

# Causas de las variaciones de la conductividad eléctrica del agua subterránea en el acuífero Motril-Salobreña, España

*Causes of groundwater electrical conductivity variations in Motril-Salobreña aquifer, Spain*

Corina Iris Rodríguez <sup>(1)</sup>, Carlos Duque <sup>(2)</sup>, María Luisa Calvache <sup>(2)</sup> y Manuel López-Chicano <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Campus Universitario, paraje Arroyo Seco s/n, C.P. 7000. Tandil, Argentina. corinairis@yahoo.com

<sup>(2)</sup> Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva s/n, C. P. 18071. Granada, España. cduque@ugr.es; calvache@ugr.es; mlopezc@ugr.es

## ABSTRACT

*This work aims to describe different hydrological processes that affect to the detrital aquifer of Motril-Salobreña through the analysis of groundwater electrical conductivity. Monthly measurements of electrical conductivity were taken for four hydrological years, between 2001 and 2008 from 20 wells located in the area. The information was analyzed in two ways: temporal and spatial variation. The results show that electrical conductivity values are lower near the river due to its recharge effect and increase to the West and especially to the Eastern zone. The values oscillate during the year with reductions during the periods with precipitation and high river flow. Moreover the electrical conductivity variations showed differences according to the zone of the aquifer. This fact demonstrates the necessity to evaluate rainfall, Guadalfeo river flow, land uses and pollution sources in the study area as main causes which generate changes in the groundwater quality.*

**Key words:** Groundwater electrical conductivity, river-aquifer relation, land uses changes.

Geogaceta, 49 (2010), 107-110  
ISSN: 2173-6545

Fecha de recepción: 15 de julio de 2010  
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2010  
Fecha de aceptación: 26 de noviembre de 2010

## Introducción

Las actividades antrópicas que se realizan sobre la superficie de los acuíferos así como los cambios en los usos del suelo o la modificación de los cauces naturales pueden causar un gran impacto sobre las aguas subterráneas, afectando su calidad y cantidad. En zonas pobladas y con un uso intensivo de los recursos naturales, es importante la evaluación de las características hidrogeológicas, para prevenir la degradación de la calidad de los recursos subterráneos.

El acuífero costero Motril-Salobreña mantiene unas condiciones óptimas tanto en la cantidad de sus recursos hídricos como en su calidad. En el año 2005 finalizó la construcción de la presa de Rules, sobre el río Guadalfeo, ubicada aguas arriba del acuífero mencionado. La entrada en funcionamiento de la presa ocasiona, desde entonces, la interrupción parcial del flujo superficial y subterráneo, generando la reducción de una de las principales recargas del sistema acuífero (Calvache *et al.*, 2006). Además de la construcción de la presa, en este sector se están produciendo modificaciones en los usos del suelo (incremento de las zonas

urbanizadas, cambio en el tipo de cultivo, etc.) que forzosamente afectarán a las condiciones hidrodinámicas e hidroquímicas del acuífero Motril-Salobreña. Uno de los parámetros que puede reflejar esta situación de cambio es la conductividad eléctrica (CE) que puede ser indicativa de diversos procesos que ocurren en el acuífero y que se utiliza para llevar a cabo una primera aproximación al escenario de cambio que acontece en este sistema subterráneo.

El objetivo de este trabajo es describir los diferentes procesos que afectan al funcionamiento hidrológico del acuífero de Motril-Salobreña a través de las alteraciones de la CE debidas a procesos como: recarga del río, precipitaciones, recarga asociada a usos del suelo (por riego) y potenciales focos de contaminación. El interés de este parámetro ha sido puesto de manifiesto en trabajos previos en la zona (Castillo y Fernández Rubio, 1976; Pulido-Bosch *et al.*, 1980; Soto, 1998).

## Área de estudio

El acuífero está ubicado al sureste de España, en la provincia de Granada, don-

de se localizan las ciudades de Motril y Salobreña (Fig. 1). Es un acuífero detrítico, formado por sedimentos transportados por el río Guadalfeo y sus afluentes. Tiene una extensión de 42 km<sup>2</sup> y limita en su borde sur con el Mar Mediterráneo. En el borde norte está en contacto con el acuífero aluvial del río Guadalfeo y con el acuífero carbonatado de Escalate. El resto de sus bordes son impermeables.

