

RESPUESTA HIDRODINÁMICA E HIDROQUÍMICA DEL ACUÍFERO DE LA VEGA DE GRANADA EN EL ENTORNO DE UNA CHOPERA REGADA CON AGUAS RESIDUALES URBANAS DEPURADAS

Virginia María Robles-Arenas⁽¹⁾, Diego Rojas⁽²⁾, Iacopo Benedetti⁽³⁾, Luís Sánchez-Díaz⁽¹⁾, Antonio Molina-Díaz⁽⁴⁾, José Robles⁽⁴⁾, Juan Francisco García-Reyes⁽⁴⁾, Antonio Castillo⁽⁵⁾, José Benavente⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto del Agua de la Universidad de Granada y Grupo RNM-126 del PAIDI. c/ Ramón y Cajal, 4. 18071 Granada (roblesarenas@ugr.es; lsanchezdiaz@ugr.es; jbenaven@ugr.es)

⁽²⁾ Departamento de Geología. Escuela Politécnica Superior de Linares. C/Alfonso X, 28. 23700 Linares. Universidad de Jaén (drojas@ujaen.es)

⁽³⁾ ASAJA-Granada. C/Sevilla, 5. 18003 Granada (iacopobenedetti-granada@asaja.com.es)

⁽⁴⁾ Departamento de Química Física y Analítica. Campus de Las Lagunillas. Edificio B-3. 23071 Jaén. Universidad de Jaén (amolina@ujaen.es; jrobles@ujaen.es; jfgreyes@ujaen.es)

⁽⁵⁾ CSIC-Instituto del Agua de la Universidad de Granada y Grupo RNM-126 del PAIDI. c/ Ramón y Cajal, 4. 18071 Granada (acastill@ugr.es)

RESUMEN

En el presente trabajo se sintetizan las prácticas llevadas a cabo y los resultados alcanzados dentro del Proyecto CONSOLIDER-TRAGUA para una parcela experimental de la Vega de Granada. Los trabajos se centraron en la caracterización y el análisis de la evolución de los parámetros físicos, químicos e hidrodinámicos de las zonas no saturada y saturada (a 8 m de profundidad), tras la aplicación de riegos. La parcela, de 3 ha de extensión, estaba plantada de chopos (*Populus sp.*) con un marco de plantación 4x4 m, regada por inundación con aguas residuales urbanas tratadas. El trabajo de campo se llevó a cabo entre enero y diciembre de 2011, periodo en el que se mantuvo registro continuo del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica (CE) del agua subterránea, al tiempo que se analizaron periódicamente las aguas de riego y subterráneas. Los datos procedentes del registro continuo muestran la rápida respuesta piezométrica tras los riegos, detectándose ascensos puntuales de 0,5 m. La CE disminuyó en 0,2 mS/cm, si bien transcurridos tres meses sin riego recuperó los valores iniciales. También se ha constatado el efecto del agua de riego sobre la temperatura del agua subterránea (variación de 0,5°). Respecto al contenido microbiológico cabe indicar que todas las muestras presentan coliformes totales, bacterias aerobias y estreptococos y coliformes fecales, tan solo las muestras tomadas previamente al comienzo de los riegos no registraban estreptococos y coliformes fecales. De las 405 sustancias analizadas, entre

prioritarias y emergentes, se ha detectado la presencia de 34 de ellas en el agua subterránea.

Palabras clave: acuífero Vega de Granada, aguas tratadas, riego, compuestos emergentes y prioritarios.

1. INTRODUCCIÓN

La comarca conocida como Vega de Granada se localiza en la parte central de la provincia de Granada (Figura 1). Es un área explotada agrícolamente desde antiguo, tanto por sus bondades climáticas, como por la calidad de sus suelos y de sus recursos hídricos, lo que ha favorecido el asentamiento humano en el entorno a lo largo de la historia y el desarrollo de las prácticas de regadío. A este respecto, existen evidencias de la utilización de aguas residuales urbanas para riego desde el siglo XIV (Ramos-Cormenzana *et al.*, 1994).

