

# 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)

*Agricultural activities in the polje of Zafarraya and evolution of nitrate content in two springs of the aquifer of Sierra Gorda (Granada and Malaga)*

L. Cherif (\*), A. Pulido-Bosch (\*), M. López Chicano (\*), I. Morell (\*\*) y J.A. Gámez (\*)

(\*) Grupo de Investigación Recursos Hídricos y Geología Ambiental. Dpto. de Geodinámica (Univ. Granada). 18071 Granada.

(\*\*) Grupo de Investigación de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dpto. de Ciencias Experimentales (Univ. Jaume I). 224. 12080 Castellón.

## ABSTRACT

The monthly nitrate content in the springs of Riofrío and Guaro on the northwestern and southern edges, respectively, of the karstic aquifer of Sierra Gorda have been studied during the period February 1994 – January 1995. The mean value of the nitrates in the two springs registered 20 mg/l, tripling the mean of 6,7 mg/l for the period 1974–89. The highest contents were recorded during rainy periods, due to the hydraulic connexion between the polje of Zafarraya and the karstic aquifer. In this polje, agricultural activities covered 1500 ha. The springs of the northern edge appear to be more vulnerable to pollution than which are situated in southern part.

**Key words:** agricultural activities, nitrates, polje, karstic aquifer.

*Geogaceta*, 18 (1995), 146-149

ISSN: 0213683X

## Introducción

Los manantiales de Riofrío y Guaro (Fig. 1) se sitúan en los bordes noroccidental y meridional del macizo de Sierra Gorda, respectivamente. Este macizo, de unos 300 km<sup>2</sup> de superficie, está situado en el borde occidental de la provincia de Granada y corresponde a un acuífero kárstico libre constituido por calizas y dolomías jurásicas de un millar de metros de potencia. Los principales puntos de descarga se localizan en la mitad septentrional.

Los manantiales de Riofrío, con una cota media de 515 m s.n.m, forman parte del conjunto de surgencias del borde septentrional y se encuentran en las proximidades del núcleo urbano del mismo nombre. Se trata de manantiales permanentes y representan el principal punto de descarga del sistema hidrogeológico de Sierra Gorda. En cuanto al manantial de Guaro (IGME, 1983), con una cota de emergencia de 715 m s.n.m, se localiza en la aldea del mismo nombre (término municipal de Periana) y constituye la principal descarga del acuífero kárstico por su borde meridional. Se trata de una surgencia temporal con un funcionamiento de tipo “trop

plein” (López Chicano, 1992). Actualmente, se encuentra acondicionado y regulado por un sondeo realizado en una galería cuyas aguas se utilizan para el abastecimiento a Periana y Guaro.

En el sur del macizo de Sierra Gorda se ubica el polje de Zafarraya (Hidalgo, 1974), que corresponde a una depresión interna endorréica de 22 km<sup>2</sup> de superficie que drena una cuenca vertiente de 150 km<sup>2</sup>. Esta depresión tiene una dirección ESE-ONO coincidiendo con el eje preferencial de fracturación N 140 E y es atravesada longitudinalmente por el Arroyo de la Madre, curso temporal que se pierde en los ponors situados en la parte occidental del polje. Su relleno detrítico cuaternario (con un espesor máximo de 60 metros) tiene como sustrato localmente las calizas y dolomías del acuífero kárstico de Sierra Gorda, aunque en la parte central se intercalan materiales miocénicos impermeables entre ambos.

## Consideraciones sobre las fuentes contaminantes

La contaminación de las aguas subterráneas de los acuíferos detrítico y kárstico por nitratos se ha demostrado

en estudios anteriores (Ollero y García, 1984; Castillo *et al.*, 1993). La fuente principal de contaminación es la aplicación de fertilizantes en el polje de Zafarraya donde se cultivan hortalizas extratempranas y extratardías, gracias al microclima reinante y a la disponibilidad de recursos hídricos. La superficie en regadío supera las 1.500 ha y el sistema de riego es, en general, por goteo. Los principales fertilizantes aplicados son: estiércol animal, abono de fondo (superfosfato cálcico y sulfato amónico), abono de corteza (sulfato de potasa y complejos 15-15-15), y abono en riegos alternos (nitrosulfato amónico y urea).