Las principales fuentes de recarga son la infiltración de agua del río Guadalfeo, proveniente del deshielo de las nieves de Sierra Nevada, y los excedentes de riego debido a las altas dotaciones de regadíos que se utilizan en la mayoría de su superficie. Dichas dotaciones varían desde 5000 m<sup>3</sup>/ha/año en invernaderos, donde se riega por goteo, hasta 16000 m<sup>3</sup>/ha/año en el riego por inundación para la caña de azúcar (Duque, 2009).

## Metodología

Se ha medido la CE del agua subterránea en una red de 20 sondeos, a lo largo de 4 años hidrológicos: 2001-02, 2003-04, 2005-06 y 2007-08. Los puntos de muestreo se distribuyen por toda la

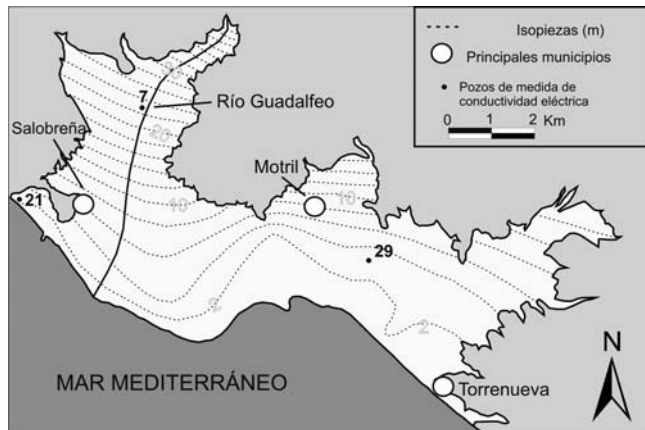


Fig. 1.- Área de estudio con pozos de medición y mapa equipotencial.

Fig. 1.- Study area with boreholes of measurement and water table map.

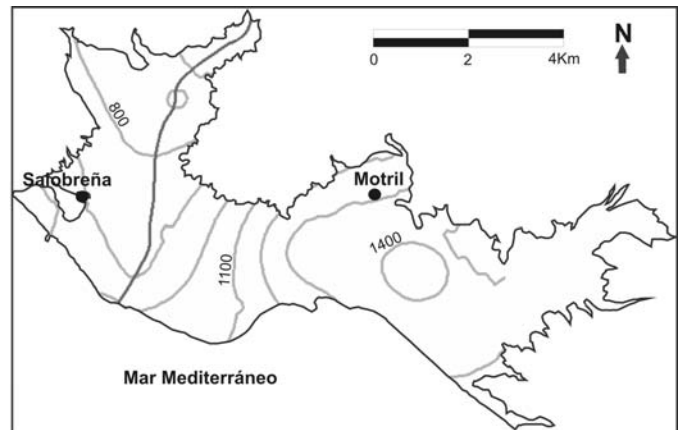


Fig. 2.- Mapa de isoconductividad, mayo de 2004.

Fig. 2.- Isoconductivity map, May 2004.

extensión del acuífero, localizados en su mayoría cercanos al río Guadalfeo.

Se ha evaluado la variación espacial de los datos, interpretando el papel desempeñado por el río Guadalfeo en el sistema hidrológico, mediante el análisis de las diferencias entre puntos más o menos próximos al río.

Se han estudiado los cambios temporales, tanto estacionales para un mismo año hidrológico, como entre los distintos períodos de medición para detectar procesos que puedan afectar a la calidad del agua subterránea.

Además, se han comparado los efectos que las precipitaciones y los caudales del río Guadalfeo podrían causar en los valores de CE en diferentes sectores del acuífero.

Los datos de precipitaciones se han obtenido a partir de una estación climática ubicada en la zona oeste del acuífero con registro horario. Los caudales han sido cedidos por la Agencia Andaluza del Agua a partir de los datos recogidos en el Azud del Vínculo, donde se pro-

duce la entrada del río Guadalfeo al acuífero.

### Resultados y discusión

El análisis espacial de la CE muestra un claro aumento de este parámetro en la dirección O-E en relación con el aumento de la distancia al río Guadalfeo. Este gradiente acusa variaciones en función de la época del año que se trate.