En la Vega de Granada se mantienen, para algunos cultivos, sistemas de regadío tradicional que implican la utilización de aguas residuales urbanas tratadas y sin tratar, las cuales se incorporan directa o indirectamente a las principales acequias de riego. Durante las últimas décadas los recursos para riego han dejado de proceder principalmente de los cursos superficiales para incluir en mayor o menor grado las aguas subterráneas y las aguas residuales tratadas. Estos cambios, junto con el desarrollo de la agricultura intensiva, entre otras actividades antrópicas, influyen tanto en la calidad como en la cantidad de los recursos hídricos subterráneos.

El acuífero subyacente es uno de los más importantes de Andalucía en cuanto a sus recursos renovables, del orden de 130 a 250 hm³/a según distintas estimaciones (IGME-GEOMECAICA (1983); Castillo (1986, 1994); ITGE (1989); Adarve y Castillo (1999)), y a su valor estratégico, ya que constituye el abastecimiento a la población de Granada y parte de su área metropolitana cuando los recursos superficiales escasean, a la vez que aporta caudal al río Genil, lo que representa un valor ecológico añadido.

Estos cambios en la naturaleza del agua de riego aplicada implican la necesidad de estudios y del seguimiento del impacto ocasionado sobre el acuífero y la zona no saturada, así como la valoración de la capacidad remediadora del medio. El proyecto CONSOLIDER “Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales para una Gestión Sostenible (TRAGUA)”, en el marco del cual se han llevado a cabo las actividades y resultados que se muestran en este trabajo, aborda de una manera integrada la reutilización de aguas residuales urbanas depuradas. Una de las líneas de investigación está centrada en la caracterización y evolución de parámetros físicos, químicos e hidrodinámicos, tanto de la zona no saturada como del acuífero en sentido estricto, en el ámbito de la reutilización agraria de aguas depuradas de origen municipal (www.consolider-tragua.com).

En el presente trabajo se incide en la evaluación de la presencia y contenido de sustancias prioritarias (2008/105/EC), junto con otros productos derivados de pesticidas y contaminantes emergentes, tanto en muestras de agua de riego (procedente de EDAR) como de aguas subterráneas.

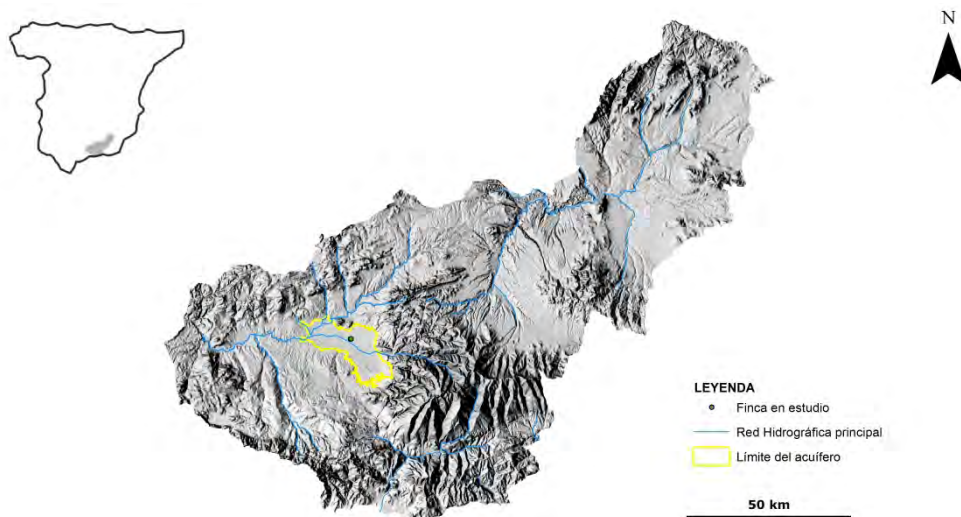


Figura 1. Localización del acuífero de la Vega de Granada y de la parcela en estudio.

2. EL ACUÍFERO DE LA VEGA DE GRANADA

El acuífero de la Vega de Granada (Figura 1), como se ha comentado en párrafos anteriores, es uno de los más importantes de Andalucía, atendiendo a la superficie que ocupa (unos 200 km²) y a la cuantía de sus recursos renovables. Se enclava en la depresión intramontañosa de la Depresión de Granada, dentro del ámbito geológico de las Cordilleras Béticas. El material acuífero es de origen detrítico-aluvial (gravas, arenas, limos y arcillas, con importantes cambios de facies en la horizontal y en la vertical), con espesores superiores a los 250 m en el sector central (Castillo, 1986). Los límites laterales están constituidos, mayoritariamente, por materiales neógeno-cuaternarios, mientras que el sustrato lo constituyen materiales neógenos, posiblemente miocenos, todos ellos de baja permeabilidad.

