

EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO EN NITRATOS EN EL ACUÍFERO DE MOTRIL-SALOBREÑA DURANTE LA DÉCADA 2001-2011

Adela Hódar-Pérez ⁽¹⁾, Manuel López-Chicano ⁽¹⁾ María Luisa Calvache Quesada ⁽¹⁾, Carlos Duque ⁽²⁾, Juan Pedro Sánchez Úbeda ⁽¹⁾ y Crisanto Martín-Montañés ⁽³⁾

(1) Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva s/n. 18071, Granada (adelahodar@correo.ugr.es, mlopezch@ugr.es, calvache@ugr.es, juampesu@ugr.es).

(2) Department of Geological Sciences, University of Delaware, 255 Academy Street, 19716 Newark, Delaware, EEUU. (cduque@udel.edu).

(3) Instituto Geológico y Minero de España. Unidad de Granada. Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo. 18006, Granada. (c.martin@igme.es).

RESUMEN

En este trabajo se presenta un análisis preliminar del contenido en nitratos del acuífero detrítico de Motril-Salobreña con objeto de esclarecer si muestra altas concentraciones de este ion, así como su evolución espacial-temporal durante el periodo estudiado. Se ha trabajado con los resultados analíticos de una serie de muestreos de agua recogidos en diversos puntos de la red de control de aguas subterráneas de la que dispone la Universidad de Granada (en colaboración con el Instituto Geológico y Minero) en esta zona. Los resultados obtenidos indican que el contenido en nitratos no es uniforme en todo el acuífero, sino que cada sector presenta un comportamiento diferente en función de sus propias características hidrogeológicas y las actividades potencialmente contaminantes que se desarrollan en su superficie. El acuífero no presenta una afección generalizada de la calidad de sus aguas en relación a los nitratos, aunque sí se ha detectado cierto grado de contaminación por este ion en el sector oriental y altos contenidos en zonas puntuales. La distribución espacial ha puesto de manifiesto que el río Guadalfeo produce una atenuación natural de la concentración de nitratos en su entorno. El elevado contenido de nitratos detectado en el sector oriental probablemente tenga un origen esencialmente agrícola, ya que la agricultura es la actividad antrópica más significativa desarrollada en superficie, además la concentración de nitratos en esta zona parece estar condicionada por su menor permeabilidad y su situación más alejada del eje del río.

Palabras clave: nitratos, calidad aguas subterráneas, contaminación, acuífero detrítico.

1. INTRODUCCIÓN

En general la presencia de nitratos en aguas subterráneas en estado natural suele ser baja ya que las mineralizaciones de nitratos no suelen ser frecuentes en las formaciones geológicas, salvo en zonas concretas que constituyen excepciones. Sin embargo algunas actividades antrópicas dan lugar a un aporte adicional de éste ion que se acumula en el suelo y es susceptible de ser lixiviado hasta alcanzar las aguas subterráneas. La contaminación por nitratos se asocia principalmente a actividades agrícolas, aunque también son fuentes potenciales de contaminación las actividades ganaderas, industriales y urbanas. La contaminación asociada a la agricultura es de tipo difuso por lo que su control resulta complicado y su reducción es uno de los principales retos ambientales (Fernández-Ruiz, et al., 1998, Arauzo et al., 2011). El uso excesivo de pesticidas y fertilizantes en la agricultura ha generado una disminución de la calidad de las aguas en muchas regiones de la UE y del mundo, lo que constituye un peligro para la salud y el medio ambiente (Barroso et al., 2015). La contaminación por nitratos de las aguas subterráneas se ha convertido en una preocupación mundial y en torno a este tema se han desarrollado multitud de estudios (Liu, et al., 2005; Peña-Haro. et al., 2009; Stigter Roura et al., 2011 ; Sacchi et al. 2013; Cerro et al., 2014; Rahmati, et al, 2015) que en general parecen demostrar que la mejor opción es conocer el estado del acuífero, el origen de los nitratos y prevenir la contaminación mediante el control del uso del suelo y de las fuentes potenciales de contaminación, en definitiva con una adecuada gestión del territorio.

