

# Distribución de constituyentes minoritarios y traza en las aguas subterráneas de la cuenca de Baza (Granada)

*Minor and trace constituents distribution in groundwaters of Baza basin (Granada).*

M.C. Hidalgo Estévez\* y J.J. Cruz San Julián\*\*

\*Dpto. de Geología, E.U.P. Linares, Universidad de Jaén. Alfonso X el Sabio, 28, 23700 Linares

\*\* Instituto del Agua, Universidad de Granada. Rector López-Argüeta, s/n, 18071 Granada

## ABSTRACT

Geochemical research has been carried out on 43 groundwater samples from the detrital aquifer of Baza-Caniles, in order to evaluate the pattern of some minor and trace elements (F, Sr, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb and Zn). Heavy metal analysis point out that all the mean values are below the maximum admissible concentration fixed by the E.C. for drinking waters. Nevertheless, some anomalies of Fe and Mn, which seem to have only a local importance, are present in the groundwater of the basin.

**Key words:** groundwater, minor constituents, heavy metals, Baza basin.

Geogaceta, 25 (1999), 99-102

ISSN: 0213683X

## Introducción

La cuenca neógena de Baza presenta unas características geográficas y climáticas (zona semiárida, de escasa pluvio-metría) que confieren una enorme importancia al aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos, los cuales proceden en su mayor parte de la explotación del acuífero detrítico de Baza-Caniles.

Aunque en trabajos anteriores se han descrito el funcionamiento hidrogeológico de este sistema acuífero y las características hidroquímicas referidas a constituyentes mayoritarios (i.e., Delgado-Pastor *et al.*, 1989; Urbano *et al.*, 1991; Hidalgo *et al.*, 1991 y 1992), no se ha abordado, sin embargo, el estudio del contenido en elementos metálicos en las aguas subterráneas.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de F, Sr, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb y Zn en un total de 43 muestras de aguas subterráneas. Entre ellas se incluyen las principales surgencias del acuífero, las manifestaciones termales y los aportes superficiales procedentes del límite sur de la cuenca (Fig. 1).

## Contexto hidrogeológico

El sistema acuífero de Baza-Caniles está constituido por los depósitos de edad Neógeno-Cuaternario que rellenan la cuenca de Baza y sellan el contacto entre

Acuífero Mio-Plioceno					
	F (mg/l)	Sr (mg/l)	Al (µg/l)	Fe (µg/l)	Mn (µg/l)
Máximo	3,1	8,2	92	312	19
Mínimo	0,1	0,3	5	3	1
Mediana	<b>0,3</b>	<b>1,2</b>	<b>16</b>	<b>33</b>	<b>4</b>
D. S.*	0,9	2,2	24	75	5,7
C.V.* (%)	200	180	170	240	160
Acuífero Cuaternario					
	F (mg/l)	Sr (mg/l)	Al (µg/l)	Fe (µg/l)	Mn (µg/l)
Máximo	1,5	11,8	101	143	83
Mínimo	0,5	1,6	2	2	1
Mediana	<b>0,9</b>	<b>2,6</b>	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>1,5</b>
D. S.*	0,3	3,4	32,5	47	0,6
C.V.* (%)	40	90	150	140	40
Formación Baza					
	F (mg/l)	Sr (mg/l)	Al (µg/l)	Fe (µg/l)	Mn (µg/l)
Máximo	4,4	9,7	92	2044	62
Mínimo	0,1	3,5	5	4	1
Mediana	<b>2,1</b>	<b>8</b>	<b>32</b>	<b>83</b>	<b>10</b>
D. S.*	1,5	1,9	28,2	649	23
C.V.* (%)	70	30	80	150	120

\*: D.S., desviación standard; C.V., coeficiente de variación.

Tabla 1.- Estadísticos descriptivos de aquellos elementos con pocas o ninguna observación por debajo del límite de detección.