La dosis de fertilización aplicada llega a superar los 500 kg de complejos nitrogenados/ha/año; el período de aplicación se extiende desde Abril-Mayo hasta Octubre. La utilización de las aguas residuales no depuradas para el riego y su vertido en el Arroyo de la Madre representa otro aporte de nitrógeno. Por último, cabe citar el aporte nitrogenado debido a la carga ganadera de tipo caprino y ovino de más de 67000 cabezas; este aporte constituye una fuente de contaminación de menor impacto que la debida a la fertilización

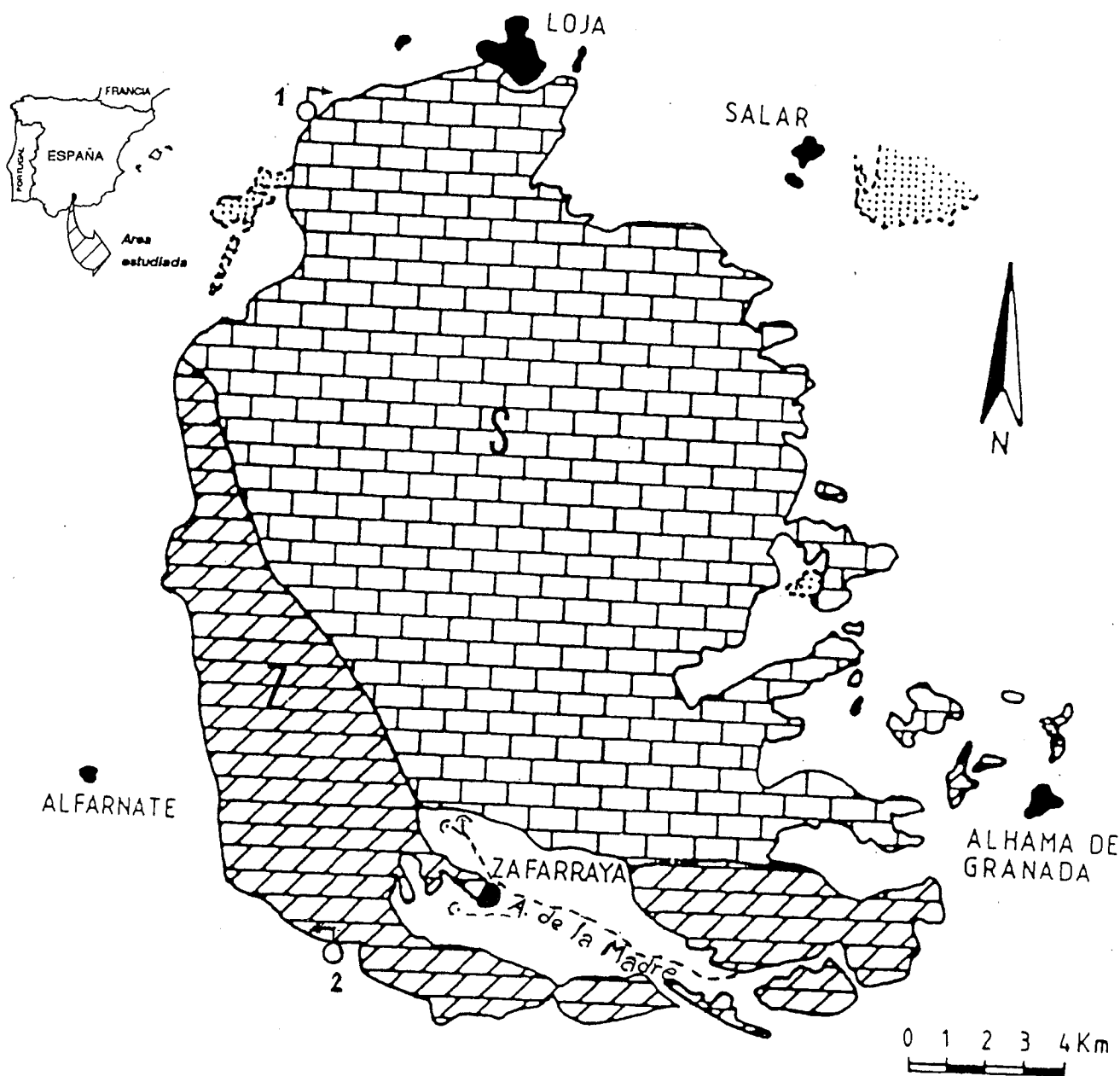


Fig. 1.- Localización geográfica del área de estudio. 1: Manantial de Riofrío; 2: Manantial de Guaro. S: Unidad de Sierra Gorda; Z: Unidad de Zafarraya.

Fig. 1.- Geographical location of the study area. 1: Riofrío spring; 2: Guaro spring. S: Sierra Gorda Unit; Z: Zafarraya Unit.

por la notable dispersión de la masa nitrogenada originada, al distribuirse el ganado a lo largo de más de 200 km<sup>2</sup>.