En lo referente a la hidrodinámica del acuífero, en la figura 2 se muestra un mapa piezométrico, elaborado con datos de abril y mayo de 2011. La dirección de flujo es Este-Oeste, con la presencia de un conoide de depresión bajo la vertical de la confluencia de los ríos Beiro y Dílar con el Genil. Esta depresión fue detectada por primera vez en la década de 1980. El gradiente hidráulico es, en general, muy bajo, excepto en el sector Nororiental y en los bordes del acuífero, donde la disminución de la permeabilidad eleva los gradientes. La transmisividad hidráulica media es del

orden de 4.000 a 6.000 m²/día, con valores máximos próximos a 40.000 m²/día en el sector centro-oriental.

Desde el punto de vista hidrográfico, forma parte de la subcuenca del Alto Genil, dentro de la Cuenca del Guadalquivir. Sus principales aportaciones proceden de la infiltración de aguas superficiales y del retorno de regadíos (del orden de 110 hm³/a), mientras que solo una parte minoritaria procede de la infiltración de la precipitación (25 hm³/a). Los aportes laterales ocultos están posiblemente infravalorados, pero son también minoritarios (se estiman en otros 25 hm³/a). A nivel general, la descarga principal se produce por surgencias, en el sector occidental, a los ríos Genil y Cubillas (del orden de 115 hm³/a), mientras que la explotación neta por bombeos es moderada (del orden de 45 hm³/a) (Castillo y Sánchez, 2004).

Así pues, una de las singularidades de este acuífero es que aproximadamente el 75 % de sus recursos son externos (no propios), procedentes del retorno de riegos y de la infiltración de las aguas superficiales que circulan por cursos naturales y a lo largo de la kilométrica red de acequias existente sobre su superficie desde tiempos históricos. No obstante, los caudales de recarga varían mucho, no solo en el espacio, sino también en el tiempo. Con el paso de los años tienden a disminuir por la destrucción e impermeabilización de acequias, limitación y "optimización" de las dotaciones de riego, regulación de las aportaciones de cabecera por embalses y por explotación de acuíferos adyacentes.

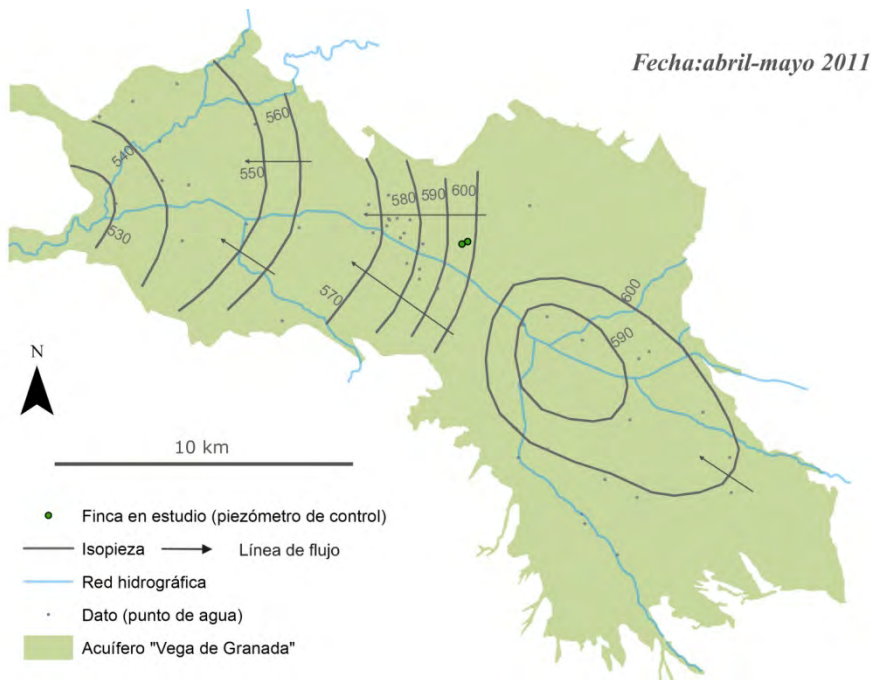


Figura 2. Mapa piezométrico del acuífero de la Vega de Granada.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la parcela de estudio

