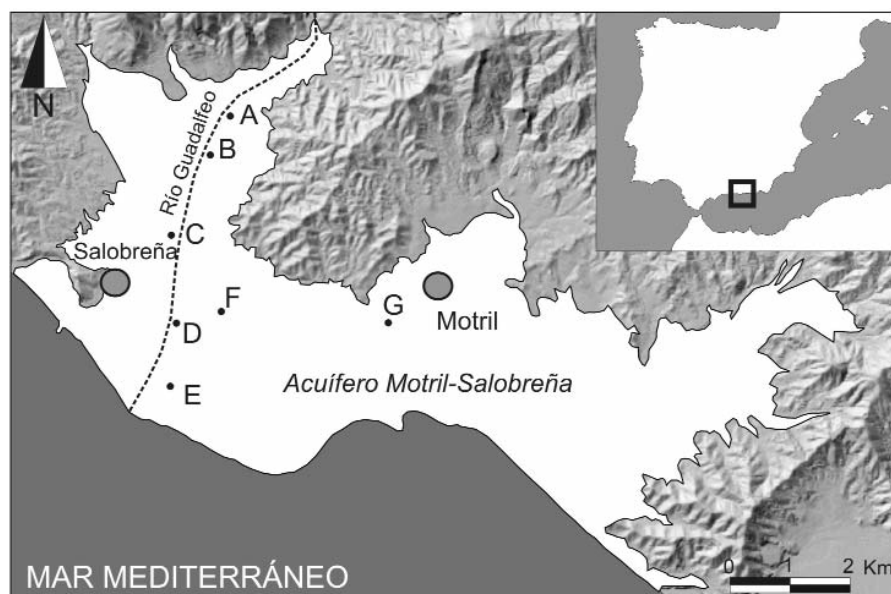


Fig. 1.- Localización del acuífero Motril-Salobreña y sondeos de medición de la temperatura.

Fig. 1.- Motril-Salobreña aquifer location and boreholes of temperature measurement.

si bien no son directamente aplicables según el método de Taniguchi (1993) ya que el nivel freático, excepto en áreas localizadas muy próximas al borde costero, se encuentra claramente por debajo del nivel del río por lo que siempre habría que considerarlo como zona de recarga, puede servir para discriminar otras características del flujo propias de este acuífero.

## Metodología

Desde 2001 hasta 2007 se realizaron perfiles mensuales de la temperatura del agua subterránea en siete sondeos localizados en las proximidades del río Guadalfeo. Cuatro de los puntos se localizan a pocos metros de la traza del río, dos a menos de 1 km y uno a 4 km (Fig. 1). La profundidad de las perforaciones varía entre 40 m, el más superficial y 180 m el más profundo. La medida de temperatura se ha realizado con una sonda a diferentes profundidades. Excepto la primera medida que depende de la posición del nivel freático en el momento de la toma del dato, todas las medidas se realizaron a profundidades constantes cada 5 m. El caudal del río Guadalfeo se conoce a partir de los datos diarios proporcionados por la Agencia Andaluza del Agua y medidos en el azud del Vínculo.

Los resultados obtenidos se asociaron con los caudales del río Guadalfeo teniendo en cuenta el volumen de descarga. Por otra parte se proyectaron las diferentes envolventes de los perfiles de temperatura para

cada sondeo identificando los patrones dominantes en cada uno de ellos. El objetivo final consiste en determinar la aplicabilidad de la temperatura y algunas de sus herramientas ya definidas (EPT) en el acuífero Motril-Salobreña.

## Resultados

La recarga procedente del agua del río Guadalfeo producirá una afección sobre la temperatura en la franja más superficial del agua subterránea que se reflejará en los primeros metros de los perfiles. La medida más superficial también estará condicionada por la temperatura ambiental, ya que la superficie freática se encuentra afectada por la temperatura del aire, por eso algunos perfiles muestran una diferencia muy notable entre la medida más superficial y el resto de la tendencia observada en el registro (Calvache *et al.*, 2004).