#### Evolución temporal de los nitratos en las surgencias de Riofrío y Guaro

Para la evolución espacial y temporal del contenido en nitratos de las aguas de los acuíferos detrítico y de Sierra Gorda, se ha llevado a cabo el muestreo mensual de las principales surgencias kársticas y de los pozos del llano de Zafarraya (Pulido-Bosch, *et al.*, 1994). En la figura 2 se representa

la evolución mensual del contenido en nitratos en las surgencias de Riofrío y Guaro.

El manantial de Guaro registra una concentración media de 19 mg/l (Tabla 1), oscilando entre un máximo de 28 mg/l en Abril y un mínimo de 12 mg/l en Febrero. El manantial de Riofrío presentó un valor medio de 20 mg/l (Tabla 1) con dos máximos, 29 mg/l en Abril y 35 mg/l en Julio y un mínimo de 9 mg/l en Junio. Durante el período 1974 - 1989 el valor medio del contenido en nitratos en el río Frío fue de 6,7 mg/l, muy próximo a los del manantial (Cas-

tillo *et al.*, 1993). Resulta, pues, que en los seis últimos años el contenido medio de nitratos en Riofrío se ha triplicado.

A lo largo del período de muestreo Febrero de 1994 - Enero de 1995, los valores medios de nitratos registrados en Riofrío y Guaro no superan el valor máximo admisible (50 mg/l) por la Reglamentación Técnico-Sanitaria Española para las aguas de bebida (B.O.E. nº 226 de 1990). Aunque en general los valores no son excesivos y están dentro de los límites de potabilidad admisibles por la legislación vigente, hay que señalar el incremento progresivo y signi-

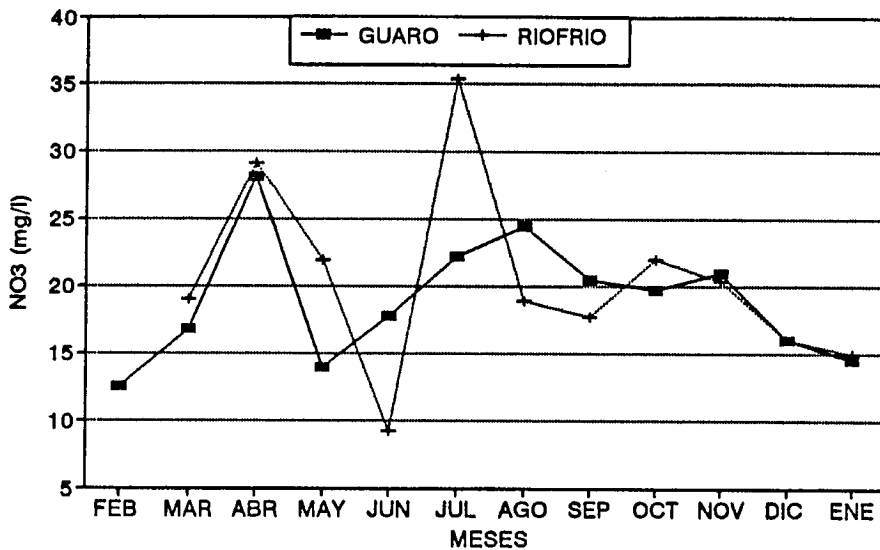


Fig. 2.- Evolución mensual del contenido en nitratos en los manantiales de Riofrío y Guaro (desde Febrero 1994 a Enero 1995).

Fig. 2.- Monthly evolution of nitrate contents in Riofrío and Guaro springs (from February 1994 to January 1995).

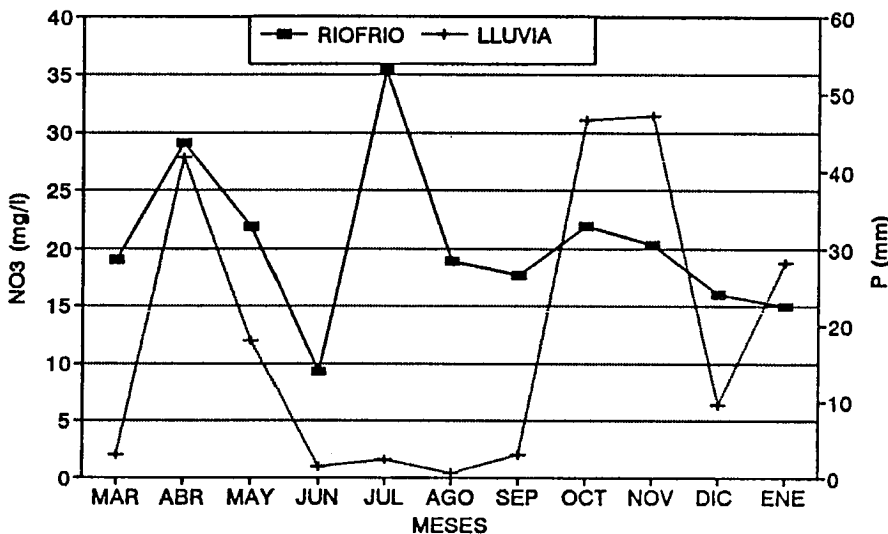


Fig. 3.- Relación entre la evolución del contenido en nitratos y las precipitaciones registradas en Riofrío (desde Febrero 1994 a Enero 1995).