Considerando el año hidrológico 2003-04, por ser el momento en que el río presentó los mayores caudales, el mapa de isoconductividades para el mes de mayo de 2004 (Fig. 2) muestra la influencia de la recarga del río en la zona cercana a éste, con valores de la CE entre 800 y 900 µS/cm. A medida que se incrementa la distancia al río, los valores de CE van aumentando hasta alcanzar los 1400 µS/cm al E del área, donde el efecto de la influencia del río es inexistente si se atiende al mapa de isopiezas (Fig. 1). Se observa cómo la forma de las isolíneas de CE marca la influencia de la recarga del río Guadalfeo con una

inflexión que coincide justamente con la traza del cauce.

En cambio, la situación es distinta en noviembre del mismo año (Fig. 3). Después del final del período estival en el que las precipitaciones son prácticamente nulas y los caudales son muy bajos, se observa un incremento general de la CE en toda el área del acuífero. Los valores oscilan entre 900 a 1100 µS/cm en las cercanías del río, y se incrementan hasta 1700 µS/cm al E del mismo.

En este caso, la forma de las isolíneas, aunque presentan todavía una cierta influencia residual del río Guadalfeo, se ven muy modificadas respecto a la etapa anterior. Incluso se observan curvas que cortan la traza del río, siendo probable que durante este período otros factores controlen las variaciones de CE del agua subterránea.

Este hecho se analizó para los distintos años hidrológicos estudiados, comprobándose que es recurrente para cada estación seca y húmeda, con una tendencia más marcada de la influencia del río

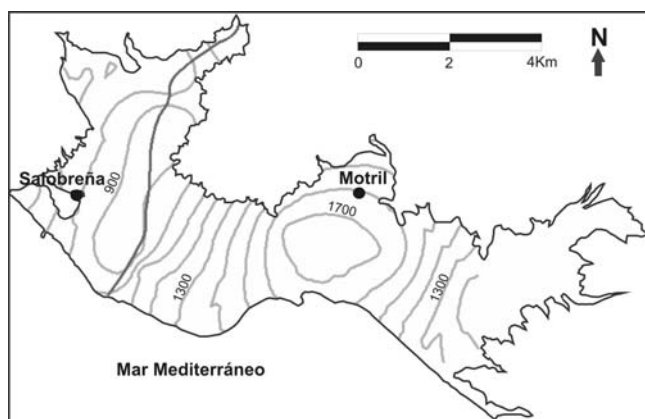


Fig. 3.- Mapa de isoconductividad, noviembre de 2004.

Fig. 3.- Isoconductivity map, November 2004.

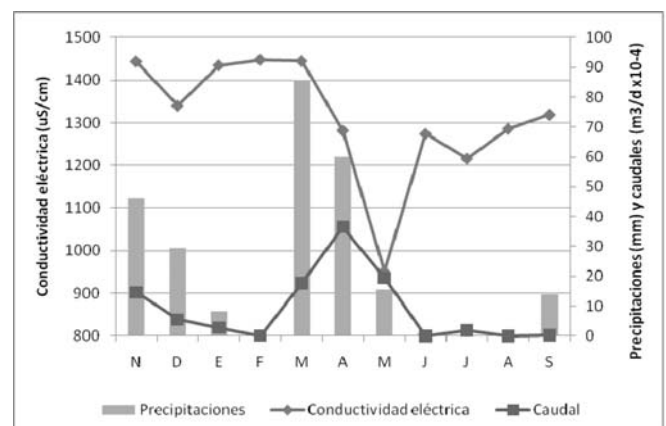


Fig. 4.- Variaciones de conductividad eléctrica. Pozo 21. 2001-2002.

Fig. 4.- Electric conductivity variations. Borehole 21. 2001-2002.

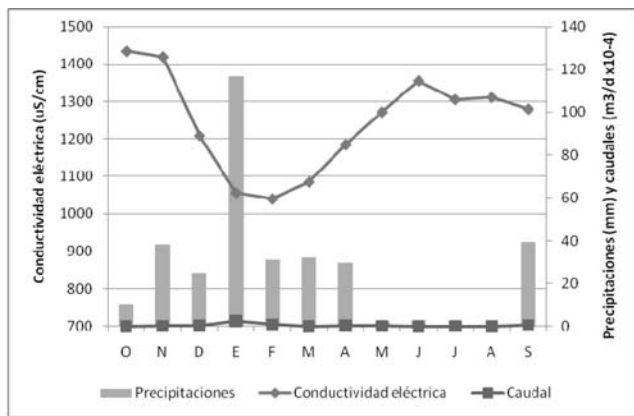


Fig. 5. Variaciones de conductividad eléctrica. Pozo 21. 2005-2006.