El acuífero detrítico Motril-Salobreña (Figura 1) es el acuífero detrítico costero más importante de la provincia de Granada, tanto por su extensión como por sus recursos hídricos (Calvache., 2002). Muchos de los acuíferos costeros de la Cuenca mediterránea andaluza, en la que se sitúa el acuífero objeto de estudio, presentan aguas de calidad deficiente por contener nitratos, como es el caso del Bajo Andarax, Campo de Dalías y Delta de Adra, en Almería; Río Verde, Carchuna y Castell de Ferro en Granada y Vélez en Málaga (ITGE, 1999). Este hecho pone de manifiesto la vulnerabilidad de los acuíferos de la zona ante la contaminación por nitratos y la necesidad de conocer la situación en el acuífero que nos ocupa debido a la presencia de focos potenciales de contaminación localizados en su superficie. Así podemos encontrar zonas agrícolas, varias zonas industriales, dos importantes núcleos urbanos (Motril y Salobreña) y otros de menor entidad. Además, la construcción en 2005 de la presa de Rules en el río Guadalfeo ha producido una reducción del caudal del agua del río circulante sobre el acuífero, la cual supone la principal fuente de recarga del acuífero (Ibáñez, 2005).

Los objetivos de este trabajo son hacer un análisis preliminar del contenido en nitratos del acuífero detrítico de Motril-Salobreña y esclarecer si muestra altas concentraciones de este ion, así como analizar su evolución

espacial-temporal durante el periodo estudiado y su relación con los posibles focos de contaminación existentes en la zona. Esta primera aproximación al estudio de los nitratos en el acuífero permitirá conocer la situación en la que se encuentra y establecer medidas de control o actuaciones posteriores, si fuera necesario.

2. MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

El acuífero Motril-Salobreña está constituido por depósitos postorogénicos de edad cuaternaria que se disponen discordantes sobre materiales alpujárrides (Avidad y García-Dueñas, 1981). Concretamente, el acuífero está formado por depósitos aluviales y piedemontes conglomeráticos, ambos de edad cuaternaria, y se encuentra limitado en su base y perímetro por materiales metapelíticos alpujárrides que, a efectos prácticos, se consideran impermeables, a excepción de la zona noroeste donde limita con los materiales carbonatados permeables del acuífero Escalate-Espartinas, de los cuales recibe alimentación subterránea, y un afloramiento de mármoles muy karstificados, sobre el que se sitúa el núcleo urbano de Salobreña, conectados hidrogeológicamente con el acuífero aluvial (ITGE, 1990). El borde meridional del acuífero Motril-Salobreña lo ocupa el mar Mediterráneo que constituye un límite permeable (Figura 1).

En el acuífero se han llevado a cabo campañas geofísicas que han proporcionado información sobre el espesor de los sedimentos aluviales y sobre su morfología basal (Pulido-Bosch y Cañada, 1983; Duque et al., 2008). Según estos estudios el acuífero presenta una morfología basal en rampa con escasa pendiente y poco espesor de sedimentos en las zonas más septentrionales y cercanas a los bordes que va aumentando hacia la costa. Los mayores espesores se detectan en la traza actual del río Guadalfeo y en su antigua desembocadura, llegándose a superar los 200 m de espesor (Calvache et al., 2004). El acuífero está constituido principalmente por niveles alternantes de gravas, arenas, limos y arcillas en distinta proporción en función del sector considerado. En general se puede decir que hay una elevada proporción de sedimentos de tamaño de grano grosero en las proximidades del cauce actual del río Guadalfeo y algo más al este del mismo donde se encuentran los paleocanales del sistema aluvial deltaico existente antes de que el río se encauzara de forma artificial (Calvache et al., 2004). En las zonas más alejadas del delta, en la parte oriental de acuífero, se depositan los sedimentos más finos que eran arrastrados por inundaciones ocasionales (Duque et al., 2005)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se han estudiado un total de 26 puntos pertenecientes a la red de puntos de control hidroquímico del acuífero de Motril-Salobreña