La finca sobre la que se han desarrollado las investigaciones se localiza en el extremo occidental del término municipal de Granada. Está incluida en la Comunidad de Regantes de la Acequia Gorda del Genil. Cuenta con una extensión aproximada de 3 ha y está dividida en dos parcelas, ambas se encuentran niveladas y presentan aproximadamente un metro de diferencia de cota (Figura 3). Están plantadas de chopos, con un marco de plantación de 4 x 4 m. Los árboles tienen entre 3 y 5 años.

El riego se realiza exclusivamente con agua procedente de la EDAR Oeste-Los Vados por inundación cada dos semanas durante los meses de estío. El agua está entrando a cada parcela durante 10-12 horas, con un caudal irregular al que se le calcula una media de 120 l/s, con un máximo de 250 l/s. En el año 2011 se practicaron 9 tandas de riego, entre junio y octubre. Primero se riega la parcela inferior y al día siguiente la superior.

En la EDAR "Oeste-Los Vados" se llevan a cabo los siguientes procesos: pretratamiento (retirada de sólidos, grasas, arenas), decantación primaria, tratamiento biológico mediante balsas de aireación y decantación secundaria. La EDAR se localiza aproximadamente a 1 km de distancia de la parcela (Figura 3). El agua tratada discurre en la mayor parte del recorrido por canales abiertos.

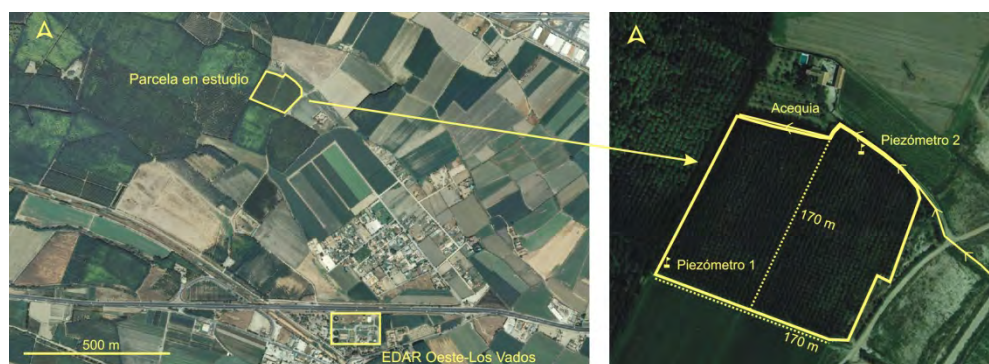


Figura 3. Parcela en estudio.

3.2. Determinaciones

Para llevar a cabo la caracterización y seguimiento de los parámetros físico-químicos de la zona de estudio, se procedió a la perforación de dos taladros de 15 m de longitud y 101 mm de diámetro, con recuperación de testigo continuo, que posteriormente fueron equipados para su uso como piezómetros de control.

Tanto las muestras de terreno obtenidas a partir de los testigos como las tomadas con barrena manual tras cada riego fueron tamizadas y, sobre la fracción que atraviesa el tamiz de 2 mm, se realizaron las siguientes determinaciones: contenido en materia orgánica, carbonatos, conductividad eléctrica (CE) y pH. Sobre los testigos, además, se determinó la textura y concentración de nitritos, entre otros. Se han obtenido 70 muestras de suelo y realizado un total de 500 determinaciones

En lo que respecta al estudio de las aguas, se tomaron muestras tanto del agua de riego como subterránea. Las determinaciones de componentes mayoritarios y contenido microbiológico se realizaron en un laboratorio comercial acreditado. Las concentraciones de sustancias prioritarias (2008/105/EC), productos derivados de pesticidas y compuestos emergentes fueron analizadas en el Departamento de Química Física y Analítica de la Universidad de Jaén por el grupo de investigación "Química Analítica de la Universidad de Jaén". Estas muestras fueron tomadas en botellas de vidrio ámbar de un litro de volumen y congeladas hasta su entrega al laboratorio. Las determinaciones se efectuaron mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas con analizador de triple cuadrupolo (componentes prioritarios) y cromatografía de líquidos acoplada a espectrometría de masas con analizador de tiempo de vuelo (componentes emergentes). Para mayor detalle de información, incluidos los tratamientos previos de las muestras de agua ver Estévez *et al.* (2012).