Fig. 5.- Electric conductivity variations. Borehole 21. 2005-2006.

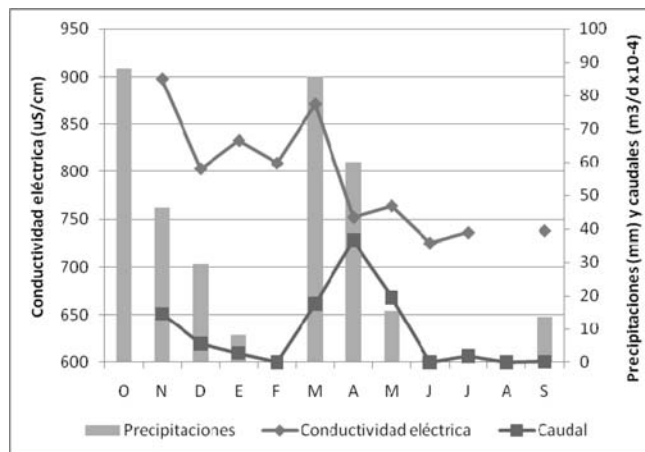


Fig. 6.- Variaciones de conductividad eléctrica. Pozo 7. 2001-2002.

Fig. 6.- Electric conductivity variations. Borehole 7. 2001-2002.

directamente relacionada con la magnitud de los caudales medidos.

No se observa una relación directa entre las direcciones del flujo subterráneo que se deducen del mapa de isopiezas y la distribución de CE del agua subterránea. Esto puede deberse a la mayor influencia de los procesos que alteran este parámetro desde la superficie, como el regadío o el efecto de la recarga del río Guadalfeo que pueden enmascarar el movimiento asociado al flujo subterráneo.

Mediante la selección de tres puntos de control situados en zonas con distinto funcionamiento hidrogeológico, se caracterizaron las principales afecciones sobre la CE del agua subterránea, descartando la intrusión marina por tratarse de un fenómeno prácticamente inexistente en las condiciones actuales del acuífero Motril-Salobreña (Duque *et al.*, 2008; Calvache *et al.*, 2009). Los puntos se encuentran distribuidos de la siguiente forma: el pozo 21 al O del río, en una zona aislada de la

dinámica general del acuífero por su localización marginal, el pozo 7 en las cercanías del río y el pozo 29, al E, en la parte baja de la zona urbana e industrial de Motril (Fig. 1).

Cabe considerar que los años 2001-02 y, especialmente, 2003-04 presentaron las precipitaciones más elevadas y los mayores caudales del río Guadalfeo. En cambio, en los últimos dos periodos (2005-06 y 2007-08), las precipitaciones fueron inferiores y los caudales muy bajos.

Para el pozo 21, se presentan los valores máximos de CE entre diciembre y abril para los años 2001-02 (Fig. 4) y 2003-04. En cambio, en dichos meses es cuando suceden los mínimos para los otros años estudiados (Fig. 5).

En el primer caso (Fig. 4), el período se inicia con alta CE y se observa cómo las mayores precipitaciones de marzo y abril generan un descenso. Posteriormente, se incrementa hacia el fin del período. Este cambio abrupto de la CE a

partir del mes de junio puede atribuirse al uso del suelo en la zona, debido a que corresponde al momento de mayor aplicación de riego. El agua para regadío proviene del río Guadalfeo, cuya CE ronda los 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , inferior a la subterránea.

Considerando una recarga total por el exceso de riego que varía entre 8 y hasta 17  $\text{hm}^3/\text{año}$  según diferentes autores (Castillo, 1975; ITGE, 1988), la aplicación de regadío puede generar el lavado de las sales del suelo e incrementar la CE del agua subterránea.

Para 2005-06, se registraron los mínimos de CE en el período con mayores precipitaciones (Fig. 5). En este punto la relación entre las precipitaciones y las disminuciones de la CE del agua subterránea es directa, acorde a una zona aislada de la dinámica general del acuífero. Sin embargo, no se reconocen las oscilaciones del año 2001-02 asociadas a las prácticas agrícolas.