Fig. 3.- Relationship between the evolution of nitrate content and rainfall recorded in Riofrío (from February 1994 to January 1995).

ficativo en estos últimos años.

En la figura 3 se indica la evolución mensual del contenido en nitratos y de las precipitaciones registradas en Riofrío durante Marzo 1994 - Enero 1995. Se observa que los meses más húmedos son Abril, Octubre y Noviembre; este último registra el valor máximo absoluto (47,2 mm). Los meses más secos son Marzo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y, excepcionalmente, Diciembre. Se puede considerar este período como de escasa pluviosidad que no supera los 300 mm. Ello ha repercutido sobre los caudales de los manantiales que han

disminuido considerablemente hasta el punto de agotarse, como es el caso del manantial de la Tajea situado en el sector de Riofrío. Las concentraciones más elevadas en nitratos se alcanzan en los meses más húmedos (Abril y Octubre), excepto el mes de Julio que registra un pico de 35 mg/l, probablemente debido al retorno de aguas de riego tras la dilución de los nitratos en la franja no saturada y su percolación en el acuífero kárstico, aunque no se descarta que se deba a la influencia del poder retardador de la alimentación de la franja no saturada, especialmente en un año tan

| MESES  | GUARO     | RIOFRÍO   |             |
|--------|-----------|-----------|-------------|
|        | NO3(mg/l) | NO3(mg/l) | LLUVIA (mm) |
| FEB    | 12        |           |             |
| MAR    | 17        | 19        | 3,0         |
| ABR    | 28        | 29        | 41,8        |
| MAY    | 14        | 22        | 18,0        |
| JUN    | 18        | 9         | 1,4         |
| JUL    | 22        | 35        | 2,4         |
| AGO    | 24        | 19        | 0,6         |
| SEP    | 21        | 18        | 3,0         |
| OCT    | 20        | 22        | 46,6        |
| NOV    | 21        | 20        | 47,2        |
| DIC    | 16        | 16        | 9,6         |
| ENE    | 15        | 15        | 28,2        |
| MÁXIMA | 28        | 35        | 47,2        |
| MÍNIMA | 12        | 9         | 0,6         |
| MEDIA  | 19        | 20        | 18,3        |

Tabla 1.- Concentraciones mensuales en nitratos en los manantiales de Guaro y Riofrío y precipitaciones mensuales (desde Febrero 1994 a Enero 1995).

Table 1.- Monthly nitrate concentration of the springs of Guaro and Riofrío and monthly rainfall (from February 1994 to January 1995).

seco; la propagación del contaminante desde el polje hasta la surgencia requeriría, pues, más de dos meses. Es un hecho bien constatado que las experiencias con trazador pueden dar resultados muy diferentes dependiendo del estado del sistema (Mangin *et al.*, 1976; Lepiller y Mondain, 1986; Hötzl y Werner, 1992).

### Discusión

La problemática del incremento del contenido en nitratos en las surgencias kársticas, y particularmente en Riofrío y Guaro, nunca había sido estudiada de forma conjunta. En la primera de ellas sí se conocía esta tendencia en estudios anteriores (IGME, 1983; Castillo *et al.*, 1988 y 1993). Los valores medios en nitratos obtenidos para el período Febrero de 1994 a Enero de 1995 (20 mg/l en Riofrío) se han triplicado con respecto a los 6,7 mg/l del período 1974 - 1989. Además, las concentraciones en nitratos en los pozos del polje de Zafarraya superan los 400 mg/l, con un máximo de 1140 mg/l en Febrero y un mínimo de 150 mg/l en Agosto. La conexión hidráulica entre el polje y los manantiales de Riofrío y Guaro se demostró a través de las experiencias con trazadores realizadas por el SGOP (Hidalgo, 1974). Se detectó una velocidad de circulación de 550 m/día hacia el sector de Riofrío y de 200 a 340 m/día hacia Guaro.