El análisis de los perfiles de temperatura del agua subterránea registrados a lo largo de siete años muestra una forma con un patrón curvado con una variabilidad mucho mayor en la franja más somera, justo por debajo del nivel freático. Las oscilaciones térmicas en la franja superficial son de unos 6 °C (entre 15 y 21 °C) en la mayor parte de los perfiles, coincidiendo normalmente con el rango de variación de la temperatura del aire (Duque, 2009) (Fig. 2). Si la medida se realiza en un momento del año en el que la temperatura del aire es inferior a la del agua subterránea se producirá una inflexión en la

parte superior hacia temperaturas más bajas y de igual manera pero inverso si la temperatura del aire es superior. Por otra parte la recarga producida por la infiltración en el río Guadalfeo provocará una señal térmica que afectará hasta una profundidad mayor y que puede distinguirse porque no solo afecta a la medida más superficial.

Los perfiles de temperatura que se presentan (Fig. 2) muestran dos tipos de patrones: para los sondeos A y C hay una mayor dispersión en los datos a partir de la profundidad de 20 metros en comparación con los perfiles que se observan para D y E. En general en todos los perfiles, a medida que aumenta la profundidad, la temperatura se hace más homogénea hasta llegar a un valor de temperatura prácticamente constante que oscila entre los 17 y 18 °C, según la época del año. Este valor se puede considerar como la temperatura media del agua subterránea en el acuífero Motril-Salobreña.

Dado que la temperatura del aire presenta cambios similares cada año, las variaciones para los mismos meses en distintos años deben ser explicadas por otra causa, que en este caso se corresponde con la influencia del río Guadalfeo (Duque *et al.*, 2010; Calvache *et al.*, 2011). La principal diferencia encontrada entre las series de datos correspondientes a momentos con o sin caudal es que durante la época en la que el caudal del río es nulo los perfiles muestran escasa dispersión en la franja superficial. Cuando el río no tiene agua, la temperatura del agua subterránea se mantiene más homogénea en toda su profundidad pero cuando el caudal del río es elevado se produce un descenso de algunos grados en la temperatura del agua subterránea. Existen excepciones a este comportamiento ya que en algunos casos ocurre el efecto opuesto, incrementándose la temperatura en momentos de aguas altas (Fig. 2., Noviembre de 2003).

La variación que experimenta la temperatura del agua subterránea y su relación con el mayor o menor caudal del río Guadalfeo es un argumento suficiente para determinar la existencia de una infiltración del agua del río durante determinados momentos que causará una variación en la temperatura del agua del acuífero (Ferguson y Woodbury, 2005). Sin embargo, estudiando los perfiles de temperatura registrado en el sondeo D (situado a 10 m del cauce del río), no se observa una relación evidente entre las variaciones de temperatura y el caudal del río Guadalfeo. Los