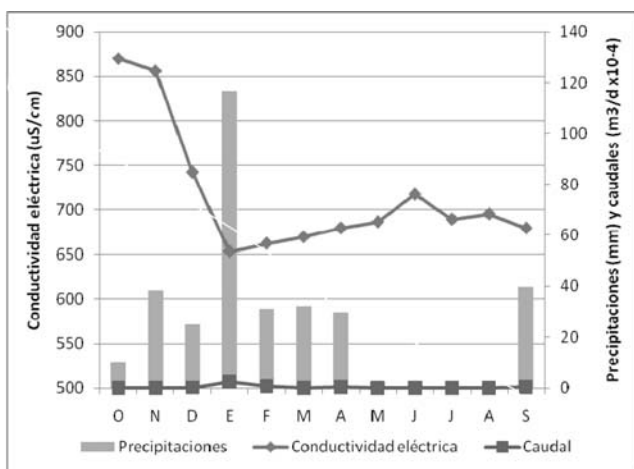


Fig. 7.- Variaciones de conductividad eléctrica. Pozo 7. 2005-2006.

Fig. 7.- Electric conductivity variations. Borehole 7. 2005-2006.

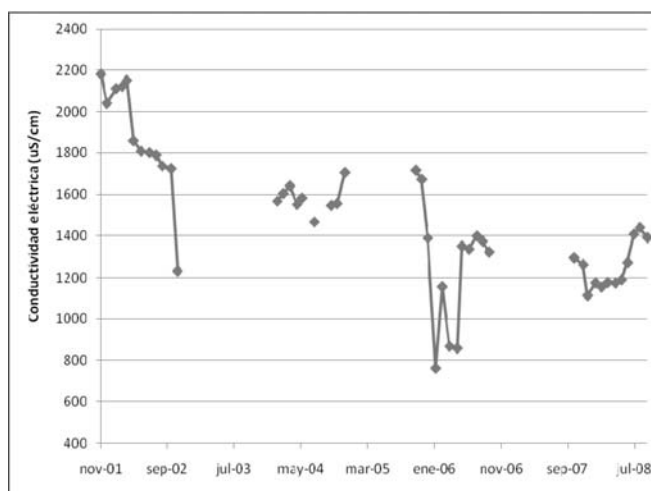


Fig. 8.- Variaciones de conductividad eléctrica desde 2001 a 2008. Pozo 29.

Fig. 8.- Variations of electric conductivity since 2001 to 2008. Borehole 29.

El punto 21 se localiza en una zona en la que desde 2005 ha ido disminuyendo el cultivo de caña de azúcar, quedando los campos de cultivo abandonados en muchas ocasiones (Duque, 2009). Esta podría ser la causa por la que no se observa el incremento marcado a partir de junio debido a los riegos estivales, como ocurre en el período 2001-02, sino que se produce el aumento previamente, durante la primavera.

En el pozo 7, ubicado a orillas del río Guadalfeo, en el NO del acuífero Motril-Salobreña (Fig. 1), se observa la influencia de la recarga del río en las variaciones de la CE. Este punto de muestreo presenta valores de conductividad entre 600 y 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

En 2001-02 (Fig. 6) los mayores valores ocurrieron en otoño e invierno, mientras el descenso comienza con las precipitaciones y caudales elevados de primavera, resultado del deshielo en Sierra Nevada.

En el mismo pozo, para el período 2005-06 (Fig. 7), se aprecia el cambio en el registro de los menores valores de CE a partir de enero, debido al incremento de las precipitaciones y a los caudales registrados en diciembre 2005 (1800  $\text{m}^3/\text{día}$ ) y en enero 2006 (25000  $\text{m}^3/\text{día}$ ) que, aunque no se aprecian claramente en la figura 7, son más elevados que los de los meses anteriores y posteriores.

A pesar de tratarse de un año con mucho menor caudal del río Guadalfeo que en los períodos anteriores (debido a la entrada en funcionamiento de la presa de Rules) se observa que las variaciones de la CE están muy correlacionadas con las oscilaciones del caudal.

Por último, se analiza el pozo 29, en el sector este del acuífero, donde los valores de CE son los más elevados, alcanzando 2200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Se observa un descenso hacia los últimos dos períodos, que se mantiene durante todo el año (Fig. 8). Además, los últimos dos años fueron períodos más secos por lo que la disminución de la CE del agua subterránea no se encuentra justificada por causas naturales.

Este punto de medición se ubica aguas abajo de la ciudad de Motril, y en las cercanías del polígono industrial de Vadillo, donde no existía control de efluentes. Además, está cerca de la Ram-

bla de los Álamos, próxima en cabecera a un antiguo vertedero, el cual, si bien no fue erradicado, dejó de recibir residuos, atenuándose la contaminación.

