

Artículo publicado en: *Geogaceta*, 37

## **Cambios de distribución del ión fluoruro en el acuífero de la Vega de Granada; consideraciones hidrodinámicas**

### ***Changes in the distribution of fluorides in the Vega de Granada aquifer; hydrodynamics considerations***

A. Castillo<sup>(1)</sup> y L. Sánchez-Díaz<sup>(2)</sup>

- (1) CSIC e Instituto del Agua. (Univ. Granada). C/ Ramón y Cajal, 4. 18071 Granada. Email: [acastill@ugr.es](mailto:acastill@ugr.es)  
(2) Instituto del Agua (Univ. Granada). C/ Ramón y Cajal, 4. 18071 Granada

#### **ABSTRACT**

*The distribution of fluorides contents in the Vega de Granada aquifer is updated with respect to the situation in the 2003-04 period. The results are compared with those obtained in the 1983-84 period, which was hydrologically similar.*

*The conservative behaviour of the fluoride ion makes it a good tracer of groundwater. The results show that the general hydrodynamic features of the aquifer remain unmodified during the last two decades. Nevertheless, some significant local changes have been identified, as well as a significant regional increase in the concentrations. This is explained by the combined effect of the increase in the aquifer exploitation and decrease in the recharge from the surface water coming from the Sierra Nevada mountains.*

**Key words:** *Hydrochemistry, fluorides, Vega de Granada aquifer*

#### **Introducción**

El acuífero detrítico cuaternario de la Vega de Granada (Fig. 1) es uno de los más importantes de Andalucía (FAO-IGME, 1972; Castillo, 1986 y 1995 e ITGE, 1989), al disponer de una extensión, recursos y reservas de 200 km<sup>2</sup>, 160 hm<sup>3</sup>/a y 1.000 hm<sup>3</sup>, respectivamente. Las aguas poseen una salinidad media del orden de 1,3 g/L y una facies dominante bicarbonatada cálcica. Se utilizan básicamente para el regadío, con una explotación neta actual estimada en 60 hm<sup>3</sup>/a y, en menor

medida, para el abastecimiento urbano, que se realiza mayoritariamente a partir de recursos superficiales procedentes de Sierra Nevada.

### Figura 1

La hidroquímica del acuífero ha sido investigada en numerosas ocasiones (FAO-IGME, 1972; Castillo, 1986 y 1994, Castillo y Perandrés, 2002 y Castillo y Sánchez-Díaz, en elaboración); de forma más concreta, la hidroquímica de los fluoruros puede consultarse en Castillo (1986), en donde se exponen los primeros mapas de isocontenidos del acuífero (para Septiembre de 1983 y Marzo de 1984) y en Castillo y Gracia (1986), donde se analiza el fondo regional de todos los abastecimientos urbanos del área.

Los fluoruros presentes en las aguas de la Vega de Granada están relacionados regionalmente con depósitos minerales asociados a formaciones evaporíticas del Mioceno, cuyas entradas de agua ocultas, y moderadamente termales, tienen lugar por el sector del aeropuerto-arroyo Salado (Fig.1). En menor cuantía proceden de los aportes termales ocultos de Sierra Elvira, con lixiviación de sales evaporíticas de su base, de edad triásica. Por último, concentraciones del orden de 0,5 a 1 mg/L aportan las aguas de drenaje procedentes de carbonatos alpujárrides, que entran de forma superficial a la Vega de Granada, infiltrándose desde cauces y, sobre todo, en prácticas de regadío. Por el contrario, las concentraciones más bajas son aportadas por las aguas de precipitación y por los flujos superficiales procedentes del deshielo de Sierra Nevada (ríos Genil, Monachil y Dílar), en los que las concentraciones son inferiores a 0,2 mg/L

La correlación de los fluoruros con el resto de variables físico-químicas no es significativa, si exceptuamos su relación con la temperatura, cloruros, sodio, y a mayor distancia con la conductividad (Castillo, 1986); la procedencia principal de los fluoruros, a partir de aguas profundas y termales, sería la causa de las relaciones citadas.

## Resultados y discusión

Para la elaboración de este trabajo se han utilizado cuatro grandes muestreos espaciales (de 80 a 210 puntos), realizados para las fechas de Septiembre de 1983 y Marzo de 1984 (Castillo, 1986), y para las de Septiembre de 2003 y Marzo de 2004; en todos los casos se utilizó para la analítica un electrodo selectivo. Aunque estas distribuciones pudieran estar moderadamente afectadas por las condiciones hidráulicas, cabe decir que estas fueron similares entre los años comparados, sin perjuicio de que el acuífero posee gran inercia, debido a su extensa superficie (200 km<sup>2</sup>) y al elevado valor de sus recursos renovables (160 hm<sup>3</sup>/a)

En la figura 2 se muestran sendos mapas de isocontenidos para los meses de Septiembre de 1983 y 2003. Del mismo modo, en la figura 3 se comparan los mapas obtenidos para los meses de Marzo de 1984 y 2004. Como puede observarse, las pautas de distribución son similares para las cuatro campañas referidas. No

obstante, se confirman para las dos épocas de comparación ciertas diferencias significativas; así, la zona de anomalía negativa relativa (valores inferiores a 0,5 mg/L), que antes se extendía por toda la mitad oriental y a lo largo del río Genil, hasta la población de Valderrubio (ver toponímicos en la figura 1), se ha visto disminuida en los muestreos de 2003-04; especial relevancia tiene la desaparición de esta zona en el sector nororiental del acuífero. En la actualidad, se aprecia también la aparición de un área de anomalía positiva relativa (valores superiores a 1,5 mg/L) al Oeste de la población de Santa Fe, en el sector de influencia del arroyo Salado.