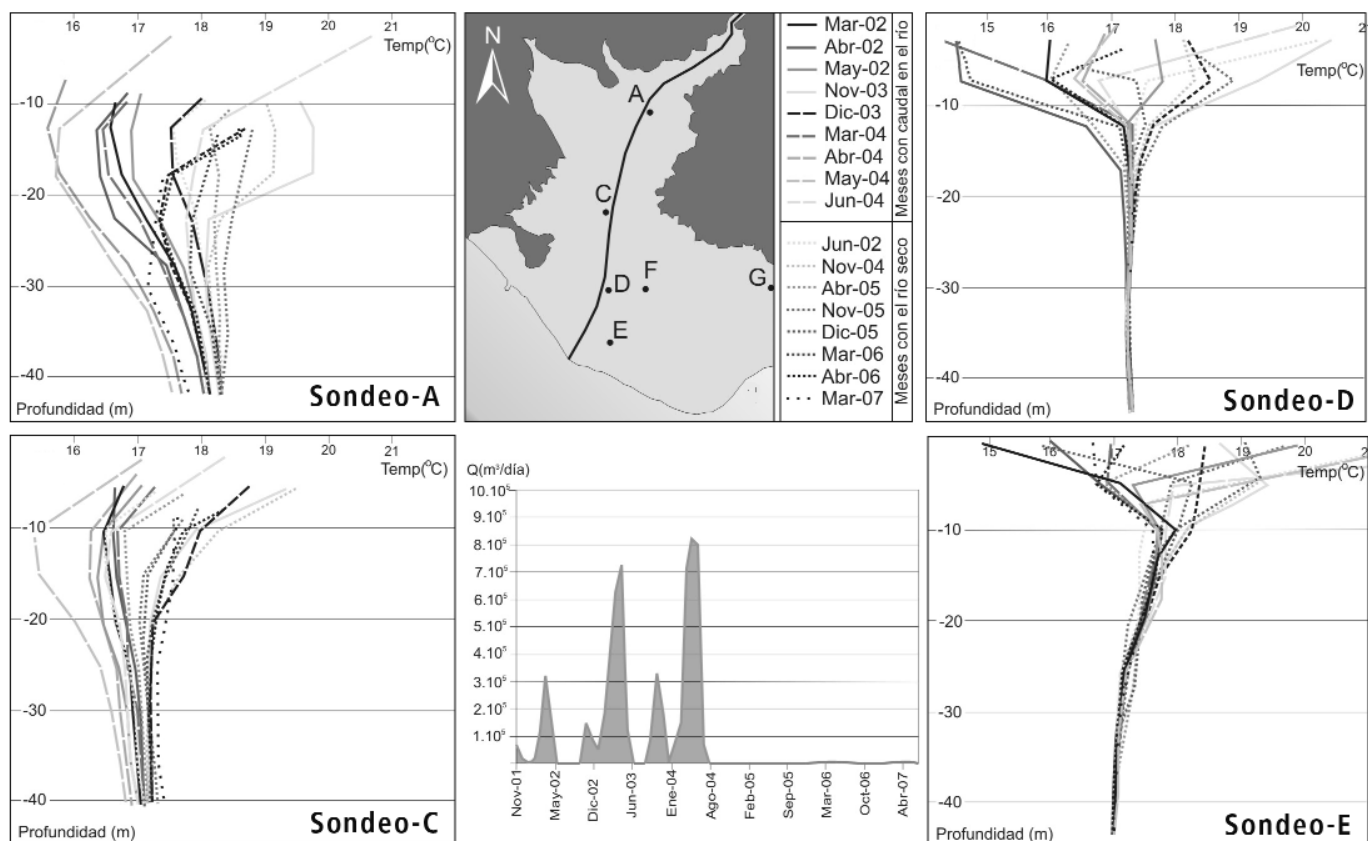


Fig. 2.- Perfiles de temperatura y caudal del río Guadalfeo. Se han diferenciado los meses con caudal del río (líneas continuas o de rayas) y meses en los que el río está seco (líneas de puntos) para observar las diferencias entre ambos.

Fig. 2.- Temperature logs and Guadalfeo River discharge. The differences between high river discharge (continuous lines or dashed lines) and dry river months (lines made of dots) have been highlighted in the figure legend for a better understanding.

patrones de los perfiles de temperatura del agua subterránea en este punto no muestran unas diferencias tan marcadas entre momentos de aguas altas y bajas, como ocurre en el caso de los sondeos A y C.

En estos sondeos se observa que el mínimo absoluto en la temperatura del agua se encuentra en la primavera de 2004 que es precisamente cuando se registran los mayores caudales en el río Guadalfeo. La situación en la primavera de 2002 es muy similar a la anterior pero con menor impacto en la temperatura del acuífero que se corresponde también con un caudal inferior en el río Guadalfeo.

**Discusión**

Se han detectado diferencias entre los perfiles de temperatura que se han medido en el acuífero Motril-Salobreña. Así mientras que los sondeos A y C parecen mostrar similitudes y una relación directa con el río Guadalfeo, los sondeos D y E parecen apartarse de esa tendencia a pesar de que el sondeo D se encuentra también muy próximo al cauce (10 metros). Se decidió proyectar

las envolventes de los perfiles de temperatura para estudiar estas diferencias.