Table 1.- Descriptive statistics for elements with few or no observations below detection limit.

las Zonas Internas y Externas de la Cordillera Bética. Estos depósitos postorogénicos han sido estudiados en detalle por numerosos autores (i.e., Vera, 1970; Peña,

1985; Goy *et al.*, 1991; Guerra-Merchán, 1992). La base de la secuencia sedimentaria corresponde a arenas, conglomerados y margas marinas, de edad Tortonien-

Muestra	9	13	30	330	331	371	372	391	LMA
Fe (µg/l)	--	216	2044	215	265	574	906	630	200
Mn (µg/l)	83	21	--	--	--	62	58	--	50

Tabla 2.- Muestras con contenidos en algún elemento traza que excede el límite máximo admisible (LMA).

Table 2.- Samples characterised by trace elements exceeding maximum admissible concentration (LMA).

se superior. Sobre ella se disponen la Formación Guadix, constituida mayoritariamente por conglomerados, con intercalaciones de arenas y lutitas, y la Formación Baza, constituida por margas, margocalizas, yesos y lutitas, con algunas intercalaciones de arenas. Ambas formaciones están relacionadas entre sí por un cambio lateral de facies, con frecuentes indentaciones de una formación en otra. Los depósitos más recientes corresponden a terrazas aluviales de edad Cuaternario.

En este sistema acuífero se diferencian dos unidades hidrogeológicas prin-

cipales: el acuífero detrítico mio-plioceno (constituido por los materiales tortonienses y la Formación Guadix) y el acuífero cuaternario (Fig. 1). El límite sur del sistema acuífero corresponde a las micascuistas del Complejo Nevado-Filábride, que deben configurar también buena parte del sustrato impermeable de la cuenca. Los límites occidental y oriental corresponden a los relieves carbonáticos de la Sierra de Baza y Sierra de las Estancias, que descargan subterráneamente hacia el acuífero detrítico mio-plioceno y constituyen la principal recarga del sistema (Fig. 1).

El acuífero mio-plioceno presenta una geometría compleja, con importantes variaciones de espesor y de granulometría de los sedimentos, por lo que en algunas zonas los niveles más permeables quedan confinados bajo pequeños espesores de grano fino (sector confinado superior). Además, hacia el centro de la cuenca es la propia Formación Baza la que constituye un potente techo impermeable, de más de 200 m de espesor, sobre el acuífero detrítico (sector confinado profundo).

El acuífero mio-plioceno alcanza su potencia máxima en el sector central (400 m de espesor), potencia que disminuye hacia los bordes de la cuenca y hacia el límite con la Formación Baza. El acuífero cuaternario presenta una morfología tabular, con una potencia en torno a 20 m, y se sitúa tanto sobre la Formación Guadix como sobre la Formación Baza.

En el sector occidental de la cuenca las aguas son de tipo bicarbonatado cálcico-magnésico y magnésico-cálcico, con valores del total de sólidos disueltos en torno a 500 mg/l. Tales facies son características de la recarga procedente de los materiales carbonáticos y de la circulación en el seno de la formación conglomerática de cantos calizo-dolomíticos. Las aguas procedentes del sector confinado superior del acuífero presentan una hidrofacies similar, aunque la salinidad aumenta moderadamente con la distancia a la zona de recarga (Hidalgo, 1993).

En el borde sur predomina la facies bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica, representativa del quimismo de la recarga procedente del borde nevado-filábride. De forma local, en el sector central del acuífero se desarrollan facies mixtas sulfatadas y bicarbonatadas-cloruradas, con altos contenidos en Na<sup>+</sup> (300-360 mg/l), asociadas a ciertos afloramientos de arenas y limos de origen marino.

El sector confinado profundo del acuífero se caracteriza por presentar los contenidos más elevados en TSD del conjunto Mio-Plioceno (entre 2-4 g/l), con una hidrofacies sulfatada-clorurada magnésico-cálcica. Los valores de O<sub>2</sub> disuuelto son muy bajos (en torno a 1 mg/l) y el agua presenta un fuerte olor a sulfhídrico.

