

Distribución espacial de nitratos en el acuífero de la Vega de Granada: análisis de las situaciones en 1983 y 2003

Spatial distribution of nitrates in the Vega de Granada aquifer in 1983 and in 2003

A. Castillo (*), L. Sánchez-Díaz (**), M. Chica (***) y J.A. Luque(****)

(*) CSIC e Instituto del Agua (Univ. Granada). Ramón y Cajal, 4. 18071 Granada.
E.mail: acastill@ugr.es

(**) Instituto del Agua (Univ. Granada)

(***) Departamento de Geodinámica (Univ. Granada)

(****) IGME (Delegación Granada)

ABSTRACT

This paper describes the statistical analysis of two large-scale nitrate sampling campaigns carried out in September 1983 and in September 2003 concerning the groundwater of the Vega de Granada aquifer, in addition to the spatial distributions of nitrates, corresponding to the same dates. The results of the analysis lead us to conclude that contamination of the aquifer has increased considerably, both in terms of the increase in mean and in extreme values and in terms of the positively-anomalous surface area. The latter is interpreted not so much as an increase in the nitrogen introduced into the system as, very probably, a progressive change in the water resources management, with a lower rate of surface water infiltration and a higher rate of return and greater exploitation of groundwater.

Key Words: Vega de Granada aquifer, alluvial aquifer, nitrates, variogram, water resources management

Introducción. Antecedentes

El acuífero detrítico de la Vega de Granada (Fig. 1) es uno de los más importantes de Andalucía (FAO-IGME, 1972; Jerez, 1983; Castillo, 1986a y 1995; ITGE, 1989), al disponer de unos recursos del orden de 170 hm³/año y unas reservas explotables de 1.000 hm³. Sus aguas se utilizan mayoritariamente para el regadío, con una extracción neta actual, difícil de evaluar, estimada en unos 60 hm³/a y, en menor medida, para el abastecimiento urbano, el cual se realiza mayoritariamente a partir de recursos superficiales procedentes de Sierra Nevada; no obstante, tras la última gran sequía (1992-95), el acuífero se aprovechó como depósito de emergencia, por lo que en la actualidad es considerado como una valiosa fuente alternativa de reserva en caso de nuevas restricciones de suministro.

Figura 1

La calidad de las aguas subterráneas ha sido investigada en numerosas

ocasiones, siendo buena para el regadío (Castillo, 1993), y solamente aceptable o incluso mediocre para el consumo humano (Castillo, 1986b); al respecto, los principales problemas de calidad de las aguas subterráneas son su elevada dureza, y, sobre todo, los indeseables contenidos en nitratos (a partir fundamentalmente de los fertilizantes aplicados en la agricultura) que se dan en ciertos sectores y épocas (Castillo *et al.*, 1995 y 1997).

Precisamente, el elevado contenido en nitratos ha obligado al cierre temporal de algunos abastecimientos, y, en cualquier caso, al progresivo plan de sustitución de los abastecimientos a partir del acuífero de la Vega de Granada por otros de mejor calidad con aguas de superficie procedentes de Sierra Nevada. Desde 1980 se vienen realizando numerosos muestreos y análisis de las evoluciones espaciales de los nitratos en este acuífero. Castillo *et al.* (1997) realizaron un análisis de la evolución desde 1980 hasta 1996, detectando dos periodos, uno comprendido desde 1980 a 1990 de régimen casi estacionario, con las lógicas variaciones temporales, y otro a partir de 1990, y hasta 1996, de progresivo incremento de las concentraciones y de las áreas afectadas, hecho que atribuyeron a cambios en la gestión de los recursos hídricos, a grandes líneas relacionados con una menor tasa de infiltración de aguas de superficie de Sierra Nevada, con un incremento de las tasas de explotación y retorno de las aguas subterráneas y con una disminución del flujo subterráneo en ciertos sectores.

En este artículo se actualiza la información disponible a Septiembre de 2003, fecha en la que se realiza un nuevo muestreo de 207 puntos (1 por km²), lo que se complementa con un análisis comparativo de la situación que fue obtenida en Septiembre de 1983, como representativa de la década 1980-90, análisis que debe interpretarse con las precauciones pertinentes, si bien se trató de años hidráulicos y muestreos similares.