Figura 2

Figura 3

Los valores medios de fluoruros obtenidos para los cuatro muestreos comentados, en orden cronológico, fueron de 0,47, 0,45, 0,58 y 0,63 mg/L, respectivamente. Así pues, el incremento medio detectado entre los años 1983-84 y 2003-04 fue del 32%. De forma complementaria, la variación hallada entre ambos periodos, para 10 cauces de superficie que accedían a la Vega de Granada fue del 22%. Otras variables relativamente correlacionadas, como conductividad y cloruros presentaron incrementos medios del 27 % y 33%, respectivamente (Sánchez-Díaz y Castillo, 2004).

En el incremento hallado para los fluoruros, es de constatar que los valores mínimos y máximos apenas sufrieron variaciones significativas en localización, si bien los máximos se incrementaron notablemente. Los valores mínimos permanecieron estables alrededor de 0,05 mg/L para puntos localizados en el borde suroriental del acuífero (sector de cabecera), mientras que los valores máximos (del orden de 3 a 4,5 mg/L) se obtuvieron en el tercio meridional, al Oeste de la población de Santa Fe (cerca del arroyo Salado).

En la figura 4 se expone una gráfica comparativa de las superficies de acuífero afectadas por diferentes intervalos de concentración (de 0 a 0,5, de 0,5 a 1,5 y más de 1,5 mg/L) para las cuatro campañas referidas. Como puede observarse, es significativo y uniforme el descenso con el tiempo de la superficie afectada por el intervalo de concentración más bajo (contenidos inferiores a 0,5 mg/L), superficie que se ha reducido (de 1983-84 a 2003-04) en un 18%; complementariamente, aumentó la extensión de acuífero con rangos de concentración superiores (un 11,4% para el intervalo de 0,5 a 1,5 mg/L y un 6,4% para el de valores superiores a 1,5 mg/L).

Figura 4

Los resultados obtenidos, junto a otros datos hidroquímicos e hidrodinámicos, parecen indicar que existe una disminución de los aportes de aguas de mínima concentración en fluoruros, procedentes de la infiltración de aguas de Sierra Nevada. La regulación de estas aguas por embalses, su distribución para abastecimiento urbano en cabecera y ciertos cambios acaecidos en el regadío han

disminuido las tasas de recarga. La aparición del área de anomalía positiva situada al Oeste de Santa Fe, necesita de un estudio de mayor detalle; en principio, podría deberse a un aumento de la explotación local (incremento de la tasa de retorno-llamada de aguas más salinas), a una disminución de la infiltración de excedentes de riego y/o a un mayor aporte de fluoruros desde el mismo arroyo Salado. Una mayor penetración de las captaciones más recientes también podría estar influyendo en el incremento de los contenidos.

El aumento de los contenidos medios en fluoruros de las aguas de superficie, estimado en un 22%, es más complejo y arriesgado de explicar, debido al insuficiente número de parejas de valores comparadas, y a la mayor heterogeneidad y varianza de los datos de concentración; no obstante, cabe destacar que los cauces menos afectados antrópicamente por explotación han mantenido sus concentraciones (ríos Genil, Monachil y Dílar); una mayor explotación y regulación de las cuencas para el resto de los cauces, podría ser la explicación de los incrementos de valores hallados, todo ello con las cautelas señaladas.

## **Agradecimientos**

Los datos analíticos utilizados para la realización de este artículo provienen de un proyecto de investigación realizado al amparo de una beca del PFPI del Gobierno español (años 1983 y 1984), del contrato de investigación “*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 de investigación BTE2002-00152, del anterior Ministerio de Ciencia y Tecnología.

## **Referencias**

- Castillo, A. (1986). *Tesis Doct.* Univ. Granada e IGME. 658 p
- Castillo, A. (1994). *Inf. restringido.* Univ. Granada para GIRSA. 150 p
- Castillo, A. (1995). *Tierra y Tecnología*, 9: 37-42
- Castillo, A. y Gracia, I. (1986). *Ars Pharmaceutica*, 3: 335-342
- Castillo, A. y Perandrés, G. (2002). *Libro Homenaje a Manuel del Valle Cardenete.* Ed. IGME. 185-188
- Castillo, A. y Sánchez, P. (1994). *Geogaceta*, 14: 13-14
- Castillo, A. y Sánchez-Díaz, L. (en elaboración). *Inf. restringido.* Junta de Andalucía-Universidad de Granada
- FAO-IGME (1972). *Inf. Restringido.* PNUD/FAO. 204 p

ITGE (1989). *Serie manuales de utilización de acuíferos*". Ed. ITGE

Sánchez-Díaz, L. y Castillo, A. (2004). *VIII Simposio de Hidrogeología* (en prensa)

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

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

**Fig. 2.- Mapas de isocontenidos en fluoruros del acuífero de la Vega de Granada para septiembre de 1983 y 2003**

*Fig. 2.- Spatial distribution of the fluorides values (mg/L) for sampling data September 1983 and 2003 (below)*

**Fig. 3.- Mapas de isocontenidos en fluoruros del acuífero de la Vega de Granada para marzo de 1984 y 2004**

*Fig. 3.- Spatial distribution of the fluorides values (mg/L) for sampling data March 1983 and 2003 (below)*

**Fig. 4.- Distribución de superficies (en %) afectadas por diferentes intervalos de concentración en fluoruros para los muestreos de septiembre de 1983, marzo de 1984, septiembre de 2003 y marzo de 2004**

*Fig. 4.- Distribution of surfaces (in %) affected by different fluoride concentration intervals for the sampling campaigns of September 1983, March, 1984, September 2003 and March 2004*