Hódar Pérez (2009) indicó la presencia de elevadas concentraciones de nitratos en esta zona, para el año 2001-02, que descendieron hasta ser mínimas para 2007-08. Esas concentraciones alcanzaron 170  $\text{mg}/\text{l}$  en el año 2002, 65  $\text{mg}/\text{l}$  en 2005-06, hasta ser mínimas en 2007-08 (44  $\text{mg}/\text{l}$  en octubre 2007 y 10  $\text{mg}/\text{l}$  en septiembre de 2008). La causa de esta disminución podría estar relacionada con una contaminación puntual que ha sido lavada posteriormente por el flujo natural del acuífero, acompañado de la mejora de los sistemas de control de efluentes durante los últimos años.

### Conclusiones

Las variaciones de CE del agua subterránea en el acuífero de Motril-Salobreña están condicionadas por las precipitaciones, el caudal del río Guadalfeo, los usos del suelo y sus modificaciones, la aplicación de riego y los focos de contaminación presentes.

Aunque se trata de un acuífero de reducidas dimensiones, existen grandes variaciones en las tendencias de la CE, debidas a las características heterogéneas en distintos sectores del acuífero.

En zonas alejadas de la influencia del río y donde hay cultivos tradicionales, se puso de manifiesto la mayor importancia de las precipitaciones y las técnicas de riego. Deben considerarse los cambios acontecidos con el abandono de la caña de azúcar a partir de 2005.

En la zona cercana al río, la influencia de la recarga del mismo determina las variaciones de la CE. En relación a esto, se considera que la interrupción y regulación del flujo superficial a través de la presa de Rules está modificando los períodos naturales de recarga del acuífero y, por ende, las CE detectadas.

En los sectores cercanos a los núcleos urbanos e industriales, la contaminación juega un papel determinante, pudiendo incluso existir procesos contaminantes que requieran cierto tiempo para su desaparición, dificultando el establecimiento de patrones hidrogeológicos naturales.

### Agradecimientos

Se agradece a Antonio Pulido-Bosch y a un revisor anónimo por los comentarios y sugerencias realizados.

Esta investigación fue financiada por el proyecto CGL2008-05016 del Ministerio de Ciencia e Innovación y el grupo RNM-369 de la Junta de Andalucía.

### Referencias

- Calvache, M.L., Martín-Rosales, W., López-Chicano, M., Rubio, J.C., González-Ramón, A., Duque, C. y Cerón, J.C. (2006). En: *El agua subterránea en los países mediterráneos. Guía de las excursiones*. AquainMed-06, 285 p.
- Calvache, M.L., Ibáñez, S., Duque, C., Martín Rosales, W., López-Chicano, M., Rubio-Campos, J.C., González-Ramón y Viseras, C. (2009). *Numerical Modelling of the potential effects of a dam on a coastal aquifer in S. Spain. Hydrological Processes*, 23, 1268-1281.
- Castillo, E. (1975). *Hidrogeología de la Vega de Motril-Salobreña y sus bordes*. Tesis de Máster, Univ. de Granada, 184 p.
- Castillo, E. y Fernández Rubio, R. (1976). En: *I Simposio Nacional de Hidrogeología*, Valencia, 951-964.
- Duque C., Calvache M.L., Pedrera A., Martín-Rosales W. y López-Chicano M. (2008). *Journal of Hydrology*, 349 (3-4), 536-547.
- Duque, C. (2009). *Influencia antrópica sobre la hidrogeología del acuífero Motril-Salobreña*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 194 p.
- Hódar Pérez, A. (2009). *Evaluación del contenido de nitratos en el acuífero de Motril-Salobreña*. Tesis de Máster, Univ. de Granada, 259 p.
- I.T.G.E. (1988). *Investigación hidrogeológica para apoyo a la gestión hidrológica en la cuenca del río Guadalfeo. Cuenca del Sur de España*.
- Pulido-Bosch, A., García Gómez, J. y Benavente, J. (1980). *Tecniterrae*, 33, 31-38.
- Soto, J.M. (1998). *Aportaciones al conocimiento del acuífero detrítico de Motril-Salobreña (Granada)*. Tesis de Licenciatura, Univ. de Granada, 135 p.