Resultados

Análisis estadístico

Como primer paso, se obtuvieron los parámetros estadísticos básicos y los histogramas de frecuencias para las campañas citadas de 1983 y 2003. Es de destacar el aumento del valor medio, que pasa de 40 a 62 mg/l, lo que supone un incremento relativo del 50 % respecto del año 1983. Del mismo modo, los valores extremos detectados pasan a ser de 170 mg/l en 1983 a 342 mg/l en 2003, ambos hallados en el extremo occidental del acuífero (proximidades de la población de Valderrubio; Fig. 1). En cuanto a la dispersión estadística, también se observa algo similar, con un aumento relativo de la varianza del 500 %.

Los histogramas (Fig. 2) e histogramas acumulados (Fig. 3), muestran de forma clara que se ha producido un aumento significativo del sector de la población de valores altos, y especialmente de los de más de 80 mg/l, lo que responde, espacialmente, a una expansión de las áreas más contaminadas (ver Fig. 5). Así, a efectos de cálculos

de probabilidades, si tomamos como valor de referencia el de 50 mg/l (límite máximo de potabilidad), nos encontramos que la probabilidad de hallar valores superiores era del 20 % en 1983, mientras que ahora (2003) es del 55 %.

Figura 2

Figura 3

Otro aspecto de interés es el estudio de la distribución espacial de los datos a través de la función variograma; para tal fin se obtuvieron los correspondientes variogramas (Fig. 4). Como se sabe, el variograma es una función vectorial que cuantifica la variación espacial de la variable. A efectos de posibilitar un análisis comparativo de la estructura de variabilidad espacial de los dos muestreos estudiados, se calculó el variograma relativo (variograma simple normalizado por la varianza de los datos). Se constata que las estructuras obtenidas son similares en cuanto al alcance (aproximadamente 4 km) y al valor del efecto pepita, que representa un porcentaje aproximado del 50 % de la variación total. No obstante, puede señalarse que el variograma obtenido para 2003 presenta una ligera tendencia o deriva a largas distancias, que no se aprecia para el de 1983. Esto podría deberse a la regionalización de los valores altos de nitratos aparecidos en 2003 en ciertos sectores del acuífero, como ya se ha apuntado.

Figura 4

Análisis de las distribuciones espaciales

En la figura 5 se exponen los mapas de isocontenidos hallados para los muestreos de Septiembre de 1983 y 2003, junto al mapa de isodiferencias cualitativas observado entre ambos. Así, en Septiembre de 1983 (y en otros muestreos de esa década: 1980, Marzo de 1984, Marzo de 1989 y Octubre de 1990; Castillo *et al.*, 1997) se observaban zonas de baja concentración (inferior a 30 mg/l) en el sector de Sierra Elvira-confluencia de los ríos Genil y Cubillas, y en el cuadrante suroccidental del acuífero; por el contrario, los sectores con valores más elevados (superiores a 100 mg/l) eran los de Bobadilla (el oeste del casco urbano de Granada) y los de las poblaciones de Valderrubio-Escóznar (extremo occidental del acuífero).

La situación obtenida en Septiembre de 2003 presenta una mayor expansión de las zonas de anomalía positiva antes citadas, la aparición de otras nuevas de menor entidad, y la desaparición de una de las áreas de baja concentración antes referidas para 1983. En concreto, las modificaciones más destacables serían: a) la desaparición de la zona de baja concentración de Sierra Elvira-confluencia de los ríos Genil y Cubillas, con aparición, incluso, de una zona de anomalía positiva en el borde sur de Sierra Elvira; b) la importante progresión hacia el oeste y norte de la zona de anomalía positiva antes citada de Bobadilla; y c) la progresión hacia el oeste de una nueva zona de anomalía positiva al sur de la población de Armilla. Una localización de lo

comentado puede observarse en el mapa de isodiferencias de la figura 5, donde casi toda la mitad occidental del acuífero (zona de descarga) presenta aumentos significativos en las concentraciones de nitratos.

Figura 5

Conclusiones

La distribución espacial de nitratos detectada en Septiembre de 2003 confirma la tendencia al alza en la concentración de nitratos detectada a principios de los años 90, después de una situación relativamente estable, que se venía observando, con las lógicas variaciones temporales, desde 1980 (Castillo *et al.*, 1997).

