

PROCESOS DE LIXIVIADO DE NITRATOS EN EL ACUÍFERO DETRÍTICO DEL POLJE DE ZAFARRAYA (Granada)

MORELL, I.⁽¹⁾, LÓPEZ-CHICANO, M.⁽²⁾, PULIDO-BOSCH, A.⁽²⁾,
GÁMEZ, J. A.⁽²⁾ y CHERIF, L.⁽²⁾

⁽¹⁾ *Grupo de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Universidad Jaime I. Apdo. 224. Castellón.*

⁽²⁾ *Grupo de Recursos Hídricos y Geología Ambiental. Universidad de Granada.*

Introducción

El Polje de Zafarraya, con una extensión aproximada de 28 km² y más de 150 km² de cuenca vertiente, está situado en el área meridional del sistema kárstico de Sierra Gorda. Debido a su especial microclima y a la fertilidad de su suelo, el polje se ha convertido en los últimos años en una zona de intensa actividad agrícola, dedicada esencialmente al cultivo de regadío. Hasta el principio de la década de los 70, la demanda para regadío se satisfacía mediante la extracción de agua en los pozos excavados en el acuífero detrítico cuaternario del polje, que tiene una extensión aproximada de 22 km², pero en la actualidad se explota también para ese fin el acuífero carbonatado subyacente, con el que está conectado el acuífero aluvial.

Paralelamente, la utilización masiva de fertilizantes y productos fitosanitarios ha provocado una fuerte contaminación del acuífero aluvial (Ollero y García, 1984), que alcanza actualmente concentraciones cercanas a 300 mg/l (Morell *et al.*, 1995). La aparición de nitratos en las captaciones del acuífero carbonatado, así como en las principales surgencias del sistema kárstico de Sierra Gorda, han puesto de manifiesto la relación entre las actividades agrícolas y la degradación lenta pero progresiva de la calidad del agua en el mismo (López-Chicano *et al.* 1993; Castillo, *et al.*, 1993; Morell *et al.*, 1994, Gámez *et al.*, 1995, Cherif *et al.*, 1995).

Sierra Gorda es uno de los más extensos sistemas kársticos de las Cordilleras Béticas, con unos recursos del orden de 120 hm³/año (López-Chicano, 1992), la mayor parte de los cuales drenan por numerosos manantiales localizados en el borde septentrional del macizo (sector Riofrío - Loja - Salar) y, en menor medida, por manantiales situados en el borde sur (Guaro). La mayoría de estos manantiales se utiliza para atender el abastecimiento de núcleos urbanos, algunos populosos, como es el caso de la ciudad de Loja (20.000 habitantes). El resto de las salidas del sistema (alrededor del 10%) alimentan directamente al río Genil que, aguas abajo, se utiliza localmente para el abastecimiento de pequeños núcleos de población.

Del total de los recursos del sistema, aproximadamente $10 \text{ hm}^3/\text{año}$ provienen de infiltración a partir del acuífero cuaternario del polje. Esta conexión hidráulica es responsable de la introducción de contaminantes nitrogenados al sistema y del incremento progresivo de nitratos en los manantiales mencionados. Otros aportes, como los ligados a la actividad ganadera, no se consideran en este trabajo por su difícil cuantificación y su escasa aportación al balance de masas.

La extensión cultivada en el polje es del orden de 1200 has, dedicadas al cultivo de hortalizas (tomates, lechugas, coliflor, judías, etc.), que se riegan por sistema de goteo, excepto en áreas localizadas en las que se utilizan aguas residuales aplicadas por inundación. Los fertilizantes aplicados son estiércol (60.000 kg/ha/año), fosfato de calcio (2.000 kg/ha/año), sulfato de potasio (1.000 kg/ha/año), nitrosulfato amónico (300 kg/ha/año) y urea (500 kg/ha/año). Ciertos insecticidas (nicotina, lindano, aldrin), fungicidas y acaricidas se aplican también, aunque no se dispone de información sobre su presencia en el acuífero.