Las envolventes de los perfiles de temperatura del agua subterránea en los puntos D y E muestran una forma característica de zonas de descarga según Taniguchi (1993). A pesar de que el río Guadalfeo es un río perdedor en casi toda su trayectoria, a unos 50 m de la desembocadura ocurre descarga de agua subterránea al río ya que la cota piezométrica intercepta el cauce del río Guadalfeo. Por ello en esta zona sería lógico encontrar EPT características de ríos ganadores. Sin embargo, a la altura del piezómetro D, que se encuentra a 1700 m de la línea de costa, el nivel freático se encuentra por debajo del cauce por lo que en esta zona el acuífero no puede descargar en el río, aunque el patrón de la EPT indique una zona de descarga. De aquí se puede deducir que este mismo patrón de perfiles de temperatura se puede encontrar sin que el nivel freático intercepte el fondo del río y debido a otras circunstancias.

La causa de este tipo de EPT en el punto D la encontramos en la existencia de componentes verticales de flujo subterráneo. En

el sector próximo a la costa en el acuífero Motril-Salobreña, a causa del contacto agua dulce-agua salada aparecen componentes verticales ascendentes del flujo subterráneo (Hubbert, 1940).

Hasta ahora, solo se ha reconocido la existencia de estos flujos verticales en zonas donde existían sondeos surgentes. En las proximidades de la desembocadura del río Guadalfeo se pueden reconocer varios sondeos con carácter surgente (Fig. 3). Sin embargo, si el nivel piezométrico no rebasa la superficie topográfica no se puede reconocer la existencia de estos esquemas de flujo. Esta limitación se puede superar si se cuenta con los perfiles de temperatura ya que su envolvente mostrará una forma muy concreta. Así, los sondeos D y E se pueden considerar dominados por flujos verticales a partir de la envolvente de los perfiles de temperatura del agua subterránea. Esta es la razón por la que la recarga que se produce del río Guadalfeo al acuífero no afecta de la misma manera a la temperatura del agua subterránea en el sondeo D que en los sondeos localizados aguas arriba. Una de las principales consecuencias es que el área con existencia de flu-

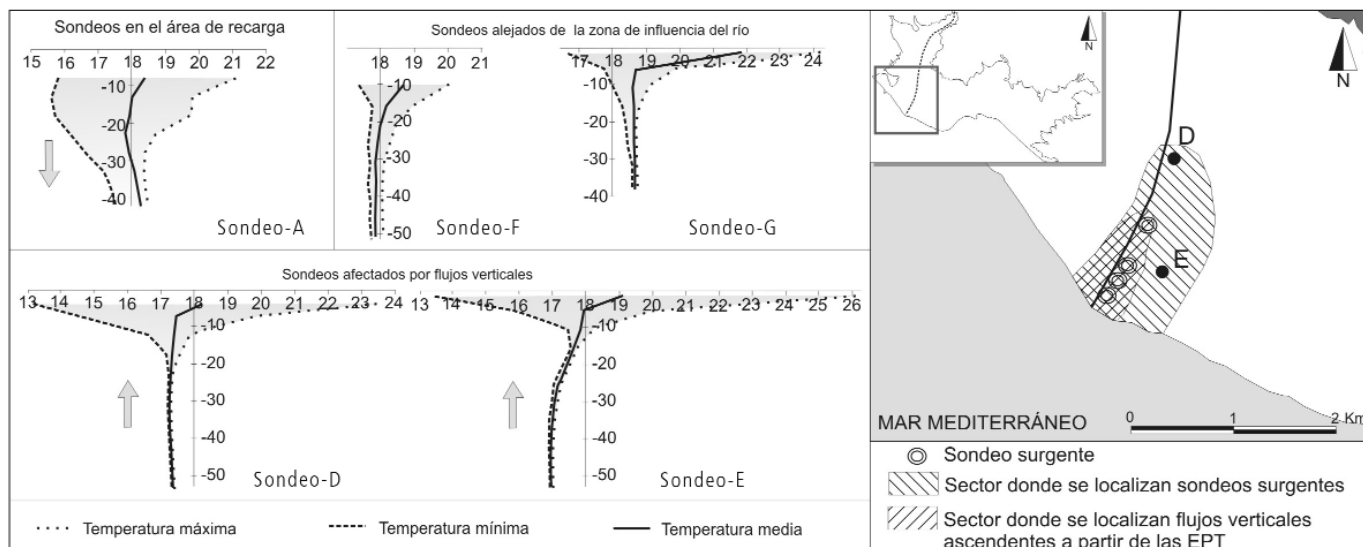


Fig. 3.- EPT en sectores de recarga, en sectores no afectados por la recarga del río y en sectores con componentes verticales del flujo subterráneo.