(Figura 1). Los muestreos se han realizado en cuatro campañas de campo llevadas a cabo por la Universidad de Granada en colaboración con el Instituto Geológico y Minero. La primera campaña abarcó de noviembre de 2001 a octubre de 2002, la segunda de octubre de 2005 a septiembre de 2006, la tercera de octubre de 2007 a septiembre de 2008 y la cuarta campaña de septiembre de 2010 a septiembre de 2011. Como puede apreciarse coinciden, aproximadamente, con cuatro años hidrológicos. Durante las campañas los muestreos se han llevado a cabo con periodicidad mensual, si bien existen lagunas debidas a problemas de distinta índole, como problemas técnicos, medioambientales o humanos. En total se han analizado 783 muestras de agua. La técnica de análisis utilizada ha sido la cromatografía iónica, con un límite de detección para los nitratos 0.05 ppm. El grueso de datos utilizados en este trabajo ha sido extraído de una base de datos facilitada por los investigadores del proyecto de investigación en el que se inscribe este trabajo. Una vez recopilados y ordenados los datos disponibles se llevó a cabo un análisis de los mismos que consistió en la representación de diagramas de líneas, usando la hoja de cálculo Excel, y diagramas de cajas y bigotes, mediante el programa Stratgraphics, con el fin de localizar posibles datos anómalos y desecharlos.

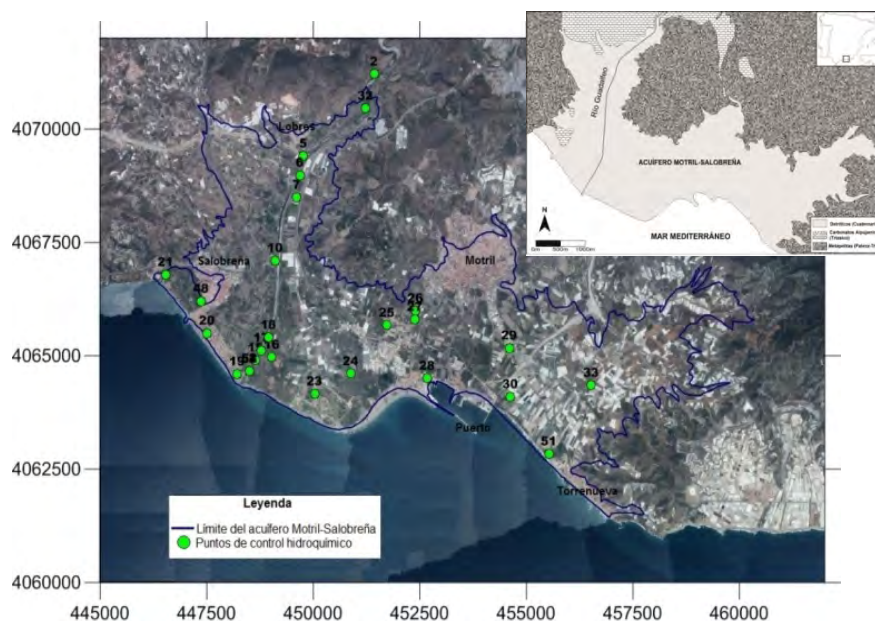


Figura 1.- Esquema geológico del Acuífero de Motril-Salobreña (esquina superior derecha), límites del acuífero y localización de puntos de control

Para determinar el grado de contaminación del acuífero se han establecido tres intervalos de contenido en nitratos que representaran distintos grados de calidad del agua. Los intervalos se han establecido

teniendo en cuenta que el contenido máximo de nitratos permitido para el consumo humano es 50 mg/L, según establece la Directiva 98/83/CE. Así pues, en este estudio se considerarán como contaminadas las aguas que presenten concentraciones en nitratos de 50 mg/L o mayores, entre 50 y 25 mg/L se estima que presentan una calidad deficiente y las concentraciones de 25 mg/L o menores se consideran como buena calidad. Según este criterio se han analizado los datos disponibles y se han expresado los resultados en términos porcentuales.

Además, se ha llevado a cabo el estudio de la distribución espacial de los nitratos. Para ello se ha calculado la concentración media de nitratos por campaña en cada punto y con estos valores se han representado cuatro mapas de isolíneas (Figura 3), de este modo podremos comprobar si se han producido cambios significativo a la largo del tiempo y observar la evolución temporal desde la primera hasta la última campaña estudiada. Los mapas de se han realizado con el programa informático Surfer.

4. RESULTADOS

Los datos analizados indican que gran parte de las aguas subterráneas del acuífero presenta una buena calidad respecto al contenido de nitratos. Concretamente, 73% de los puntos controlados presentan una buena calidad, un 15% una calidad deficiente y un 12% de los puntos de control muestran niveles importantes de contaminación (Tabla 1, Figura 2B).