Rasgos geológicos e hidrogeológicos

El polje de Zafarraya es una depresión tectonokárstica que se localiza en el sector meridional del macizo de Sierra Gorda y está limitado al sur por los relieves de Sierra Tejeda y Sierra de Alhama. Constituye una cuenca endorreica de aproximadamente 150 km^2 de cuenca vertiente y su máximo alargamiento tiene dirección ESE-ONO con unas dimensiones máximas de 10 km de largo y 3,5 km de ancho. La altitud del Llano oscila entre los 1.000 m.s.n.m. y los 886 m.s.n.m. en los sumideros o *ponors* del arroyo de la Madre, principal curso fluvial del área, que nace en la parte meridional y lo atraviesa longitudinalmente

Los materiales de relleno son detríticos aluviales, que ocupan una superficie de 22 Km^2 cuya litología es de conglomerados, arenas, limos y arcillas, de edad cuaternaria, que pueden alcanzar espesores de hasta 60 metros en el sector central. Esta formación detrítica descansa discordantemente sobre un relleno mioceno de calcarenitas y esencialmente limos y margas. En algunos sectores, los materiales cuaternarios reposan directamente sobre materiales carbonatados del sistema de Sierra Gorda, de edad Jurásico.

El relleno cuaternario del polje constituye un acuífero detrítico con transmisividades comprendidas entre 20 y $90 \text{ m}^2/\text{día}$ un coeficiente de almacenamiento de hasta el 13% (Hidalgo, 1973; Ollero y García, 1983).

La recarga del acuífero aluvial tiene lugar por infiltración de la lluvia útil ($13 \text{ hm}^3/\text{año}$), infiltración de aguas de escorrentía externas al acuífero ($2 \text{ hm}^3/\text{año}$). Los bombeos netos son del orden de $4 \text{ hm}^3/\text{año}$ y la alimentación al acuífero carbonatado es del orden de $10 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Metodología y muestreos

Se han seleccionado dos parcelas experimentales en el sector central del polje, la primera en un campo de cultivo convencional (plantación de brócolis) y la segunda bajo invernadero. Actualmente, el cultivo de invernadero es prácticamente inexistente pero es de esperar que se incremente en los próximos años. Las condiciones hídricas en cada caso son esencialmente distintas debido a que en el invernadero la única infiltración será la debida al riego, cuya modalidad de goteo minimiza la tasa de infiltración.

La textura del nivel más superficial del suelos es 36% de arenas, 51% de limos y 13% de arcillas.

El equipamiento de cada parcela es similar y consta de siete tomamuestras de succión equipados con cápsula de porcelana porosa, situadas a 25, 50, 100, 150, 200, 250 y 300 cm de profundidad (figura 1). Las cápsulas han sido sometidas a un lavado intensivo previo a su instalación (Morell *et al.*, 1994; Gámez *et al.*, 1995).

De todas las muestras de agua recogidas se han analizado los iones mayoritarios, minoritarios y elementos traza, aunque en este trabajo sólo se consideran los nitratos.

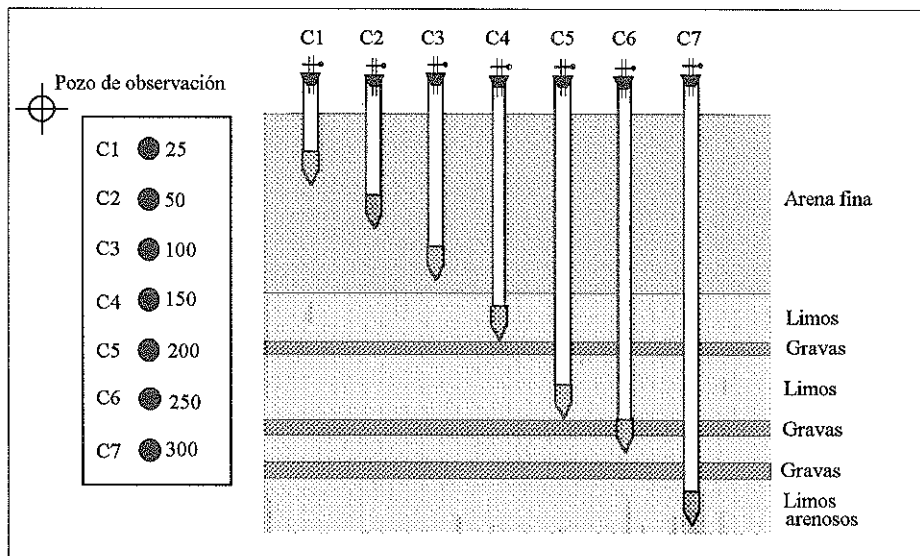


Figura 1. Disposición esquemática de los tomamuestras de succión y perfil de la parcela experimental

Los resultados que se presentan corresponden a la primera de las parcelas a lo largo de 1994 y se trata de 15 campañas de muestreo, con periodicidad mensual salvo en los dos primeros meses que fueron más intensas debido a la ocurrencia de fuertes lluvias.