En el seno del acuífero cuaternario, el quimismo del agua evoluciona hacia el

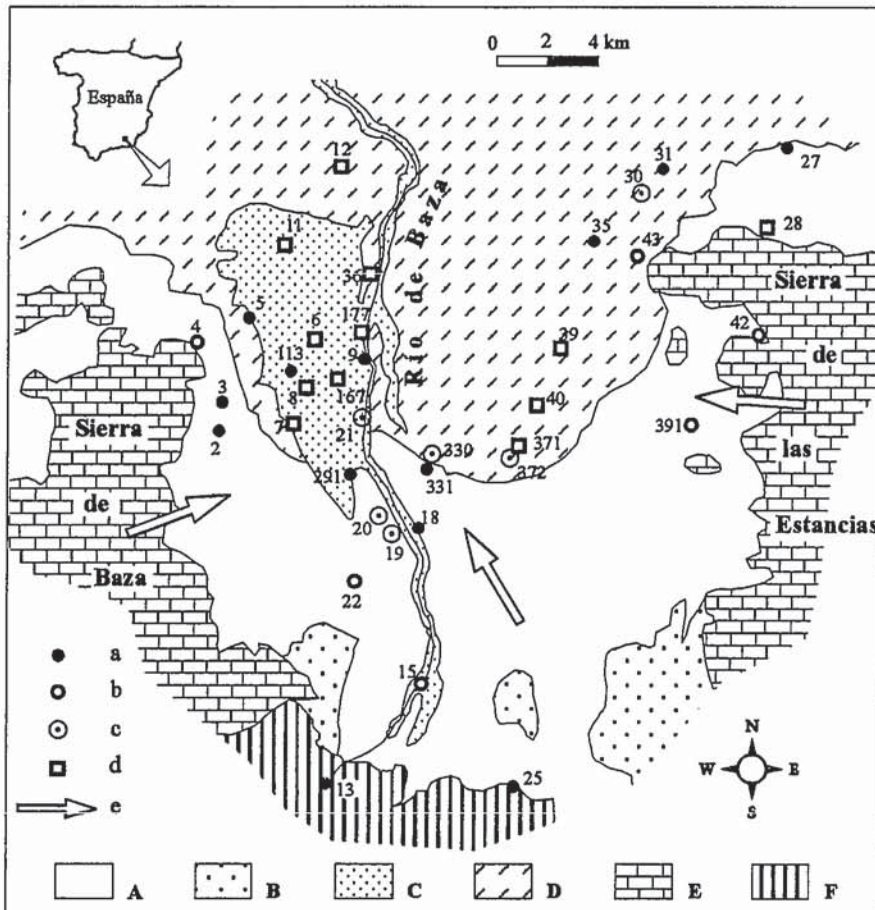


Fig. 1.- Esquema geológico de la cuenca de Baza y localización de los puntos de muestreo (a, manantial; b, sondeo; c, sondeo surgente; d, pozo abierto; e, dirección del flujo subterráneo; A, Formación Guadix; B, arenas del Tortonienense; C, acuífero cuaternario; D, Formación Baza; E, Complejo Alpujarride; F, Complejo Nevado-Filábride).

Fig. 1.- Geological sketch map of the Baza basin and location of the sampling points (a, springs; b, boreholes; c, artesian boreholes; d, open wells; e, direction of groundwater flow; A, Guadix Formation; B, Tortonien sands; C, quaternary aquifer; D, Baza Formation; E, Alpujarride Complex; F, Nevado-Filábride Complex).