Se ha medido la cota del nivel piezométrico en ambos piezómetros regularmente, pero en uno de ellos durante el periodo de estudio permaneció instalado un datalogger (CTD-Diver, Eijkelkamp-Van Essen), el cual almacenó datos de nivel (medida de presión), temperatura y conductividad eléctrica con frecuencia horaria.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Suelos

A partir del estudio de las muestras obtenidas a partir de los testigos de sondeo se establece que la textura del suelo es franca, característica de zonas aluviales. En las dos columnas de material se identifican niveles característicos: 0-3 m tramo franco-arcillo-limoso, 3-8 m franco-arenoso en el sondeo 1 y de 3-12 m en el número 2. Los últimos 11-15 m del sondeo 1 fueron predominantemente franco-arcillosos, en el sondeo 2 es arcillo-arenoso (ubicación de los sondeos en la figura 3).

El estudio de las muestras de suelos extraídas tras la aplicación de cada riego evidencia que la cantidad de materia orgánica va aumentando tras cada inundación, tal y como era esperable. No obstante, la última muestra (noviembre), tomada un mes después del último riego, ofreció menores contenidos, consecuencia del cese del aporte que suponían los riegos, junto con la degradación por descomposición, especialmente elevada en el mes de octubre de 2011 que fue templado. En lo que respecta a la distribución en la vertical, el mayor contenido se reconoce en las muestras más superficiales, si bien se han hallado niveles con contenidos

considerables a diferentes profundidades. Ello es consecuencia de la dinámica de los medios sedimentarios de carácter aluvial, con episodios de inundación donde la vegetación y materia orgánica precedente queda enterrada bajo nuevos sedimentos.

El contenido en nitritos es detectable en los testigos de sondeo de ambos piezómetros hasta 0,9 m de profundidad, alcanzando la máxima concentración entre los 0,3-0,6 m, con concentraciones en torno a 30 mg/L. Por lo que respecta al pH, aumenta en profundidad desde 7,5 a 8,4, posiblemente por el incremento en la proporción de sedimentos carbonatados.

4.2. Nivel piezométrico

En la figura 4 se ilustra la evolución del nivel piezométrico en ambos piezómetros, elaborada a partir de las medidas realizadas con sonda hidronivel (frecuencia de medida semanal durante el periodo de riegos y quincenal con posterioridad) y con el registro con frecuencia horaria del sensor instalado en el piezómetro 2. Permite constatar la relación directa entre la aplicación de riegos y el ascenso del nivel piezométrico, incluso son apreciables los efectos provocados por riegos en parcelas aldeañas que al contar con distintos cultivos, sembradas de espárragos al Norte, y cebollas, maíz y ajos al Sur, fueron regadas antes de junio, mes en el que comenzó el riego de la chopera. Estos ascensos acusados, de hasta 0,5 m, se producen en cortos periodos de tiempo (10 ± 3 días). El ascenso máximo registrado durante el periodo de estudio supone una subida del nivel de 2 m con respecto al dato de nivel mas bajo disponible. Las mayores cotas se alcanzan durante los meses de agosto y septiembre. Todos los riegos cesaron en el mes de octubre, tanto en la finca en estudio como en las fincas colindantes. Al no haberse producido tampoco entre ese mes y diciembre ninguna precipitación considerable, se aprecia una tendencia descendente del nivel piezométrico. Por tanto, los datos de nivel piezométrico registrados corresponden a una medida del nivel piezométrico dinámico, consecuencia de la importante recarga que se induce mediante el riego en el entorno de la zona monitorizada. De ahí que no se pueda reconocer claramente la tendencia generaliza de ascenso del nivel piezométrico que se estaba produciendo en el acuífero de la Vega durante el periodo de estudio.

4.3. Características físico-químicas y microbiológicas de las aguas

Las muestras del agua de riego son principalmente bicarbonatadas cálcicas y las del acuífero son bicarbonatadas cálcicas y sulfato-bicarbonatadas cálcico-magnésicas.