Las concentraciones en nitratos en

el acuífero detrítico de Zafarraya aumentan durante el período de abonado (Abril-Mayo hasta Octubre). Tras un episodio lluvioso intenso y no continuo (caso de los meses de Abril, Octubre y Noviembre para Riofrío), se produce el lixiviado de los nitratos contenidos en la franja no saturada del acuífero detrítico que percola en el acuífero kárstico. Por otra parte, se produce la infiltración a través de los sumideros existentes en la parte oeste del Arroyo de la Madre, donde se arroja toda clase de vertidos de alto contenido en nitratos (aguas residuales urbanas, residuos de fertilizantes, residuos de cosechas, etc...).

La vulnerabilidad del acuífero kárstico es mayor en el sector occidental del llano de Zafarraya dado que el acuífero cuaternario presenta menor espesor, superponiéndose directamente al acuífero kárstico que lo drena de forma difusa. Existen también "ponors" donde se infiltran las aguas contaminadas del Arroyo de la Madre. En la parte central del polje, el acuífero kárstico es menos vulnerable ya que los niveles están más profundos y está independizado del aluvial por los materiales pocos permeables del Mioceno. Además, el acuífero detrítico tiene un mayor espesor y, por tanto, un mayor poder autodepurador.

A pesar de que el manantial de Riofrío está más alejado del polje (20 km) que el manantial de Guaro (5 km), varios parámetros hacen suponer que la incidencia de la contaminación del acuífero aluvial es mayor en las descargas del borde norte del acuífero de Sierra Gorda que en las del borde sur. La principal sería la existencia de mayor

flujo hacia el borde norte que hacia el sur, como prueba el que las surgencias tengan caudales más elevados y mayor constancia. La descarga hacia el borde meridional es mucho menor e irregular, como lo demuestra el hecho de que la surgencia principal tenga un funcionamiento discontinuo. Además, el manantial de Riofrío se encuentra 195 m más bajo que el de Guaro y tiene una relación muy directa con los ponors que drenan el polje. La existencia de un sector de baja permeabilidad entre el llano de Zafarraya y Guaro, constituido por materiales cretácico-paleógenos de la unidad de Zafarraya, hace suponer que la conexión entre ambos sectores es más complicada, aunque existe.

No obstante lo expuesto, hay que tener en cuenta que la contaminación está atenuada por el poder autodepurador del acuífero aluvial y la gran dilución que se produce en el acuífero de Sierra Gorda; este último tiene un comportamiento hidrodinámico próximo a un medio fisurado, lo que le confiere gran poder regulador como muestra el hecho de que los caudales de las surgencias no registran bruscas variaciones; ello no quiere decir que no existan redes kársticas desarrolladas y controladas por la fracturación (López Chicano y Pulido Bosch, 1988 y 1993). De continuar las condiciones actuales, a medio y largo plazo, las aguas del acuífero kárstico tendrán concentraciones en nitratos cada vez más elevadas. La aplicación de dosis abusivas de fertilizantes daña tanto a la producción como al suelo, por el hecho de que la planta aprovecha la cantidad necesaria para su desarrollo; el resto puede provocar sali-

nización y nitrificación del suelo y de las aguas tanto superficiales como subterráneas (Sánchis, 1991).

#### Agradecimientos

El presente trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto AMB92-0211 financiado por la CICYT.

#### Referencias

- Castillo, A. y López Chicano, M. (1988): *II Congreso Geológico de España*, 2: 367-370. Granada.
- Castillo, A., López Chicano, M. y Pulido Bosch, A. (1993): in *Some Spanish Karstic Aquifers*, 117-126.
- Hidalgo, J. (1974): *Tesis Lic.* Univ. Granada, 165 p.
- Hötzl, H. y Werner, A., eds. (1992): *Tracer Hydrology*, 464 p.
- IGME (1983). P.I.A.S., IGME, 142 p.
- Lepiller, M. y Mondain, P.H. (1986): *Hydrogéologie*, 1: 33-52.
- López Chicano, M. y Pulido Bosch, A. (1988): *II Congreso Nacional Geológico*, 2: 403-406. Granada.
- López Chicano, M. (1992): *Tesis Doct.* Univ. Granada, 429 p.
- Mangin, A., Molinari, J. y Paloc, H. (1976): *La Houille Blanche*, 3/4: 261-267.
- Ollero, E y García, J.L. (1993): *I Cong. Esp. Geol.* 4: 287-294.
- Pulido Bosch, A., López Chicano, M., Morell, I., Castillo, A., Gámez, J. A. y Cherif, L. (1994). *XXV International Congress IAH*, 1: 727-730. Adelaida (Australia).
- Sánchis, E. J. (1991). *Tesis Doct.* Univ. Barcelona, 332 p.