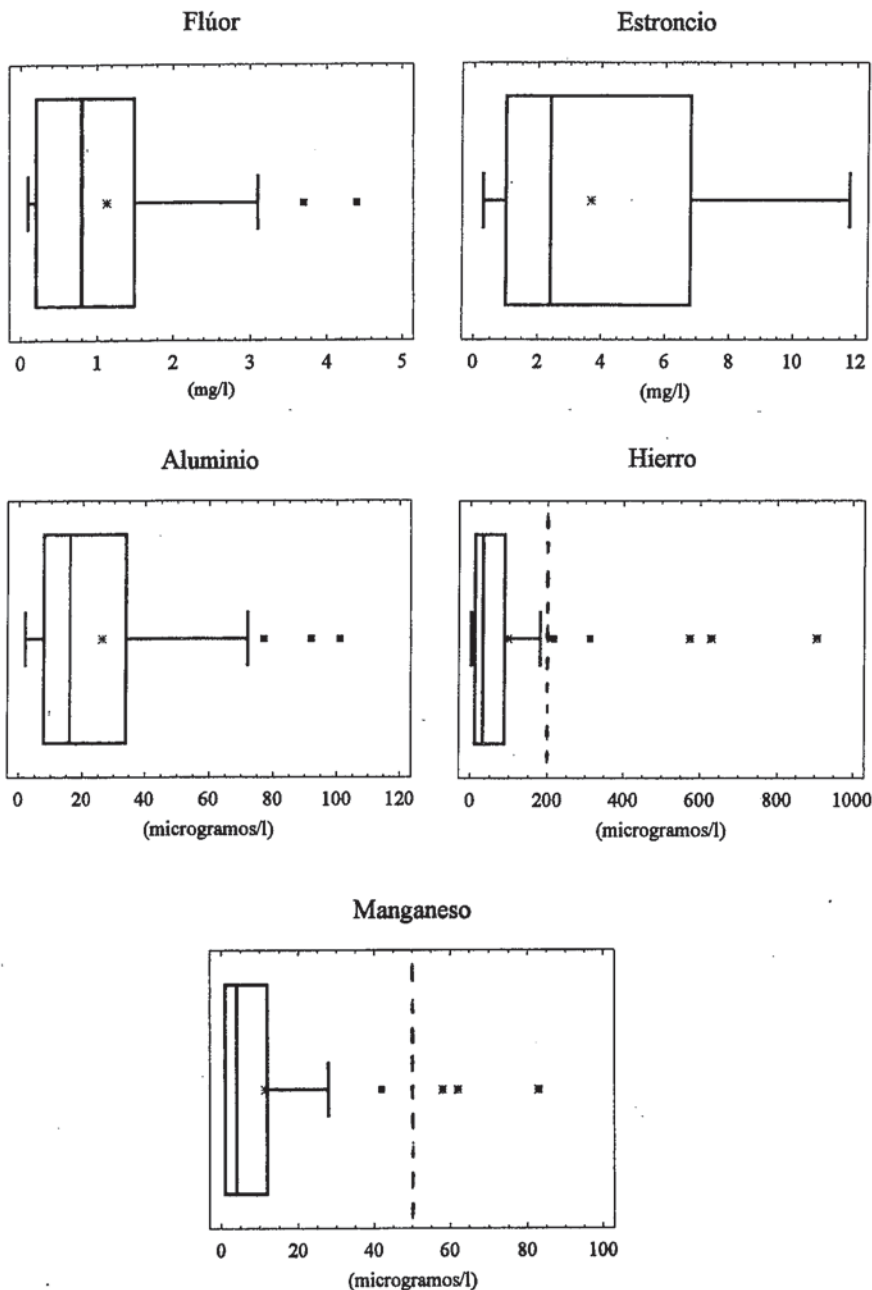


Fig. 2.- Diagramas de cajas de los contenidos en algunos elementos analizados. Las líneas discontinuas indican el límite máximo admisible.

Fig. 2.- Box plots for some of the elements considered. Maximum admissible concentrations are shown by dashed lines.

centro de la cuenca a facies sulfatada-bicarbonatada y sulfatada, condicionada por la relación con las margas y yesos pliocenos, así como por una intensa recirculación del agua para riego (Hidalgo *et al.*, 1992).

**Contenido en constituyentes minoritarios y traza**

No se ha detectado la presencia en ninguna de las muestras de Cd, Hg, Ni o Pb, por lo que, en caso de estar presentes,

el contenido en tales elementos sería menor de 0,5 µg/l (límite de detección del método analítico).

Los resultados obtenidos para el resto de los elementos considerados se presentan en la tabla 1 y en las figuras 2 y 3. En el caso de las especies químicas analizadas con muy pocas o ninguna observación por debajo del límite de detección (F, Sr, Al, Fe y Mn) se han utilizado estadísticos que permiten describir y comparar las variables consideradas (Tabla 1), y también se han representado los resultados gráfi-