Total de Puntos Muestreados		%Puntos contaminados (la mayoría de sus muestras presentan concentraciones NO ₃ >50 mg/L)		%Puntos con calidad deficiente (la mayoría de sus muestras presentan concentraciones 50<NO ₃ >25 mg/L)		%Puntos con buena calidad (la mayoría de sus muestras presentan concentraciones NO ₃ <25 mg/L)	
Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
26	100	3	12	4	15	19	73

Tabla 1.- Porcentaje de puntos en cada intervalo de calidad del agua subterránea.

Si observamos la figura 2A en la que se representan las muestras analizadas en cada punto, según el intervalo de calidad, podemos ver que las muestras contaminadas corresponden fundamentalmente a tres puntos, se trata de los puntos 29, 30 y 33 situados en el sector oriental del acuífero (Figura 1). En dichos puntos la mayoría de las muestras analizadas tienen concentraciones superiores a 50 mg/L. Los puntos en los que se ha detectado una calidad deficiente, es decir aquellos en los que la mayoría de las muestras recogidas muestran un contenido en nitratos entre 25 y 50 mg/L, son los puntos 5, 23, 48 y 51 (Figura 2A).

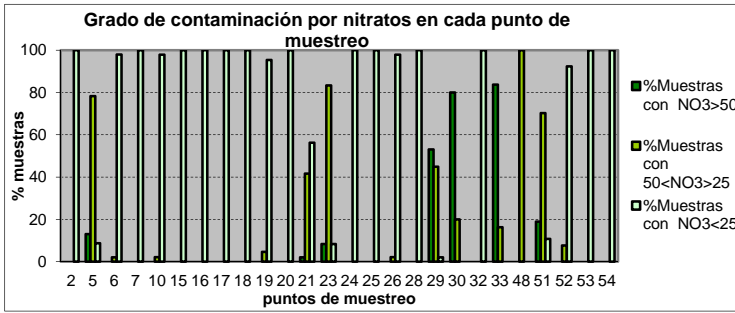


Figura 2.- Grado de contaminación por nitratos en cada punto y porcentaje de puntos contaminados.

Por otra parte, según la distribución espacial del contenido en nitratos obtenida podríamos decir que, a grandes rasgos, el acuífero se divide en tres sectores: sector occidental, central y oriental. Llamaremos sector occidental a la zona localizada al oeste del eje del río Guadalfeo (Figura 1). Este sector se encuentra en una situación intermedia respecto a la contaminación por nitratos ya que presenta concentraciones que no llegan a superar los 50 mg/L (Figura 3). Se considerará como sector central la zona comprendida, aproximadamente, entre el río y el eje imaginario que une Motril y el puerto (Figura 1). El sector central es el que mejor estado presenta, con bajos contenidos en nitratos y por tanto una buena calidad de sus aguas subterráneas (Figura 3). Por último el sector oriental, situado al este del eje imaginario antes señalado, muestra signos de contaminación, con los niveles de contenidos en nitratos por encima de 50 mg/L. Además se ha podido comprobar que este patrón se mantiene a lo largo del tiempo, durante las cuatro campañas realizadas (Figura 3).

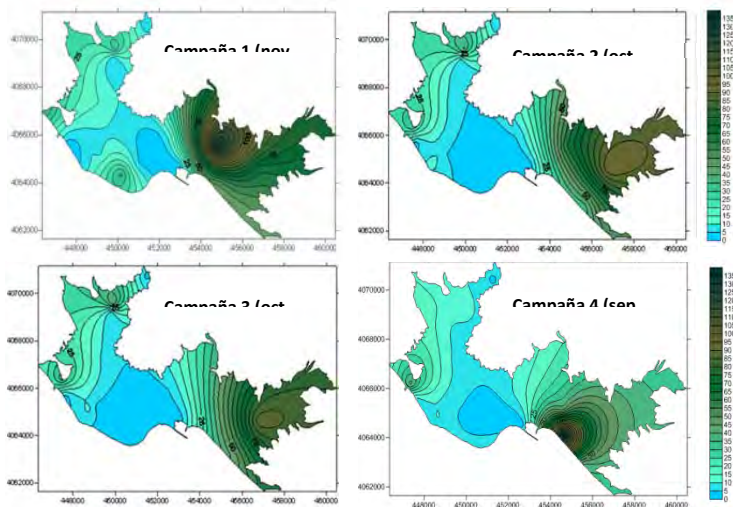


Figura 3.- Evolución espacial-temporal del contenido en nitratos (mg/L) del acuífero Motril-Salobreña