El muestreo se ha llevado a cabo en condiciones no forzadas de manera que se han respetado las pautas de riego y de fertilización habituales en el área. Por esta razón, han sido numerosos los casos en que

las cápsulas, sobre todo las más superficiales, no han recogido agua ya que la dosis de riego era baja y la evapotranspiración fuerte. En otros casos, sobre todo en la segunda mitad del periodo de observación, alguna cápsula ha presentado problemas de conservación del vacío.

Paralelamente, se han efectuado registros piezométricos en un pozo situado junto a la parcela. El rasgo más característico es la notable oscilación del nivel piezométrico que asciende hasta prácticamente inundar el polje durante el periodo de lluvias y desciende hasta 6 metros de profundidad en verano. Esta circunstancia conlleva la saturación de la zona no saturada y procesos cíclicos de secado y humectación.

Resultados obtenidos

La figura 2 muestra la evolución del nivel piezométrico durante el periodo de estudio. Las fuertes lluvias registradas en los meses de enero y febrero provocaron la inundación del polje durante unos pocos días y posteriormente el nivel fue descendiendo progresivamente hasta situarse a más de 5 metros de profundidad.

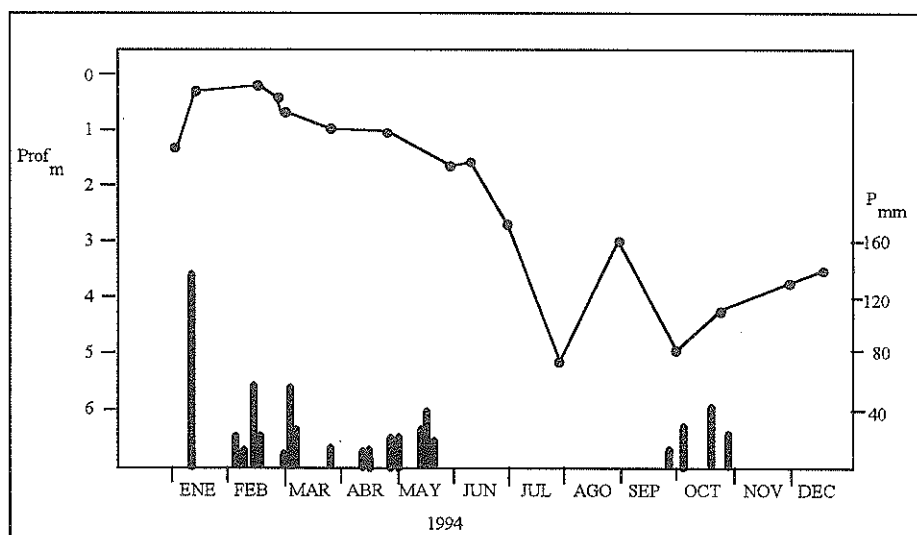


Figura 2. Evolución del nivel piezométrico en el pozo de observación y precipitaciones diarias en la estación meteorológica de La Alcaicería

Este descenso es más acusado a partir del mes de mayo en que comienzan los bombeos en el acuífero. Durante el verano los niveles medidos eran dinámicos puesto que el bombeo es prácticamente continuo. A partir de octubre y por el efecto conjunto de algunos episodios lluviosos y el cese de los bombeos, se inicia una lenta recuperación piezométrica que, sin embargo, no llega a alcanzar los niveles iniciales como consecuencia de tratarse de un año seco en relación a las precipitaciones medias históricas.

Estas fluctuaciones piezométricas tienen gran trascendencia en el comportamiento de los nitratos en la zona no saturada. La tabla 1 muestra las concentraciones de nitratos encontradas en los diferentes muestreos y en el pozo de observación, con indicación de las lluvias acaecidas y de las prácticas de fertilización llevadas a cabo.