En la figura 4, junto a las medidas de nivel piezométrico, se han representado los datos de CE y temperatura registrados por el sensor. Al igual que las respuestas piezométricas, también son evidentes las respuestas de la CE y temperatura del agua subterránea a cada uno de los eventos de riego. La CE llega a disminuir unos 0,2 mS/cm, aunque transcurrido un tiempo del cese de los riegos, aproximadamente tres meses, vuelve a aumentar hasta aproximarse a los valores iniciales. La CE media del

agua subterránea fue de 1,6 mS/cm, mientras la del agua de riego osciló entre 0,3-0,7 mS/cm, por lo tanto se pone en evidencia un efecto de dilución.

En lo que respecta a la variación de la temperatura, al comienzo de la recarga la temperatura media del agua subterránea disminuye ligeramente, hasta principios de julio, para a continuación ascender, alcanzándose las mayores temperaturas entre los meses de agosto-octubre. La diferencia de temperatura entre ambos extremos es de 0,5 °C. Esta fluctuación es debida a la variación de la temperatura del agua de riego, condicionada por la temperatura ambiente.

Las muestras de agua de riego se caracterizan por una alta variabilidad de sus características físico-químicas y contenido microbiológico. Cabe destacar que la concentración de amonio en las muestras disponibles oscila entre 10-30 mg/L, compuesto que en la zona no saturada se nitrifica a nitrato. Si este proceso se produce fuera del alcance de las raíces o se genera una cantidad superior a la necesaria por las plantas, el nitrato resultante se lixiviaría hasta el acuífero. A esta concentración de N habría que añadir la fracción orgánica y la de los nitratos, también presentes en el agua de riego, que varía entre 10-30 mg/L. Son valores inferiores a la media del agua en el acuífero, que para esta zona es de unos 80 mg/L. En la mayoría de las muestras de agua subterránea recolectadas, tanto la concentración de amonio como la de nitrato se encuentran por debajo de 0,05 mg/L y la de nitrato oscila entre 60-90 mg/L.

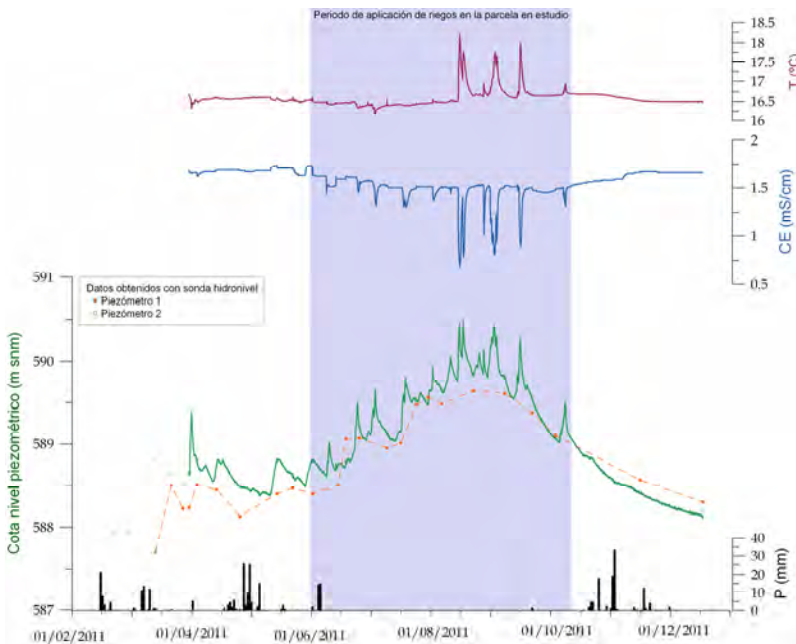


Figura 4. Representación de la información almacenada en el datalogger instalado en el piezómetro 2, junto con los datos medidos con sonda hidronivel en los dos piezómetros perforados para este estudio.

En lo que respecta al contenido microbiológico, todas las muestras presentan coliformes totales (>400 ufc/100 ml) y bacterias aerobias totales a 22 °C (>300 ufc/100 ml). Por lo que respecta a los estreptococos y coliformes fecales, sólo las dos primeras muestras, tomadas en mayo de 2011 antes del inicio del riego de la chopera de dicho año, una en cada uno de los piezómetros, no se registraron estos indicadores microbiológicos.