5. DISCUSIÓN

Según los intervalos de calidad establecidos, los resultados obtenidos para los puntos 29, 30 y 33 revelan problemas de contaminación importantes. En estos puntos, la mayoría de las muestras mensuales superan el límite de nitratos permitido para el consumo humano (50 mg/L), el caso más claro es el del punto 33 en el cual el 84 % de las muestras supera dicho límite (Figura 2A). El punto 30 está en una situación similar al anterior con un 80% de las muestras por encima de 50 mg/L. El punto 29 presenta algo más de la mitad de sus muestras contaminadas y el resto de muestras con calidad deficiente (Figura 2A). Todos estos puntos se sitúan en el sector oriental del acuífero, en el cual se localiza la principal actividad agrícola de la zona y un pequeño polígono industrial, el polígono del Vadillo (Figura 1). La actividad industrial en la zona de estudio es relativamente reciente, no ha habido un desarrollo industrial propiamente dicho sino que se trata de pequeños micropolígonos, no especializados, con importantes carencias dotacionales arrastradas desde un origen no planificado (Madrona y Alcalde, 2005). Actualmente existe más bien una actividad industrial-comercial con numerosos almacenes y centros de venta al por mayor. Además cabe señalar que en el Polígono del Vadillo no existió control de los efluentes líquidos generados por las actividades desarrolladas hasta 2009. Por otra parte la actividad agrícola se está abandonando en la parte central del acuífero, donde se encuentran numerosas parcelas baldías. La mayor actividad se localiza en el sector occidental y en el sector oriental del acuífero, en este último se concentran la mayoría de los cultivos bajo plástico, tal y como se puede observar si nos fijamos en la foto aérea de la zona (Figura 1).

El punto 29 es un pozo situado en un taller del mencionado polígono del Vadillo (Figura 1) y el estudio de su evolución espacial-temporal ha puesto de manifiesto que la concentración en nitratos en este punto va disminuyendo a lo largo del periodo estudiado, pasando de estar por encima de 50mg/L en la primera campaña a estar en el rango de 25-50 mg/L en la última (Figura 3). El origen de las altas concentraciones en este punto podría deberse a la actividad industrial y a la falta de control de los efluentes durante las tres primeras campañas de muestreo, pues, en la última campaña, tras la mejora de la red de saneamiento del polígono las concentraciones disminuyen relativamente. Sin embargo en los puntos de control 30 y 33 situados más al este, en la zona agrícola, las concentraciones en nitratos se siguen manteniendo altas en la última campaña. Teniendo en cuenta que en el polígono industrial del Vadillo no se desarrolla una actividad industrial importante, se ha considerado que la principal causa de las altas concentraciones en nitratos detectadas en el sector oriental parece estar relacionada fundamentalmente con la actividad agrícola y con una disminución de la conductividad hidráulica y de la recarga en este sector.

Los puntos 5, 23, 48 y 51 presentan una calidad deficiente de sus aguas, aunque no alcanzan concentraciones tan altas como para considerarse contaminadas por nitratos. En el abastecimiento de Lobres (punto 5, Figura 1) la mayoría de las muestras, tiene concentraciones cuyo valor oscila entre 25 y 50 mg/L (Figura 2A). Este es un hecho notable ya que se trata de un sondeo de abastecimiento y sus aguas muestran una calidad deficiente. La presencia de nitratos en este punto podría estar relacionada con pérdidas en la red de saneamiento del cercano núcleo de Lobres. El punto 23 corresponde a un pozo privado que quedó cegado y solo se disponen de muestras correspondientes a la primera campaña por lo que no lo consideraremos significativo en nuestro análisis. El manantial del Gambullón (punto 48, Figura 1) en Salobreña presenta concentraciones en nitratos de 25-50 mg/L en todas sus muestras (Figura 2A), es decir tiene una calidad deficiente durante todo el periodo estudiado. Aunque la contaminación en este punto no sobrepasa el límite superior establecido, no deja de ser preocupante ya que parece haber un aporte continuo de contaminante que podría deberse a pérdidas en la red de saneamiento del casco antiguo del núcleo urbano de Salobreña. El punto 51 es un pozo de uso agrícola, no activo en la actualidad, situado cerca de la costa en el sector oriental del acuífero en el que, como hemos comentado con anterioridad, se desarrolla con mayor intensidad el cultivo bajo plástico (Figura 1), por lo que se cree que los contenidos en nitratos detectados en este punto y su deficiente calidad se deben a la actividad agrícola. El resto de puntos estudiados tiene aguas con calidad de media a buena y muchos de ellos registran concentraciones inferiores a 25 mg/L en el 100 % de sus muestras (Figura 2A).