En concreto, para el muestreo de Septiembre de 1983, la concentración media de nitratos fue de 40 mg/l, la superficie afectada por valores superiores a 100 mg/l del 11 %, y la probabilidad de hallar valores superiores a 50 mg/l del 20 %. Por el contrario, la situación detectada en Septiembre de 2003 (para años hidráulicos y muestreos similares a los de 1983) arrojó una media de nitratos de 62 mg/l, una superficie afectada por valores superiores a 100 mg/l del 38 %, y una probabilidad de encontrar valores superiores a 50 mg/l de aproximadamente el 55 %.

Este afianzamiento en el cambio de tendencia no parece obedecer a un aumento de los *inputs* de nitrógeno al sistema, que permanecen prácticamente estables desde los años 80, y cuyo valor total se sitúa alrededor de los 300 kg.N.ha/año (Castillo, *et al.*, 1995). Como ya se había apuntado en trabajos anteriores (Castillo, *et al.*, 1997; Castillo y Perandrés, 2002), la causa fundamental del aumento de la contaminación por nitratos (y del empeoramiento de la calidad general de las aguas), estaría en la combinación de varios factores relacionados con la gestión de los recursos hídricos, como serían una menor tasa de infiltración de recursos superficiales, mayor nivel de explotación y de retorno de aguas subterráneas y la disminución del flujo en ciertos sectores.

Agradecimientos

El muestreo analítico realizado en 1983 se efectuó al amparo de una beca de Formación de Personal Investigador del Gobierno español del primer firmante de este trabajo, mientras que el muestreo de 2003 se llevó a cabo en el marco del proyecto de investigación titulado "*Estudio de la calidad de las aguas de la Vega de Granada: aplicación al riego del tabaco*", suscrito entre la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y la Universidad de Granada, y del proyecto del Ministerio de Ciencia y Tecnología BTE2002-00152.

Referencias

Castillo, A. (1986a). *Tesis Doct., Univ. Granada e IGME*. 658 p

Castillo, A. (1986b). *Sanidad e Higiene Pública*, 60: 1.141-1.152
Castillo, A. (1993). *Naturalia Baetica*, 5: 91-103
Castillo, A. (1995). *Tierra y Tecnología*, 9: 51-57
Castillo, A.; Martínez-Carmona, N. y Pulido, A. (1995). *Hidrogeología y recursos hidráulicos*, XX: 137-145
Castillo, A. y Perandrés, G. (2002). *Libro homenaje a Manuel del Valle Cardenete*. IGME. 185-188
Castillo, A.; Pulido, A.; Martínez-Carmona, N. (1997). *Freshwater Contamination*. IAHS, 245: 203-209
FAO-IGME (1972). *Inf. restr. AGL.SF/SPA*, 16. 218 p. Madrid
ITGE (1989). *El acuífero de la Vega de Granada*. Inf. Técnico
Jerez, F. (1983). *El uso conjunto en la Vega de Granada*. Curso Valencia. 1-13

Fig. 1.- Localización del acuífero de la Vega de Granada

Fig. 1.- Location of the Vega de Granada aquifer

Fig. 2.- Histograma de frecuencias de las concentraciones en nitratos para las campañas de 1983 y 2003

Fig. 2.- Histogram of nitrate concentrations for sampling data 1983 and 2003.

Fig. 3.- Frecuencias acumuladas de las concentraciones en nitratos para las campañas de 1983 y 2003

Fig. 3.- Accumulated histogram of nitrate concentrations for sampling data 1983 and 2003

Fig. 4.- Variogramas relativos obtenidos para las concentraciones en nitratos de las campañas de 1983 y 2003

Fig. 4.- Relative experimental variograms of nitrate concentrations for data 1983 and 2003

Fig. 5.- Mapas de isocontenidos en nitratos (mg/l) de las campañas de Septiembre de 1983 y 2003. Abajo, mapa cualitativo de isodiferencias de nitratos (1983-2003)

Fig. 5.- Spatial distribution of the nitrates values (mg/l) for sampling data 1983 and 2003; below, spatial variation between both samplings