Se ha procedido a la evaluación de la presencia y contenido de sustancias prioritarias (2008/105/EC) y otros productos derivados de pesticidas, 57 en total. Se detectan 18 de ellas en el agua de riego y 13 en el agua subterránea, aunque solo 5 de ellas se han encontrados en todas las muestras de agua extraídas de los piezómetros. Estas son: fluoreno, pyreno, terbutylazina, phenanthereno y chorpyriphos-ethyl, si bien en ningún caso se supera la veintena de ng/L. En el agua de riego se han detectado los plaguicidas diuron, diazinón, oxifluorfen y terbutryn, que no se encuentran presentes en las muestras de agua de los piezómetros, lo que indica la capacidad remediadora del medio.

En lo que respecta a compuestos emergentes se han analizado 348 sustancias, tanto en las muestras de aguas subterráneas como de riego, entre las que se incluyen drogas de abuso, fármacos, pesticidas y herbicidas. En ambos grupos se han encontrado desinfectantes (cloruro de benzalconio), fármacos como carbamazepina (antiepiléptico), DEET empleado en los repelentes de insectos, cotinina, metabolito de la nicotina y la propia nicotina y compuestos fitosanitarios (terbuthylazina, imazalil, thiabendazol). En el agua de riego se han detectado fármacos como los antiinflamatorios diclofenaco, ketoprofeno y ácido flufenámico, metformina que es un antidiabético oral, y atenolol, indicado para pacientes con patologías cardiovasculares, que no han sido detectados en el agua subterránea. Sin embargo, si se ha encontrado presentes en el acuífero herbicidas, pesticidas o sus metabolitos (atrazina, propazina, simazina, desethyl terbuthylazina) que no se detectan en el agua de riego. Si bien en la mayoría de los casos estas concentraciones no superan la decena de ng/L, hay concentraciones puntuales destacables, como una muestra de agua de riego con 1 µg/L de atenolol. Es de reseñar también que el 60 % de las muestras de agua de riego y una de agua subterránea tienen presencia de benzoilecgonina (<10 ng/L), metabolito de la cocaína.

Los resultados del análisis de sustancias prioritarias y emergentes son similares a los encontrados en el estudio llevado a cabo por Estévez *et al.* (2012) en un acuífero volcánico en Gran Canaria. Las concentraciones de contaminantes orgánicos, salvo casos puntuales, estaban por debajo de 50 ng/L. Al igual que en el presente estudio, compuestos como diazinón, terbutryn y ácido flufenámico se encontraron en el agua de riego y contaminantes como nicotina, chlorpiryfos ethyl, fluoreno, phenanthreno y pyreno fueron frecuentemente detectados en las muestras independientemente de su origen.

5. CONCLUSIONES

La aplicación de aguas residuales urbanas tratadas para riego agrícola, siempre que se realice bajo control, proporciona una serie de beneficios. El más directo es el relacionado con el aporte de nutrientes y materia orgánica al suelo, lo que contribuye a potenciar la fertilidad. Con ello se minimiza la aplicación de fertilizantes químicos, lo que repercute positivamente tanto en la economía del agricultor. Además, la aplicación de aguas residuales urbanas al suelo permite beneficiarse de la capacidad depuradora del sistema suelo/planta. Ello disminuye costes de depuración y evita el vertido directo o deficientemente depurado en masas de aguas superficiales.

Por otro lado, el aprovechamiento de los volúmenes disponibles de aguas residuales como recurso no convencional incrementa el uso racional y eficiente del agua, especialmente en zonas con escasez de recursos. El uso de estos recursos alternativos alivia la explotación de acuíferos y masas de agua superficial, facilitando la existencia de surgencias naturales y de caudales ecológicos y su mejora en cantidad y calidad.

La aplicación de aguas residuales urbanas en agricultura, especialmente en cultivos madereros, ha sido siempre generalizada en amplios territorios, como el aquí estudiado de la Vega de Granada. Los riegos son viables dados sus mínimos requerimientos. Aparte de los beneficios anteriormente comentados, se incrementa la recarga incidental o no planificada de los acuíferos subyacentes en áreas permeables. En ellos, el deterioro de la calidad es asumible. El quimismo sufre escasas variaciones, mientras que la contaminación microbiológica es efímera y localizada, siempre que el espesor no saturado y la litología de dicha franja presenten unas condiciones apropiadas.