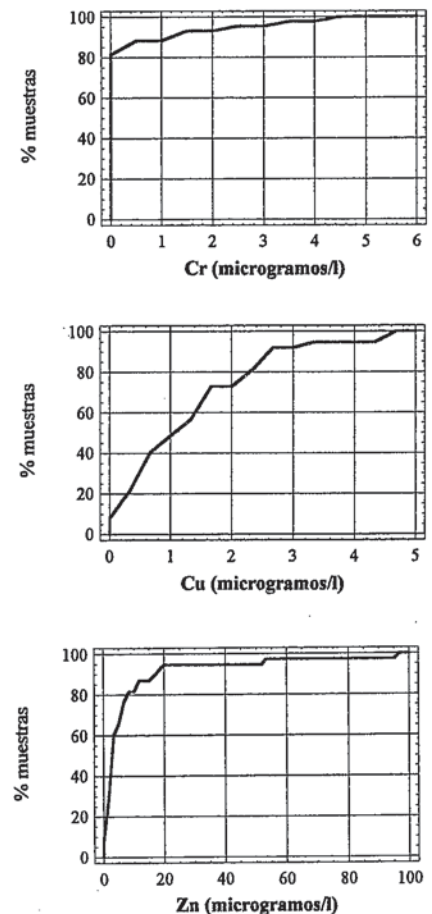


Fig. 3.- Histogramas de frecuencias para los contenidos en Cr, Cu y Zn

Fig. 3.- Frequency histograms for Cr, Cu and Zn contents.

camente en diagramas de cajas (Fig. 2). Para aquellos elementos metálicos caracterizados por un porcentaje elevado de observaciones inferiores al límite de detección analítico, no se han incluido tales parámetros estadísticos, al no ser éstos significativos. En su lugar, se han presentado los resultados mediante histogramas de frecuencias, en los que se asigna el valor cero a las muestras en que no se detecta el elemento analizado (Fig. 3).

En la tabla 1 se han diferenciado las muestras procedentes de los acuíferos mio-plioceno y cuaternario, así como ciertos puntos de agua estrechamente ligados a la Formación Baza.

La presencia de flúor en las aguas de la depresión puede estar relacionada con la disolución de fluorita presente tanto en los materiales alpujarrides como en los de la Formación Baza. Los contenidos mínimos en F<sup>-</sup> aparecen en las proximidades de la Sierra de Baza y de la Sierra de las Estancias, por lo que cabe considerar que los aportes procedentes de las formacio-

nes carbonáticas son muy bajos (inferiores a 1 mg/l). En conjunto, los valores medios para los acuíferos mio-plioceno y cuaternario son de 0,5 y 1 mg/l, respectivamente, aunque el coeficiente de variación es mucho más alto en el primer caso que en el segundo (Tab. 1). En las aguas relacionadas con la Formación Baza, sin embargo, se obtiene un contenido medio en F<sup>-</sup> de 2 mg/l, con un máximo de 4,4 mg/l, localizado en el límite con las margas y yesos pliocenos. Dado que los contenidos más altos aparecen en este último grupo de aguas, cabe considerar que su origen está ligado fundamentalmente a la disolución de fluorita diseminada en la Formación Baza.

En lo que respecta al contenido en Sr<sup>2+</sup>, la distribución de valores es bastante parecida a la del F<sup>-</sup>. Por una parte, los contenidos medios obtenidos en las aguas del acuífero mio-plioceno son relativamente bajos, en torno a 1,5 mg/l, por lo que pueden proceder de la disolución de las propias rocas carbonáticas, con un comportamiento muy parecido al del Ca<sup>2+</sup>. En el seno del acuífero cuaternario aparecen contenidos entre 2,5 y 3,5 mg/l de Sr<sup>2+</sup>, asociados a un incremento del grado de mineralización y del contenido en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> de las aguas. Por otra parte, los contenidos máximos en estroncio, con valores entre 4 y 10 mg/l, se detectan en las aguas relacionadas con la Formación Baza. En las fracciones arcilla y limo de dicha formación ha sido descrita la presencia de celestina (Sebastián-Pardo, 1979), por lo que la disolución de esta sal debe constituir uno de los principales aportes de estroncio a las aguas de la depresión.

De los restantes metales, Al, Fe y Mn resultan ser los más abundantes, ya que aparecen en cantidades superiores al límite de detección en todas las muestras analizadas. Los contenidos más elevados corresponden a las muestras más mineralizadas, estrechamente relacionadas con la formación evaporítica. Como puede apreciarse en la tabla 1 y en la figura 2, las variables no presentan una distribución

normal, por lo que se ha tomado la mediana como valor de referencia más adecuado. En el caso del aluminio, ninguna muestra supera el límite máximo admisible (LMA) para aguas potables (200 µg/l), ya que los resultados varían entre 2 y 100 µg/l para los tres grupos de aguas, con medianas de 16-32 µg/l.