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, el acuífero podría dividirse en tres sectores según la distribución espacial de nitratos obtenida: sector occidental, central y oriental. El sector central coincide con el antiguo delta del río y en esta zona se detectan los mayores espesores de material acuífero y se localizan las litologías de grano más grueso, presentando una mayor transmisividad. Debido a esto y a la recarga procedente del río resulta lógico pensar que en esta zona se produce una mayor renovación de las aguas subterráneas y en consecuencia presenta contenidos en nitratos más bajos. Por su parte el sector occidental presenta concentraciones intermedias (entre 25-50 mg/L). En este sector se encuentran en superficie principalmente cultivos leñosos tropicales y otros cultivos a cielo abierto. También se localizan dos núcleos de población, Lobres y Salobreña, que parecen ser los responsables de los aportes de nitratos detectados, ya que precisamente los puntos de control cercanos a estas localidades (puntos 5 y 48) han presentado la calidad más deficiente del sector occidental. Por último, el sector oriental es la zona más alejada de la influencia del río y por tanto con menor recarga y menor renovación de sus aguas. Además, en este sector acuífero son más frecuentes las litologías de grano más fino, lo que da lugar a una menor permeabilidad, menor velocidad de flujo, menor renovación y mayor acumulación de sustancias disueltas en las aguas

subterráneas. Las características geológicas de esta zona junto con una mayor presencia de invernaderos y vertederos incontrolados relacionados con la actividad agrícola desarrollada en superficie parecen ser la causa de que en este sector del acuífero se hayan detectado las concentraciones en nitratos más altas. Se puede considerar que el sector oriental del acuífero presenta signos preocupantes de contaminación por nitratos.

6. CONCLUSIONES

En la actualidad, la afección a la calidad de las aguas subterráneas por concentraciones elevadas de nitratos no está generalizada en todo el acuífero, si bien el 12% del total de puntos muestreados presenta un grado de contaminación importante, con concentraciones que superan el límite permitido para el consumo humano (50 mg/L).

El estudio de distribución espacial del contenido en nitratos muestra que la contaminación se localiza principalmente en el sector oriental del acuífero donde las altas concentraciones detectadas parecen estar relacionados sobre todo con la actividad agrícola. En el sector occidental también se distinguen dos zonas con calidad deficiente, localizadas en el entorno de las poblaciones de Lobres y Salobreña, en las que la presencia de nitratos podría deberse a pérdidas de la red de saneamiento asociadas a estos núcleos de población. Por lo demás, las aguas subterráneas de la zona central del acuífero gozan en general de una calidad buena. Estos resultados han puesto de manifiesto la capacidad de atenuación natural de la contaminación por nitratos en esta zona debido a la mayor renovación del agua, como consecuencia de sus características hidrogeológicas y de la influencia del río Guadalfeo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la unidad de Granada del IGME su colaboración y participación activa en esta investigación. El estudio fue realizado en el marco del proyecto de investigación "Dinámica del contacto agua dulce-agua salada en el acuífero costero Motril-Salobreña (Granada)" (CGL2012-32892), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Se agradecen así mismo los comentarios de los revisores que ayudaron a mejorar este trabajo.

REFERENCIAS

Arauzo, M.; Valladolid, M. y Martínez-Bastida, J. J. (2011): Spatio-temporal dynamics of nitrogen in river-alluvial aquifer systems affected by diffuse