Los riesgos de superar la capacidad depuradora del sistema suelo/planta y de contaminar severamente a las aguas subterráneas se ven aminorados por la pérdida paulatina de permeabilidad del suelo por el depósito natural de la materia orgánica en suspensión. De este modo, una eliminación muy eficiente por decantación y filtración de los sólidos en suspensión, aunque pueda parecer una contradicción, aumenta los riesgos de contaminación de las aguas subterráneas, limitando de paso los beneficios agronómicos de los suelos irrigados.

Las determinaciones llevadas a cabo de compuestos emergentes y prioritarios, además de indicar su presencia, aportan información respecto a su comportamiento, ya que en algunos casos sin estar presentes en el agua de riego ni ser aplicados a los cultivos durante el periodo de estudio son detectados en las muestras de agua subterránea. Por tanto, es preciso realizar estudios sobre la presencia de este tipo de compuestos en las aguas y los cultivos, así como avanzar para la implantación de tratamientos terciarios que procuren su remoción. Esto, que no se consigue con los tratamientos actuales, contribuiría a evitar la incorporación de nuevas y mayores concentraciones de compuestos que puedan resultar potencialmente nocivos para el medio.

Agradecimientos

Este trabajo se ha llevado a cabo gracias al convenio suscrito entre el Instituto del Agua de la Universidad de Granada y ASAJA-Granada, miembro del equipo del Proyecto CONSOLIDER-TRAGUA. Igualmente, no hubiera sido posible sin la buena disposición de los propietarios de la finca ni sin el inestimable apoyo y colaboración desinteresada del personal de la Comunidad de Regantes de la Acequia Gorda del Genil y de J. G. Vílchez. Nuestro reconocimiento también a F. J. Martín y colaboradores (Universidad de Granada) por su asesoramiento para el análisis e interpretación de los datos edafológicos.

REFERENCIAS

- Adarve, A. y Castillo, A. (1999): Estimación de los recursos drenados por el acuífero de la Vega de Granada al río Genil mediante el análisis de los hidrogramas de la estación de Puente Castilla (Granada; España). *Geogaceta*, 25: 7-10.
- Castillo, A. (1994): Caracterización de los recursos y reservas del sistema hídrico de la Vega de Granada. *Informe Restringido*. GIRSA. Granada, 150 p.
- Castillo, A. (1986): *Estudio hidroquímico del acuífero de la Vega de Granada*. Tesis Doctoral Univ. de Granada. 658 p.
- Castillo, A. y Robles-Arenas, V. M. (2008): La estación de aforos de Puente Castilla, desde 1970 midiendo las descargas del acuífero de la Vega de Granada. *In*: López-Geta JA, Rubio Campos JC y Martín-Machuca M. (Eds.) *Agua y Cultura. VII Simposio del Agua en Andalucía*. Instituto Geológico y Minero de España, serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas nº 25. Baeza (Jaén): 313-320
- Castillo, A. y Sánchez-Díaz, L. (2004): Estudio de la calidad de las aguas de la Vega de Granada: aplicación al riego del tabaco. *Informe restringido*. Consejería de Agricultura y Pesca (Junta de Andalucía. Granada. 118 p.
- Estévez, E., Cabrera, M. C., Molina-Díaz, A., Robles-Molina, J., Palacios-Días, M. P. (2012): Screening of emerging contaminants and priority substances (2008/105/EC) in reclaimed water for irrigation and groundwater in a volcanic aquifer (Gran Canaria, Canary Islands, Spain). *Science of the total environment* 433: 538-546
- IGME-GEOMECANICA (1983): Modelo matemático de flujo del acuífero de la Vega de Granada. *Informe interno*. 4 vol.
- ITGE (1989): Vega de Granada. Serie manuales de utilización de acuíferos. Madrid. Proyecto CONSOLIDER "Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales para una Gestión Sostenible (TRAGUA)" www.consolider-tragua.com
- Ramos-Cormenzana, A. Castillo, A., Incerti, C. y Gómez-Palma, L. F. (1994): Bacteriological indicators of faecal contamination: result of a loading experiment with untreated urban wastewater. *Journal of Applied Bacteriology* 76: 95-99