Fig. 3.- ETP in recharge sectors, unaffected by river influence sectors and in sector with vertical upward flux.

jos verticales puede extenderse hacia el Norte y Este de lo que se pensaba en un principio teniendo en cuenta únicamente la presencia de sondeos surgentes (Fig. 3). Dado que en zonas de descarga al mar es normal encontrar componentes verticales del flujo subterráneo, esta metodología podría aplicarse a otros acuíferos donde las componentes verticales no son tan evidentes (no existen sondeos surgentes) como ocurre en este caso.

Las envolventes de perfiles de temperatura para los sondeos A y C presentan una forma más ancha, con una mayor variabilidad de temperatura que alcanza profundidades mayores, que para los sondeos D y E. Estos sondeos se localizan en el sector norte del acuífero donde el espesor de la zona no saturada es de 10-20 metros favoreciendo una mayor infiltración desde el río Guadalfeo y produciendo una mayor afección sobre la temperatura del agua subterránea. Estas EPT pueden considerarse características de una situación de río perdedor o de recarga del acuífero.

Los sondeos F y G muestran unas envolventes correspondientes a una situación intermedia. La zona de afección por variaciones ambientales alcanza una profundidad mayor que para el caso de presencia de flujos verticales (sondeos D y E). A pesar de ello, las variaciones de temperatura no son tan elevadas como las encontradas en el sector de mayor influencia del río Guadalfeo (A y C).

### Conclusiones

La aplicación de registros de temperatura en el acuífero Motril-Salobreña se ha mostrado como una herramienta de gran utilidad y con un gran potencial para estudiar procesos hidrodinámicos como la interacción entre el río Guadalfeo y el acuífero o la presencia de componentes verticales de flujo.

Los perfiles de temperatura en los sondeos próximos al río Guadalfeo muestran afecciones directamente relacionadas con el caudal de éste. A partir del año 2005, en el que entra en funcionamiento la presa de Rulles, y hasta 2007 se observa menor variabilidad en los rangos de temperaturas medidas en el agua subterránea.

Las envolventes de perfiles de temperatura pueden ser utilizadas para detectar flujos verticales. Estas EPT presentan una morfología menos expandida y con menos variabilidad de las temperaturas a partir de cierta profundidad.

En el sector de la desembocadura del río Guadalfeo se ha ampliado el área donde pueden reconocerse componentes verticales de flujo en los sondeos hacia el Norte y el Este mediante el estudio de las envolventes de perfiles de temperatura.

### Agradecimientos

Este estudio se realizó gracias a los fondos del proyecto 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 Ayudas para Movilidad Posdoctoral del Ministerio de Educación. Los autores agradecen los comentarios de Antonio Pulido-Bosh e Irene de Bustamante que ayudaron a mejorar la calidad de este trabajo.

### Referencias

Anderson, M.P. (2005). *Groundwater*, 43, 951-968.

Calvache, M.L., Cerón, J.C., Rubio, J.C., Martín-Rosales, W., López-Chicano, M., González-Ramón, A., Ibáñez, S. y Duque, C. (2004). En: *VIII Simposio de Hidrogeología*, Zaragoza, España, 433-442.

Calvache, M.L., Duque, C., Gómez Fontalva, J.M. y Crespo, F. (2011). *International Journal of Environmental Science Technology*, 8, 223-236.

Constantz, J. (2008). *Water Resources Research*, 44, W00D10.

Duque, C. (2009). *Influencia antrópica sobre la hidrogeología del acuífero Motril-Salobreña*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 194 p.

Duque, C., Calvache, M.L. y Engesgaard, P. (2010). *Journal of Hydrology*, 381, 121-133.

Ferguson, G. y Woodbury, A.D. (2005). *Groundwater*, 43, 837-842.

Hubbert, M. T. (1940). *Journal of Geology*, 48, 785-944.

Stonstrom, D.A. y Constantz, J. (2003). *U.S. Geological Survey Circular*, 1260, 96 p.

Taniguchi, M. (1993). *Water Resources Research*, 29, 2021-2026.