El agua del acuífero mio-plioceno presenta un contenido medio en Mn de 4 µg/l, con un máximo de 19 µg/l. Tanto en el acuífero cuaternario como en las restantes muestras, el valor de la mediana es similar al anterior, pero localmente se supera el límite admisible para este elemento de 50 µg/l (Fig. 2). En el caso del Fe, se aprecia una mayor dispersión de valores, especialmente en las aguas ligadas a la Formación Baza, caracterizadas por un contenido medio de 83 µg/l. En este grupo de muestras se registra un valor máximo de 2044 µg/l (punto 30), pero en este caso tal anomalía se debe verosímilmente a la oxidación patente de la tubería de bombeo. También algunas muestras procedentes del acuífero mio-plioceno superan el LMA para este elemento metálico (200 µg/l), aunque el valor de la mediana es bastante menor que en el caso anterior (33 µg/l). En la tabla 2 se incluyen aquellos puntos de muestreo en los que uno o más elementos traza exceden los LMA.

En la figura 3 se observa que todas las muestras presentan contenidos en Cr, Cu y Zn inferiores a su LMA (50, 100 y 100 µg/l, respectivamente). Además, solo se detecta la presencia de Cr en un 20% de las aguas analizadas y con valores inferiores a 5 µg/l. El contenido en Cu presenta una distribución de valores similar, aunque este elemento se identifica en el 90 % de las muestras. En el caso del cinc, ausente en el 10% de las muestras, se observa un claro predominio de los valores comprendidos entre 2 y 10 µg/l.

### Conclusiones

Los contenidos más elevados en estroncio (próximos a 10 mg/l) y flúor (en torno a 4 mg/l) aparecen en muestras re-

lacionadas con los materiales de la Formación Baza, como consecuencia de la disolución de minerales de celestina y fluorita presentes en dicha formación.

De los elementos traza analizados, sólo se ha detectado la presencia de Fe, Al, Mn, Cr, Cu y Zn. Como tendencia general, los máximos valores se registran en aquellas aguas con un alto grado de mineralización. Hierro y aluminio son los dos metales que presentan una distribución más amplia, con valores que llegan hasta el orden de mg/l para el primero y en torno a 100 µg/l para el segundo. Localmente se supera el LMA para Fe (200 µg/l) en algunas aguas ligadas al límite sur Nevado-Filábride o procedentes del sector confinado profundo del acuífero mio-plioceno.

### Referencias

- Delgado-Pastor, J., Castillo-Pérez, E.I. y Rubio-Campos, J.C. (1989). *III Congreso de Geoquímica de España*, Soria, VI: 29-41.
- Goy, J.L., Zazo, C., Dabrio, C.J., Hoyos, M. y Civis, J. (1989). In: *Geología y Paleontología de la Cuenca de Guadix-Baza*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, C.S.I.C., Madrid, 97-109.
- Guerra-Merchán, A. (1992). *Tesis Doctoral*, Univ. Granada, 385 pp.
- Hidalgo, M.C. (1993). *Tesis Doctoral*, Univ. Granada, 331 pp.
- Hidalgo, M.C., Cruz-Sanjulián, J. y Benavente, J. (1992). *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, A.E.H.S., Madrid, 16: 35-48.
- Hidalgo, M.C., Cruz-Sanjulián, J., Benavente, J. y Araguás, L. (1991). *El Agua en Andalucía*, Córdoba, 1: 427-436.
- Peña, J.A. (1985). *Estud. Geol.*, 41:33-46.
- Sebastián-Pardo, E. (1979). *Tesis Doctoral*, Univ. Granada, 311 pp.
- Urbano, F., Rubio-Campos, J.C., Peinado, T. y Delgado-Pastor, J. (1991). *III Simposio sobre el Agua en Andalucía*, 1: 597-610.
- Vera, J.A. (1970). *Bol. Geol. Min.*, 81: 429-462.