Prof	3 E	12 E	17 Fe	22 Fe	24 F	25 M	28 M	24 A	30 M	9 J	1 J	28 J	30 A	30 S	28 O	20 N	22 D
0.25					0												244
0.50	40				0	9	20				70		70			600	
1.00	77		87	59	106	79	87	76			11		114		1109	377	
1.50	221	217	217	199	186	178	159	135	177	115	36		35		46		50
2.00	181	177	126	121	126	125	94	89	129	127	11				53		42
Pozo					313	229		270	281		26	376	355	388	363	338	346
		P	p	P		p	A	A, p	a, p	a	a	a	a	a, p	p		

A: Abonados intensivos; a: Abonados regulados; P: Lluvias intensas; p: Lluvias moderadas

Tabla 1. Valores de concentración de nitratos en las muestras analizadas

El sombreado representa el periodo de aguas altas en que el nivel piezométrico se sitúa por encima de todas o algunas de las cápsulas. Este periodo comprende desde enero a junio, cuando el progresivo descenso de niveles establece un régimen de lavado cuyo resultado es la práctica desaparición de los nitratos en los niveles más superficiales. Los abonados de fondo realizados en marzo-abril suponen una entrada importante de nitrógeno al sistema, pero la ausencia de flujo vertical (riego localizado) impide su lixiviación y tiene lugar su acumulación en los niveles más superficiales. El periodo de riego se prolonga hasta finales de septiembre cuando las nuevas lluvias arrastran buena parte de la masa de nitratos y se alcanzan concentraciones superiores a 700 mg/l a 1 metro de profundidad y del orden de 600 mg/l en la cápsula situada a 50 cm de profundidad. Es interesante destacar, sin embargo, que esta masa de nitratos no alcanza profundidades mayores, probablemente debido al efecto de la evapotranspiración por una parte, y al efecto litológico ya que aproximadamente a los 120 cm de profundidad aparece un nivel limoso de menor conductividad hidráulica. En estas condiciones, y dada la existencia de delgados niveles de gravas intercalados, no puede descartarse la existencia de flujos locales de componente horizontal.

Otro aspecto de interés es la evolución de los contenidos de nitratos en el pozo de observación. En general, se aprecia un considerablemente aumento a partir del mes de julio, que no puede estar relacionado con la fertilización de los meses previos, por las razones ya indicadas de práctica

ausencia de flujo, sino que debe ser el resultado del intenso proceso de lavado consecuente al periodo de lluvias.

La figura 3 ilustra esquemáticamente los procesos comentados.

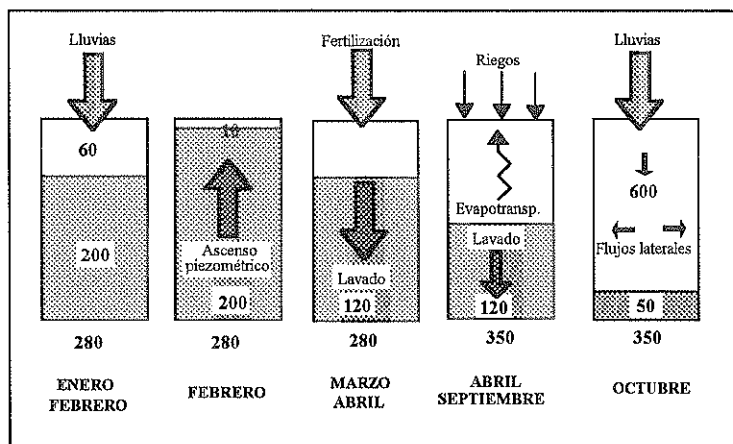


Figura 3. Representación esquemática de los procesos que afectan a la lixiviación de los nitratos en la parcela experimental. Las cifras indican concentraciones orientativas de nitratos en diferentes situaciones. El sombreado corresponde a la zona saturada.