- pollution from agricultural sources: Implications for the implementation of the Nitrates Directive. *Journal of Hydrology*, Vol. 411: 155–168.
- Avidad, J. y García-Dueñas, V. (1981): Hoja 1.055, Motril. Mapa geológico de España. Escala 1:50.000. IGME, Madrid, map. pleg.de 69 x 100 cm+memoria 36 p.
- Barroso, M. F., Ramalhosa, M. J., Olhero, A., Antão, M. C., Pina, M. F., Guimarães, L. and Chaminé, H. I. (2015): Assessment of groundwater contamination in an agricultural peri-urban area (NW Portugal): an integrated approach. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 73(6) 2881-2894.
- Calvache, M. L. (2002): Acuíferos detríticos de la costa de Granada. En: Rubio, J. C. y López-Geta (Coord.). Libro Homenaje a Manuel del Valle Cardenete: aportación al conocimiento de los acuíferos andaluces. Instituto Geológico y Minero de España, Confederación hidrográfica del Guadalquivir, Instituto del agua de Andalucía y Diputación Provincial de Granada, Madrid, 425-444.
- Calvache, M. L.; Cerón, J. C.; Rubio, J. C.; Martín-Rosales, W.; López-Chicano, M.; González-Ramón, A.; Ibáñez, S. y Duque, C. (2004): Caracterización de las relaciones río-acuífero en el sistema Motril-Salobreña (Granada). En Fernández Uría, A. (Ed.) VIII Simposio de Hidrogeología. IGME, Zaragoza (España), 433-442.
- Cerro, I.; Antigüedad, I.; Srinivasan, R.; Sauvage, S.; Volk, M. and Sánchez-Pérez, J.M.(2014): Simulating Land Management Options to Reduce Nitrate Pollution in an Agricultural Watershed Dominated by an Alluvial Aquifer. *Journal of Environmental Quality*, Special Session 43:67-74.
- Duque, C.; Calvache, M. L.; Rubio, J. C.; Martín-Rosales, W.; López-Chicano, M.; González-Ramón, A.; Cerón, F. C. e Ibáñez, S. (2005): Influencia de las litologías en los procesos de recarga del río Guadalfeo al acuífero de Motril-Salobreña. En López-Geta, J. A.; Rubio, J. C. y Martín Machuca, M. (Eds.), VI Simposio del agua en Andalucía. IGME, Sevilla (España), 343-353.
- Duque C., M. L. Calvache, A. Pedrera, W. Martín-Rosales and M. López-Chicano (2008). Combined time domain electromagnetic soundings and gravimetry to determine marine intrusion in a detrital coastal aquifer (Southern Spain), *J. Hydrol.* 349 (3-4), 536-547.
- Fernández-Ruiz; L., López Geta, J. A. y Navarrete Martínez, P. (1998): Mapa de contenido en nitratos de las aguas subterráneas en España. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 50 p.
- Ibáñez, S. (2005): Comparación de la aplicación de distintos modelos matemáticos sobre acuíferos costeros detríticos. Tesis Doctoral Univ. de Granada, 304 p.
- I.T.G.E. (1990): Atlas hidrogeológico de la provincia de Granada. Diputación de Granada, Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 107 p.

- I.T.G.E. (1999): Calidad química y contaminación de las aguas subterráneas en España. Periodo 1982-1993. Cuenca del Sur. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 183 p.
- Liu, G. D.; Wu, W. L. and Zhang, J. (2005): Regional differentiation of non-point source pollution of agriculture-derived nitrate nitrogen in groundwater in northern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 107: 211-220.
- Madrona M. T. y Alcalde F. (2005): De Estocolmo a Motril: un camino de participación hacia nuestro futuro común. Ayto. de Motril, Área de Medio Ambiente, Motril, 156 p.
- Peña-Haro, S.; Pulido-Velazquez, M.; Sahuquillo, A. (2009): A hydro-economic modelling framework for optimal management of groundwater nitrate pollution from agriculture. *Journal of Hydrology*, Vol. 373:193-203.
- Pulido-Bosch, A. y Cañada, P. (1983): Estudio de acuíferos costeros mediante prospección geofísica eléctrica. Aplicación los Llanos de Carchuna. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*. IX, 363-374.
- Rahmati, O., Samani, A.N., Mahmoodi, N. and Mahdavi, M. (2015): Assessment of the Contribution of N-Fertilizers to Nitrate Pollution of Groundwater in Western Iran (Case Study: Ghorveh-Dehgolan Aquifer). *Water Quality, Exposure and Health*, Vol. 7 (2): 143-151.
- Sacchi, E., Acutis, M., Bartoli, M., Brenna, S., Delconte, C.A., Laini, A. and Pennisi, M. (2013): Origin and fate of nitrates in groundwater from the central Po plain: Insights from isotopic investigations. *Applied Geochemistry*, Vol. 34: 164-180.
- Stigter T. Y.; Carvalho Dill, A. M. M.; Ribeiro, L. (2011): Major Issues Regarding the Efficiency of Monitoring Programs for Nitrate Contaminated Groundwater. *Environ. Sci. Technol.*, 45 (20): 8674-8682.