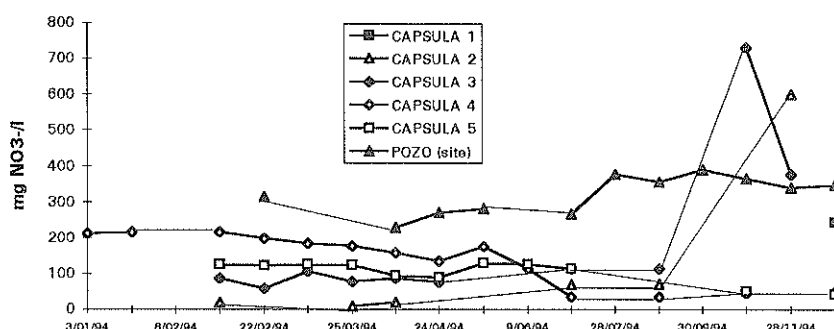


Figura 4. Evolución de las concentraciones de nitratos en las muestras obtenidas en las cápsulas situadas entre 0.25 y 2 metros de profundidad

La figura 4 representa la distribución de los contenidos en nitratos en las cápsulas situadas entre 0.25 y 2.00 metros de profundidad en las diferentes campañas de muestreo. Esta evolución es coherente con los procesos comentados anteriormente.

Conclusiones

La irregularidad pluviométrica y el sistema de riego localizado que se utiliza en el Polje de Zafarraya son factores determinantes en el transporte de nitratos en la zona no saturada. Los rápidos ascensos piezométricos favorecen el proceso de lavado y arrastre de nitratos lo que, por otra parte, supone un mecanismo rápido de contaminación tanto del acuífero detrítico como del acuífero kárstico en el que descarga.

El sistema de riego localizado y la intensa evapotranspiración no permiten el retorno de agua al acuífero por lo que los fertilizantes aplicados se mantienen durante meses en los niveles más superficiales.

La peculiaridad de este área estriba en la irregularidad pluviométrica que conlleva dos episodios anuales de lavado, el primero de ellos asociado al descenso de niveles posterior a las fuertes lluvias que tradicionalmente inundan el polje en enero-febrero, y el segundo, de tipo pistón, que arrastra los nitratos que no han sido absorbidos por las raíces.

Referencias

- CASTILLO, A., LOPEZ-CHICANO, M. y PULIDO-BOSCH, A. (1993). Temporal evolution of Riofrío nitrate content. *Some Spanish Karstic Aquifers, Ed. A. Pulido-Bosch*, pp: 117-126.
- CHERIF, L., PULIDO-BOSCH, A., LÓPEZ-CHICANO, M., MORELL, I., y GÁMEZ, J.A. (1995). Las actividades agrícolas en el polje de Zafarraya y la evolución del contenido en nitratos en dos manantiales del acuífero de Sierra Gorda (Granada y Málaga), *Geogaceta (en prensa)*.
- GÁMEZ, J.A., PULIDO-BOSCH, A., MORELL, I., CHERIF, L., y LÓPEZ-CHICANO, M. (1995). Problemática del uso de los tomamuestras de succión en el estudio de la ZNS en el polje de Zafarraya (Granada y Málaga). *Geogaceta (en prensa)*.
- HIDALGO, J. (1974). Estudio hidrogeológico del Polje de Zafarraya y zonas adyacentes. *Tesis de Licenciatura. Universidad de Granada*. 165 pp.
- LÓPEZ-CHICANO, M. (1992). Contribución al conocimiento del sistema hidrogeológico kárstico de Sierra Gorda. *Tesis Doctoral Universidad de Granada*.
- MORELL, I., LÓPEZ-CHICANO, M., PULIDO-BOSCH, A., GÁMEZ, J.A. y CHERIF, L. (1994). Contaminación del sistema kárstico de Sierra Gorda debida a la actividad agrícola en el Polje de Zafarraya (Granada, España). Estudio preliminar. *In: El karst y los acuíferos kársticos (De. A. Pulido-Bosch et al.)*. Universidad de Granada. pp: 239-250.
- OLLERO, E. y GARCÍA, J.L. (1984). Características hidroquímicas del acuífero aluvial del Polje de Zafarraya. *I Cong. Esp. de Geología*, 4: 287-294.
- PULIDO-BOSCH, A., LÓPEZ-CHICANO, M., MORELL, I., GÁMEZ, J.A. y CHERIF, L. (1994). The influence of agricultural activities in the Polje of Zafarraya on the water quality of the karstic aquifer of the Sierra Gorda (Southern Spain). *Water Down Under'94. Adelaide, Australia*, pp: 727-730.

